




PENERBIT ANDI®

Penginderaan Jauh & Aplikasinya pada **Ekosistem Pesisir Pulau-Pulau Kecil Terluar Kepulauan Spermonde**

Nurjannah Nurdin



**Penginderaan Jauh
& Aplikasinya** pada

**Ekosistem Pesisir Pulau-Pulau Kecil
Terluar Kepulauan Spermonde**

Nurjannah Nurdin

Penerbit ANDI

**PENGINDERAAN JAUH DAN APLIKASINYA PADA EKOSISTEM PESISIR PULAU-PULAU KECIL TERLUAR
KEPULAUAN SPERMONDE**

Oleh: Nurjannah Nurdin

Hak Cipta ©2018 pada Penulis.

Editor : Marcella Kika
Desain Cover : Dany Nofiyanto
Setter : Aji
Korektor : Dian Arum

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

Penerbit oleh Penerbit ANDI (Anggota IKAPI)

Jl. Beo 38-40, Telp. (0274) 561881 (Hunting), Fax. (0274) 588282 Yogyakarta 55281

Percetakan: CV. ANDI OFFSET

Jl. Beo 38-40, Telp. (0274) 561881 (Hunting), Fax. (0274) 588282 Yogyakarta 55281

Perpustakaan Nasional: Katalog dalam Terbitan (KDT)

Nurdin, Nurjannah

**PENGINDERAAN JAUH DAN APLIKASINYA PADA EKOSISTEM PESISIR PULAU-PULAU KECIL TERLUAR
KEPULAUAN SPERMONDE / Nurjannah Nurdin**

– Ed. I. – Yogyakarta: ANDI;

27 – 26 – 25 – 24 – 23 – 22 – 21 – 20 – 19 – 18

hlm xxiv + 204; 20 x 25 Cm.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

ISBN: 978 - 979 - 29 - 6582 - 7

I. Judul

1. Remote Sensing Technology

DDC'23 : 621.367.8



Produk penginderaan jauh yang berupa citra digital dan *hardcopy* sangat bermanfaat bagi pendidikan dan keilmuan multidisiplin seperti teknik, pertanian, kehutanan, kelautan, dan perikanan. Antropologi juga termasuk di dalamnya karena merupakan objek geografi dan gejala kebumihannya serta lingkungan darat maupun pesisir dan laut dapat disajikan dengan jelas pada data penginderaan jauh, dengan variasi skala dari skala besar hingga skala kecil. Ketersediaan bahan ajar yang memuat prinsip-prinsip ilmiah (*scientific principles*) tentang *Penginderaan Jauh dan Aplikasinya pada Ekosistem Pesisir Pulau-Pulau Kecil Terluar Kepulauan Spermonde* merupakan salah satu sarana untuk memenuhi kebutuhan pendidikan dalam bidang Informasi Geospasial. Hingga saat ini, literatur yang memuat materi Penginderaan Jauh yang meliputi elemen-elemen spasial secara terintegrasi di bidang kelautan dan perikanan masih sangat kurang. Sementara kebutuhan untuk itu sangat tinggi, baik bagi kalangan mahasiswa pada tingkat strata satu, magister, doktoral, juga peneliti, perencana serta pengambil keputusan.

Buku ini berisi sebagian dari hasil belajar penulis dalam bidang Penginderaan Jauh khususnya dalam pemanfaatan Penginderaan Jauh dalam bidang kelautan dan perikanan, baik ketika sebagai mahasiswa, pengajar, peneliti, dan anggota peneliti pada *Ocean Remote Sensing Project (ORSP) Western Pasific UNESCO* sejak tahun 2012 hingga sekarang. Semua contoh-contoh yang disajikan dalam buku ini merupakan sari dari hasil penelitian dan publikasi penulis. Beberapa hasil penelitian tersebut mendapatkan pengakuan berupa penghargaan bagi penulis seperti *Sutanto Award* dari Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN) tahun 2011 dan penyampaian *Country Report* dari Indonesia tentang Aplikasi Penginderaan Jauh dalam bidang kelautan atas undangan IOC-WESTPAC, UNESCO dalam bidang *Ocean Remote Sensing* tahun 2014 dan 2017.

Isi buku ini terdiri dari lima bagian utama, yaitu **bagian pertama** berisi tentang konsep dasar Penginderaan Jauh; **bagian kedua** berisi tentang jenis satelit yang umum digunakan serta karakteristik dari masing-masing citra satelit; **bagian ketiga** berisi tentang pemahaman dan cara mengaplikasikan pengolahan citra pada objek dan fenomena di wilayah pesisir; dan **bagian keempat** serta **bagian kelima** berisi tentang hasil penelitian tentang aplikasi penginderaan jauh pada ekosistem perairan dangkal di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil yang berada pada zona terluar kepulauan Spermonde.

Penulis menyadari bahwa materi yang disajikan dalam buku ini masih jauh dari kesempurnaan, karena dinamisnya masalah ekosistem pesisir dan teknologi geospasial yang begitu pesat perkembangannya. Sejalan dengan kondisi aktual maka upaya ke arah perbaikan terus dilakukan agar buku ini menjadi bahan bermutu dalam bidang Penginderaan Jauh, khususnya untuk aplikasi bidang kelautan dan perikanan.

Terima kasih penulis sampaikan kepada semua mitra dalam penelitian yang menjadi bagian penting dalam buku ini. Terutama kepada rekan-rekan kerja di Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Wilayah, Tata Ruang dan Informasi Spasial (WiTaRIS), serta LPPM Universitas Hasanuddin. Secara khusus terima kasih kepada promotor (supervisor) pada jenjang S1, S2, dan S3 saya, Prof. Dr. Natsir Nessa dan Prof. Dr. Samsu Alam Ali (Universitas Hasanuddin), Prof. Dr. Indrajaya dan Prof. Dr. Vincentius Siregar (Institut Pertanian Bogor) serta Prof. Teruhisa Komatsu (Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, Japan) yang telah membekali ilmu dan memberikan banyak kesempatan dalam pengembangan ilmu kelautan dan teknologi Penginderaan Jauh.

Makassar, April 2018

Penulis,

Nurjannah Nurdin



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI..... v

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR xv

BAB I FUNDAMENTAL PENGINDERAAN JAUH 1

1.1. Konsep Penginderaan Jauh 1

 1.1.1 Karakteristik Radiasi Elektromagnetik 2

 1.1.2 Interaksi Radiasi Elektromagnetik dengan Objek di Permukaan Bumi 3

 1.1.3 Panjang Gelombang dari Radiasi Elektromagnetik 4

1.2. Jenis Penginderaan Jauh Berdasarkan Panjang Gelombang 6

1.3. Radiometri dan Radiasi Benda Hitam (*Black Body*) 7

 1.3.1 Radiometri 7

 1.3.2 Radiasi Benda Hitam (*Black Body*)..... 8

1.4. Reflektansi Spektral Berbagai Objek 9

1.5. Karakteristik Spektral Radiasi Matahari 11

1.6. Transmittansi dari Atmosfer 11

1.7. Transformasi Nilai Spektral..... 12

 1.7.1 Mengubah Data Menjadi Citra 14

 1.7.2 Karakteristik Citra 14

1.8. Sifat Optik Air Laut.....	19
1.9. Karakteristik Spektral (<i>Spectral Signature</i>)	25
1.10. Jenis dan Karakteristik Sensor Optik.....	26
BAB II JENIS DAN KARAKTERISTIK SATELIT	29
2.1. Data Citra Satelit yang Umum Digunakan di Indonesia	29
2.1.1 Satelit Resolusi Tinggi (0,31-2m):WorldView-4	29
2.1.2 WorldView-3 (0,31 m).....	31
2.1.3 GeoEye-1 Satellite Sensor (0,46 m)	32
2.1.4 WorldView-1 (0,46 m) dan WorldView-2 Sensor (0,46 m).....	34
2.1.5 Quickbird (0,65 m).....	37
2.1.6 IKONOS.....	39
2.1.7 SPOT-6 dan SPOT-7 (1,5 m).....	41
2.2. Satelit Resolusi Menengah (2,5 – 20 m)	42
2.2.1 ALOS (2,5 m)	42
2.2.2 Landsat.....	44
2.2.3 SPOT-5 (2,5 – 5 m) Nonaktif	47
2.2.4 Sentinel-2A Satellite Sensor (10 m).....	48
2.3. Satelit Resolusi Rendah (> 20 m)	49
2.3.1 TERRA.....	49
2.3.2 TERRA MODIS	50
2.3.3 The Indian Remote Sensing (IRS).....	52
2.3.4 NOAA	54
2.3.5 SPOT-4	55
2.3.6 The Earth Observing-1 (EO-1)	55
2.4. Satelit Lainnya	56

BAB III DATA PENGINDERAAN JAUH DAN PENGOLAHAN CITRA	61
3.1. Data Posisi Lapangan dan Data Lapangan	61
3.1.1 Data Posisi Lapangan.....	61
3.1.2 Kunci Interpretasi Citra.....	62
3.1.3 Peta Tematik	62
3.2. Sistem Pengolahan Citra.....	63
3.2.1 Pengolahan Citra pada Penginderaan Jauh	63
3.2.2 Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Ekosistem Pesisir.....	70
3.2.3 Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Kualitas Perairan	76
3.2.4 Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Penggunaan Lahan Pesisir.....	82
3.3. Data Hiperspektral	84
3.3.1 Spektroskopi	85
3.3.2 Nilai Reflektansi Spektral	86
BAB IV EKOSISTEM PERAIRAN DANGKAL PULAU TERLUAR BERPENGHUNI KEPULAUAN SPERMONDE	89
4.1. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Gondongbali	92
4.2. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Langkai.....	111
4.3. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Papandangang	124
4.4. Dinamika Spasial Selama 41 Tahun Pulau Lanyukang.....	137
4.5. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Kapoposang	150
BAB V EKOSISTEM PERAIRAN DANGKAL PULAU TERLUAR TIDAK BERPENGHUNI KEPULAUAN SPERMONDE	155
5.1. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Pamanggangang	155
5.2. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Tambakulu.....	167
5.3. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Suranti	179

DAFTAR PUSTAKA.....	193
GLOSARIUM	195
TENTANG PENULIS.....	199
INDEKS.....	201

Penerbit Andi
Jl. Beo 38-40, Telp. (0274) 561881 (Hunting), Fax. (0274) 588282 Yogyakarta 55281



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Klasifikasi Radiasi Elektromagnetik	5
Tabel 1.2	Perbandingan Kemampuan Menyerap Energi antara Fitoplankton dengan Material Lain yang Terkandung dalam Air Laut (Kirk, 1994)	22
Tabel 2.1	Spesifikasi Sensor Satelit WorldView-4	30
Tabel 2.2	Spesifikasi Sensor Satelit WorldView-3	32
Tabel 2.3	Spesifikasi Sensor Satelit GeoEye-1	33
Tabel 2.4	Spesifikasi Sensor Satelit WorldView-1	35
Tabel 2.5	Spesifikasi Sensor Satelit WorldView-2	36
Tabel 2.6	Spesifikasi Sensor Satelit Quickbird	39
Tabel 2.7	Spesifikasi Sensor Satelit IKONOS	41
Tabel 2.8	Spesifikasi Sensor Satelit ALOS	43
Tabel 2.9	Karakteristik Citra Landsat	45
Tabel 2.10	Saluran-saluran (Band) pada Landsat-TM dan Kegunaannya (Lillesand dan Kiefer, 1997)	46
Tabel 2.11	Karakteristik Citra SPOT-5	47
Tabel 2.12	Karakteristik TERRA	49
Tabel 2.13	Karakteristik IRS-1D PAN	53

Tabel 2.14 Karakteristik AVHRR NOAA-15.....	54
Tabel 2.15 Karakteristik SPOT-4 HRVIR.....	55
Tabel 2.16 Karakteristik EO-1	56
Tabel 3.1 Matriks Uji Ketelitian Klasifikasi Citra	70
Tabel 4.1 Spesifikasi Citra yang Digunakan.....	90
Tabel 4.2 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996	93
Tabel 4.3 Luas Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013	96
Tabel 4.4 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981	99
Tabel 4.5 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996.....	101
Tabel 4.6 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005.....	103
Tabel 4.7 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011	105
Tabel 4.8 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 2011 – 2013.....	106
Tabel 4.9 Luas Total Perubahan Tutupan Perairan Dangkal di Pulau Gondongbali Tahun 1972 – 2013	107
Tabel 4.10 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Hasil Klasifikasi Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996.....	111
Tabel 4.11 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013.....	114

Tabel 4.12 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981.....	117
Tabel 4.13 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996.....	118
Tabel 4.14 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1999 – 2002.....	120
Tabel 4.15 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 2002 – 2005.....	120
Tabel 4.16 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011.....	122
Tabel 4.17 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 2011 – 2013.....	123
Tabel 4.18 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996	125
Tabel 4.19 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013	128
Tabel 4.20 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981.....	129
Tabel 4.21 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996.....	131
Tabel 4.22 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1999 – 2002.....	133
Tabel 4.23 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 2002 – 2005.....	133
Tabel 4.24 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 2005 – 2008, 2008 – 2011, dan 2011 – 2013	135

Tabel 4.25 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996	138
Tabel 4.26 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013	141
Tabel 4.27 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981	142
Tabel 4.28 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996	146
Tabel 4.29 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005	147
Tabel 4.30 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011	148
Tabel 4.31 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 2011 – 2013	150
Tabel 4.32 Tabel Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Kapoposang Tahun 1990, 1993, dan 1996.....	150
Tabel 4.33 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Kapoposang Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996.....	153
Tabel 5.1 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996	156
Tabel 5.2 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013.....	158
Tabel 5.3 Luasan Perubahan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981	160
Tabel 5.4 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996.....	161

Tabel 5.5	Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggang Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005.....	163
Tabel 5.6	Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggang Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011	164
Tabel 5.7	Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggang Tahun 2011 – 2013.....	166
Tabel 5.8	Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996	167
Tabel 5.9	Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013	170
Tabel 5.10	Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981	172
Tabel 5.11	Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996	173
Tabel 5.12	Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1999 – 2002	175
Tabel 5.13	Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 2002 – 2005	176
Tabel 5.14	Hasil Analisis Perubahan Luas Karang Hidup, Karang Mati dan Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 2005-2011	177
Tabel 5.15	Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011	178
Tabel 5.16	Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu 2011 – 2013	179
Tabel 5.17	Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996	180

Tabel 5.18 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013	182
Tabel 5.19 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981	184
Tabel 5.20 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996	186
Tabel 5.21 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005	188
Tabel 5.22 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011	190
Tabel 5.23 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 2011 – 2013	191



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Proses Perolehan Data Penginderaan Jauh	2
Gambar 1.2	Matriks Aliran Penginderaan Jauh.....	2
Gambar 1.3	Radiasi Elektromagnetik	3
Gambar 1.4	Pengiriman Informasi dari Elemen Radiasi Elektromagnetik	3
Gambar 1.5	Saluran yang Digunakan dalam Penginderaan Jauh	5
Gambar 1.6	Tiga Jenis Sumber Energi dalam Penginderaan Jauh Berdasarkan Panjang Gelombang.....	7
Gambar 1.7	Ringkasan Definisi dari Radiometrik	9
Gambar 1.8	Reflektansi dan Faktor Reflektansi.....	10
Gambar 1.9	Reflektansi Dua Arah.....	10
Gambar 1.10	Hubungan Linier antara Nilai <i>Digital Number</i> dengan Nilai Keabuan.....	13
Gambar 1.11	Kurva <i>Digital Number</i> Sebelum Perbaikan dan Setelah Perbaikan.....	13
Gambar 1.12	Elemen Terkecil pada Citra ' <i>Picture Element</i> '/ <i>Pixel</i>	15
Gambar 1.13	Tampilan <i>Pixel</i> pada Citra Satelit Landsat 8 OLI_TIRS, Pulau Tanakeke, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan.....	15
Gambar 1.14	Resolusi pada Citra Satelit yang Berbeda pada Wilayah Pusat Kota Pare-Pare, Sulawesi Selatan	17
Gambar 1.15	Citra Komposit (<i>True Color</i>) Landsat 8 OLI_TIRS, Pulau Wawonii, Kabupaten Konawe Kepulauan, Sulawesi Tenggara, 2014.....	18

Gambar 1.16 Hubungan antara Berbagai Konsepsi dalam Oseanografi Optik (Zaneveld, 1994)	20
Gambar 1.17 Penyerapan Energi Cahaya Matahari oleh Partikel-Partikel Atmosfer saat Cahaya Merambat Melalui Atmosfer (Lillesand and Kiefer, 1987)	23
Gambar 1.18 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Cahaya Menuju Sensor.....	24
Gambar 2.1 Satelit WorldView-4.....	29
Gambar 2.2 Satelit WorldView-3.....	31
Gambar 2.3 Satelit GeoEye-1	33
Gambar 2.4 Satelit WorldView-1.....	35
Gambar 2.5 Satelit WorldView-2.....	36
Gambar 2.6 Satelit Quickbird	37
Gambar 2.7 Satelit IKONOS.....	39
Gambar 2.8 Satelit SPOT.....	42
Gambar 2.9 Satelit ALOS	43
Gambar 2.10 Satelit SPOT-5.....	47
Gambar 2.11 Satelit Sentinel-2A.....	48
Gambar 3.1 Proses Koreksi Radiometrik Citra Menggunakan Metode Penyesuaian Histogram (<i>Histogram Adjustment</i>).....	65
Gambar 3.2 Koreksi Geometrik dengan Menggunakan Titik GCP	66
Gambar 3.3 Citra Hasil Komposit Kanal 321 RGB (<i>Red, Green, Blue</i>) pada Wilayah Kepulauan Spermonde, Selat Makassar	67
Gambar 3.4 Contoh Klasifikasi Tidak Terbimbing untuk Perairan Dangkal di Pulau Pajene kang, Kepulauan Spermonde (Citra Sentinel-2A, Akusisi 01 Maret 2017)	69
Gambar 3.5 Peta Sebaran Mangrove yang Ada di Teluk Ambon.....	72
Gambar 3.6 Peta Tutupan Ekosistem Terumbu Karang di Pulau Kambuno Menggunakan Hasil Klasifikasi (Citra <i>Quickbird</i> , Akusisi 11 Mei 2010).....	75

Gambar 3.7	Peta Tutupan Padang Lamun di Pulau Kambuno Menggunakan Hasil Klasifikasi Citra <i>Quickbird</i> Tahun 2012	76
Gambar 3.8	Sebaran Padatan Tersuspensi yang Ada di Teluk Ambon Menggunakan Hasil Analisis Citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2013.....	77
Gambar 3.9	Sebaran Salinitas yang Ada di Perairan Teluk Ambon Berdasarkan Survei Lapangan Tahun 2013.....	79
Gambar 3.10	Pola Sebaran SPL secara Spasial pada Musim Barat di Selat Makassar Tahun 2010	80
Gambar 3.11	Pola Sebaran Konsentrasi Klorofil-a secara Spasial pada Musim Barat di Selat Makassar Tahun 2010.....	82
Gambar 3.12	Pola Sebaran Konsentrasi Klorofil-a secara Spasial pada Musim Peralihan I Selat Makassar Tahun 2010.....	82
Gambar 3.13	Sebaran Penggunaan Lahan Pesisir Wilayah Selatan DAS Jeneberang	84
Gambar 3.14	Grafik Nilai Spektral Reflektansi Menggunakan Spektroradiometer Underwater pada Dua Jenis Karang (<i>Acropora Formosa</i> dan <i>Seriotopora Stelata</i>) yang Terdapat di Perairan Kepulauan Spermonde	88
Gambar 4.1	Pulau-Pulau Kecil Terluar/ <i>Outer Zone</i> Berpenghuni dan Tidak Berpenghuni (Lingkaran Tinta Merah) Kepulauan Spermonde	91
Gambar 4.2	Grafik Luasan Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m)	93
Gambar 4.3	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1972, 1976, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m).....	94
Gambar 4.4	Grafik Luasan Substrat Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)	94
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Persentase Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali Tahun 1972 dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m).....	95
Gambar 4.6	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m).....	95
Gambar 4.7	Grafik Luasan Substrat Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m).....	96

Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Persen Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali Tahun 1999 dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m).....	97
Gambar 4.9	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m)	98
Gambar 4.10	Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981	100
Gambar 4.11	Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996	102
Gambar 4.12	Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2006	104
Gambar 4.13	Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011	106
Gambar 4.14	Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 2011 – 2015	107
Gambar 4.15	Grafik Perubahan Luasan Substrat Live Coral dan Rubble Menjadi Dead Coral	108
Gambar 4.16	Grafik Perubahan Luasan Substrat Pecahan Karang Menjadi Karang Mati Beralga, <i>Mix Bottom</i> , Pasir, dan Lamun	109
Gambar 4.17	Grafik Perubahan Luasan Substrat Pasir Menjadi Padang Lamun dan Lamun Menjadi Pasir di Pulau Gondongbali	109
Gambar 4.18	Kondisi Perairan Dangkal di Pulau Gondongbali.....	110
Gambar 4.19	Kondisi Tutupan Lamun di Pulau Gondongbali pada Titik Koordinat 119°3'36.787" E – 4°42'57.326"S	110
Gambar 4.20	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m)	112
Gambar 4.21	Grafik Luasan Tutupan Perairan Dangkal Pulau Langkai Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m).....	112
Gambar 4.22	Grafik Luasan Substrat Tutupan Perairan Dangkal di Pulau Langkai Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)	113

Gambar 4.23 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)	114
Gambar 4.24 Grafik Luasan Substrat Tutupan Perairan Dangkal Pulau Langkai Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m).....	115
Gambar 4.25 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 30 m).....	116
Gambar 4.26 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981	118
Gambar 4.27 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996.....	119
Gambar 4.28 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005.....	121
Gambar 4.29 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 2008 – 2011, 2005 – 2008, dan 2011 – 2013.....	124
Gambar 4.30 Grafik Luasan Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandayang Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi 60 m)	125
Gambar 4.31 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m).....	126
Gambar 4.32 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandayang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi 30 m)	126
Gambar 4.33 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (resolusi spasial 30 m)	127
Gambar 4.34 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandayang Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi 15 m).....	128
Gambar 4.35 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m)	130
Gambar 4.36 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981 (Resolusi Spasial 60 m)	131


Gambar 4.37 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandangan Berdasarkan Periode Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 (Resolusi Spasial 30 m)	132
Gambar 4.38 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandangan Berdasarkan Periode Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 (Resolusi Spasial 15 m)	134
Gambar 4.39 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandangan Periode Tahun 2005 – 2008, 2008 – 2011, dan 2011 – 2013 (Resolusi Spasial 15 m)	136
Gambar 4.40 Kondisi Perairan Dangkal di Pulau Papandangan.....	136
Gambar 4.41 Kondisi Tutupan Lamun di Pulau Papandangan pada Titik Koordinat 118°58'57,839"E – 4°43'24,924"S.....	137
Gambar 4.42 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang Tahun 1972, 1978, dan 1981 (resolusi 60 m)	138
Gambar 4.43 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m)	139
Gambar 4.44 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi 30 m)	139
Gambar 4.45 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)	140
Gambar 4.46 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi 15 m).....	141
Gambar 4.47 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m)	143
Gambar 4.48 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Periode Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981 (Resolusi Spasial 60 m)	144

Gambar 4.49 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang Periode Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 (Resolusi Spasial 30 m)	144
Gambar 4.50 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang Periode Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 (Resolusi Spasial 15 m)	145
Gambar 4.51 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang Periode Tahun 2005 – 2008, 2008 – 2011, dan 2011 – 2013 (Resolusi Spasial 15 m)	145
Gambar 4.52 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Kapoposang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)	151
Gambar 4.53 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Kapoposang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)	152
Gambar 4.54 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Kapoposang Periode Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m).....	154
Gambar 5.1 Grafik Luasan Substrat Tutupan Perairan Dangkal Pulau Pamanggangang Berdasarkan Hasil Klasifikasi Citra Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 meter).....	156
Gambar 5.2 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)	157
Gambar 5.3 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Pamanggangang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 meter).....	157
Gambar 5.4 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)	158
Gambar 5.5 Grafik Luasan Tutupan Perairan Dangkal Pulau Pamanggangang Berdasarkan Hasil Klasifikasi Citra Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 meter).....	159

Gambar 5.6	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 meter)	159
Gambar 5.7	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Periode Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)	161
Gambar 5.8	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Periode Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)	162
Gambar 5.9	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Periode Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 (Resolusi Spasial 15 meter)	164
Gambar 5.10	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Periode Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011 (Resolusi Spasial 15 meter)	165
Gambar 5.11	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Periode Tahun 2011 – 2013 (Resolusi Spasial 15 meter).....	166
Gambar 5.12	Kondisi Perairan Dangkal di Pulau Pamanggangang.....	167
Gambar 5.13	Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi 60 meter)	168
Gambar 5.14	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)	168
Gambar 5.15	Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi 30 meter)	169
Gambar 5.16	Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)	169

Gambar 5.17 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi 15 meter).....	170
Gambar 5.18 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 meter)	171
Gambar 5.19 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Periode Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)	173
Gambar 5.20 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Periode Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)	174
Gambar 5.21 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Periode Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 (Resolusi Spasial 15 meter)	176
Gambar 5.22 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Periode Tahun 2005 – 2008, 2008 – 2011, dan 2011 – 2013 (Resolusi Spasial 15 meter)	179
Gambar 5.23 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Suranti Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi 60 meter)	180
Gambar 5.24 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)	181
Gambar 5.25 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Suranti Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi 30 meter)	181
Gambar 5.26 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)	182
Gambar 5.27 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Suranti Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi 15 meter).....	183
Gambar 5.28 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 meter).....	183

Gambar 5.29 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Periode Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)	185
Gambar 5.30 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Suranti Periode Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)	187
Gambar 5.31 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Suranti Periode Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 (Resolusi Spasial 15 meter)	189
Gambar 5.32 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Suranti Periode Tahun 2005 – 2008, 2008 – 2011, dan 2011 – 2013 (Resolusi Spasial 15 meter)	191



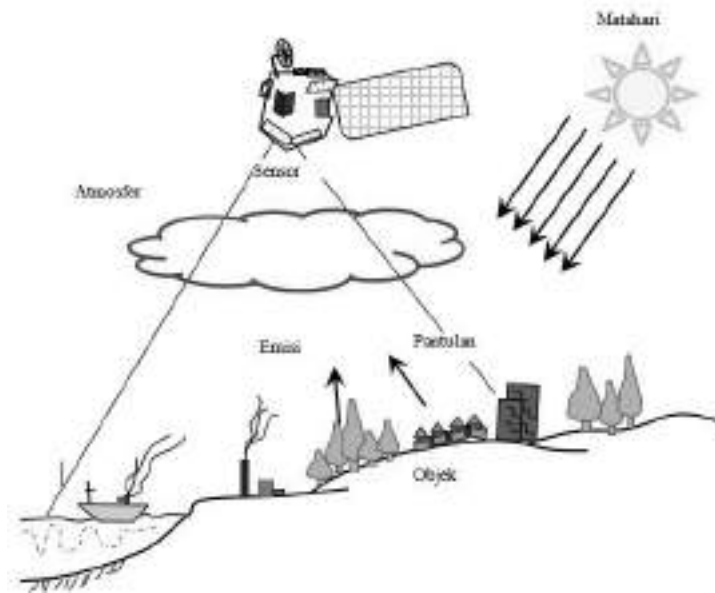
BAB I FUNDAMENTAL PENGINDERAAN JAUH

1.1. Konsep Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan dan teknologi di mana karakteristik objek dapat diidentifikasi, diukur, atau dianalisis tanpa adanya kontak langsung. Radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari sebuah objek disebut '*remote sensor*' atau sensor. Kamera dan *scanner* adalah contoh dari *remote sensor*. Wahana untuk membawa sensor disebut anjungan (*platform*). Pesawat atau satelit digunakan sebagai platform.

Istilah teknis "penginderaan jauh" pertama kali digunakan di Amerika Serikat pada tahun 1960, mencakup fotogrametri, foto interpretasi, foto geologi, dan lain-lain. Landsat-1 merupakan satelit observasi bumi yang pertama diluncurkan pada tahun 1972, dan kini penginderaan jauh telah meluas penggunaannya. Karakteristik dari suatu objek dapat ditentukan melalui atau pancaran radiasi elektromagnetik dari objek. Artinya, setiap benda memiliki karakteristik yang unik dari perbedaan jika jenis objek atau kondisi lingkungan berbeda. Penginderaan jauh adalah teknologi untuk mengidentifikasi dan mengetahui suatu objek atau kondisi lingkungan melalui keunikan dari refleksi atau emisinya. Refleksi akan berbeda jika objek dan kondisi lingkungan berbeda.

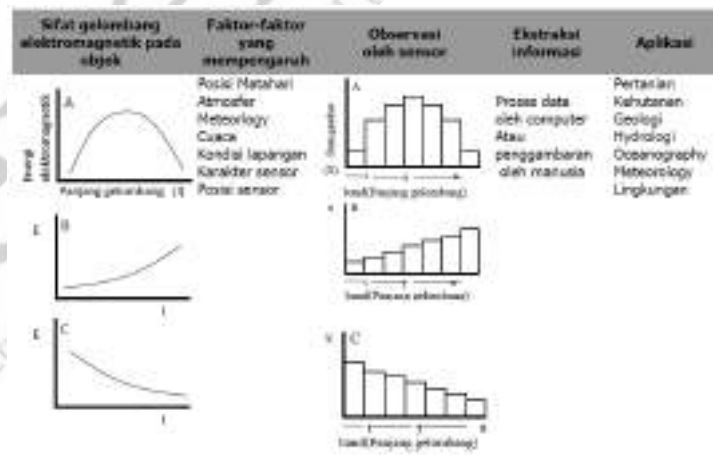
Konsep ini diilustrasikan pada Gambar 1.1, sedangkan pada Gambar 1.2 menunjukkan proses dalam penginderaan jauh yang diilustrasikan pada tiga objek berbeda yang diukur oleh sensor pada beberapa band, dimana terdapat banyak faktor yang memengaruhi sinyal dalam gelombang elektromagnetik. Data penginderaan jauh akan diproses secara otomatis oleh komputer dan/atau ditafsirkan secara manual oleh manusia, dan akhirnya digunakan dalam bidang lingkungan, meteorologi, oseanografi, geologi, hidrologi, penggunaan lahan, pertanian dan kehutanan.



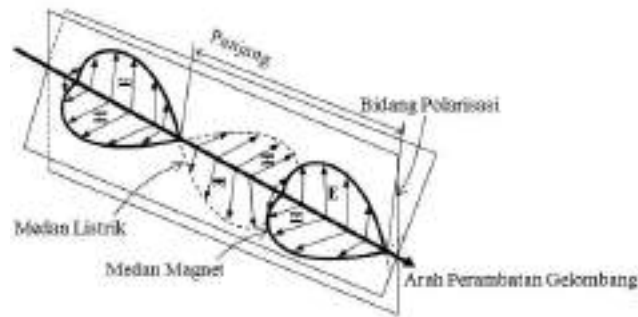
Gambar 1.1 Proses Perolehan Data Penginderaan Jauh

1.1.1 Karakteristik Radiasi Elektromagnetik

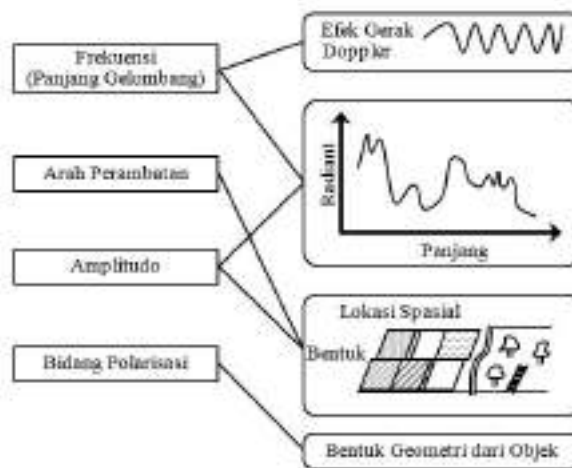
Radiasi elektromagnetik adalah pembawa energi elektromagnetik melalui osilasi dari medan magnet elektro melewati ruang atau bahan/material. Transmisi radiasi elektromagnetik berasal dari persamaan Maxwell. Radiasi elektromagnetik memiliki karakteristik gerakan gelombang dan gerakan partikel (Gambar 1.3).



Gambar 1.2 Matriks Aliran Penginderaan Jauh



Gambar 1.3 Radiasi Elektromagnetik



Gambar 1.4 Pengiriman Informasi dari Elemen Radiasi Elektromagnetik

1.1.2 Interaksi Radiasi Elektromagnetik dengan Objek di Permukaan Bumi

Energi elektromagnetik merupakan sebuah komponen utama dari sistem penginderaan jauh untuk lingkungan hidup, yaitu sebagai medium pengiriman informasi dari target kepada sensor. Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa karakter yang bisa diukur, yaitu panjang gelombang, frekuensi, amplitudo, dan kecepatan. Amplitudo adalah tinggi gelombang, sedangkan panjang gelombang adalah jarak antara dua puncak. Frekuensi adalah jumlah gelombang yang melalui suatu titik dalam satuan waktu. Frekuensi tergantung dari kecepatan merambatnya gelombang. Karena kecepatan energi elektromagnetik adalah konstan (kecepatan cahaya), panjang gelombang, dan frekuensi berbanding terbalik. Semakin panjang suatu gelombang, semakin rendah frekuensinya, dan semakin pendek suatu gelombang maka akan semakin tinggi frekuensinya.

Semua objek memantulkan, menyerap, menembus, dan memancarkan radiasi elektromagnetik dengan cara yang unik. Misalnya, daun tampak hijau karena kandungan klorofil yang diserap oleh spektrum biru, merah, dan spektrum hijau. Karakteristik unik dari setiap benda/materi disebut karakteristik spektral.

1.1.3 Panjang Gelombang dari Radiasi Elektromagnetik

Daerah panjang gelombang elektromagnetik memiliki *range* dengan nama yang berbeda mulai dari Y-ray, X-ray, ultraviolet (UV), cahaya tampak, inframerah (IR), sampai gelombang radio. Radiasi panjang gelombang elektromagnetik dari yang lebih pendek sampai panjang dicirikan sebagai gerakan partikel dengan lebih linearitas dan direktivitas.

Tabel 1.1 menunjukkan nama dan panjang gelombang radiasi elektromagnetik. Klasifikasi radiasi inframerah dan radio dapat bervariasi sesuai dengan keilmuan. Tabel 1.2 memperlihatkan sebuah contoh yang umum digunakan dalam penginderaan jauh.

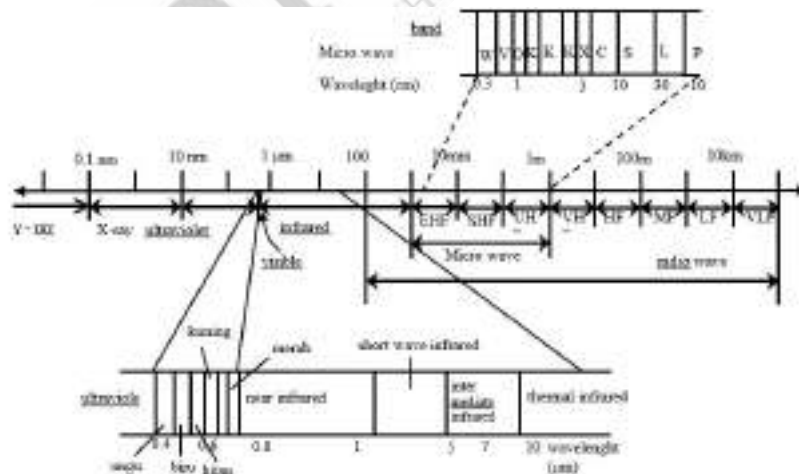
Radiasi elektromagnetik yang digunakan dalam penginderaan jauh adalah near UV (ultra violet) (0,3 – 0,4 μm), cahaya tampak (0,4 – 0,7 μm), dekat gelombang pendek dan inframerah termal (0,7 – 14 μm), serta gelombang mikro (1 mm – 1 m). Rentang spektral gelombang inframerah dekat (near IR) dan rentang gelombang pendek disebut reflektif inframerah (0,7 – 3 mm) karena rentangnya lebih banyak dipengaruhi oleh refleksi cahaya surya pada emisi dari dominasi permukaan tanah.

Cahaya terjadi sesuai dengan warna spektral, yaitu spektral dari panjang gelombang yang lebih panjang pada daerah tampak disebut warna pelangi, yang terdiri dari warna merah, oranye, kuning, hijau, biru, dan ungu yang berada pada panjang gelombang sinar tampak.

Gelombang pendek inframerah telah banyak digunakan untuk geologi pada bidang batuan. Inframerah termal digunakan untuk pengukuran suhu, sedangkan gelombang mikro digunakan untuk radar dan gelombang mikro radiometri. Penamaan khusus K band, X band, C band, L band, dan lain-lain diberikan pada daerah gelombang mikro seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.5.

Tabel 1.1 Klasifikasi Radiasi Elektromagnetik

Kelas		Panjang Gelombang	Frekuensi	
Ultraviolet		100Å ~ 0.4 μm	750 ~ 3,000 THz	
Visible		0.4 ~ 0.7 μm	430 ~ 750 THz	
Inframerah	<i>Near infrared</i>	0.7 ~ 1.3 μm	230 ~ 430 THz	
	<i>Short wave infrared</i>	1.3 ~ 3 μm	100 ~ 230 THz	
	<i>Intermediate infrared</i>	3 ~ 8 μm	38 ~ 100 THz	
	<i>Thermal infrared</i>	8 ~ 14 μm	22 ~ 38 THz	
	<i>Far infrared</i>	14 μm ~ 1 mm	0.3 ~ 22 THz	
Gelombang Radio	Submillimeter	0.1 ~ 1 mm	0.3 ~ 3 THz	
	Micro Wave	Millimeter (EHF)	1 ~ 10 mm	30 ~ 300 MHz
		Centimeter (SHF)	1 ~ 10 cm	3 ~ 30 GHz
		Decimeter (UHF)	0.1 ~ 1 m	0.3 ~ 3 GHz
	Very short wave (VHF)	1 ~ 10 m	30 ~ 300MHz	
	Short wave (HF)	10 ~ 100 m	3 ~ 30 MHz	
	Medium wave (MF)	1.1 ~ 1 km	0.3 ~ 3MHz	
	Long wave (LF)	1 ~ 10 km	30 ~ 300kHz	
Very long wave (VLF)	10 ~ 100 km	3 ~ 30kHz		



Gambar 1.5 Saluran yang Digunakan dalam Penginderaan Jauh

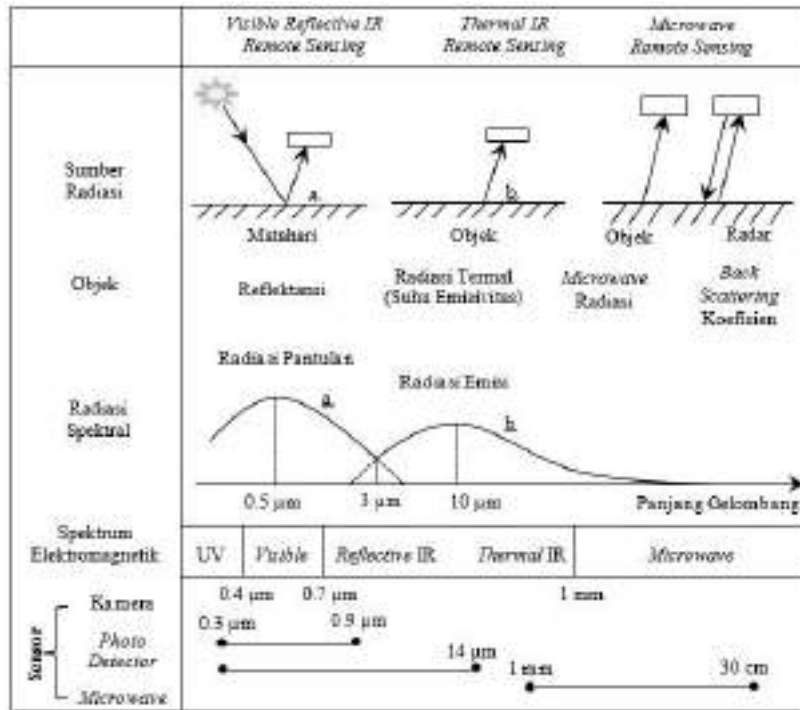
1.2. Jenis Penginderaan Jauh Berdasarkan Panjang Gelombang

Penginderaan jauh diklasifikasikan dalam tiga jenis sehubungan dengan daerah panjang gelombang, yakni (1) *visible* dan reflektif *infrared*, (2) *thermal infrared*, dan (3) *microwave*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.6.

Sumber energi yang digunakan dalam penginderaan jauh inframerah dan *visible* adalah matahari. Matahari memancarkan energi elektromagnetik dengan panjang gelombang puncak $0,5 \mu\text{m}$. Data penginderaan jauh diperoleh dari cahaya tampak dan inframerah, utamanya tergantung pada dari objek di permukaan bumi. Oleh karena itu, informasi tentang objek dapat diperoleh dari nilai reflektansi spektral. Namun, radar laser merupakan pengecualian karena radar laser tidak menggunakan energi matahari tetapi energi laser sensor.

Sumber energi radiasi yang digunakan dalam penginderaan jauh menggunakan energi inframerah termal yang merupakan energi dari objek itu sendiri, karena setiap objek dengan suhu normal akan memancarkan radiasi elektromagnetik dengan puncak sekitar $10 \mu\text{m}$. Angka tersebut belum termasuk faktor pengaruh penyerapan atmosfer, tetapi angka untuk penyederhanaan. Kurva spektral bervariasi dan bergantung pada reflektansi, daya pancar, dan suhu objek. Pada kurva (a) dan (b) pada Gambar 1.6, kurva berada pada kisaran panjang gelombang sekitar $3,0 \mu\text{m}$. Oleh karena itu, pada daerah panjang gelombang $< 3,0 \mu\text{m}$ yang diamati adalah reflektansi spektral, sedangkan pada daerah panjang gelombang $> 3,0 \mu\text{m}$ yang diukur adalah suhu radiasi.

Pada daerah panjang gelombang *microwave*, ada dua jenis gelombang mikro penginderaan jauh, yaitu gelombang mikro pasif dan aktif. Dalam penginderaan jauh pasif, radiasi gelombang mikro yang dipancarkan dari sebuah objek dapat terdeteksi, sedangkan hamburan dapat terdeteksi dengan menggunakan gelombang mikro aktif.



Gambar 1.6 Tiga Jenis Sumber Energi dalam Penginderaan Jauh Berdasarkan Panjang Gelombang

1.3. Radiometri dan Radiasi Benda Hitam (*Black Body*)

1.3.1 Radiometri

Radiometri digunakan untuk mengukur sifat fisik dari berbagai macam radiasi X-ray menggunakan gelombang radio, sedangkan respons fotometri sesuai dengan persepsi manusia terhadap cahaya tampak berdasarkan sensitivitas mata manusia seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.5.

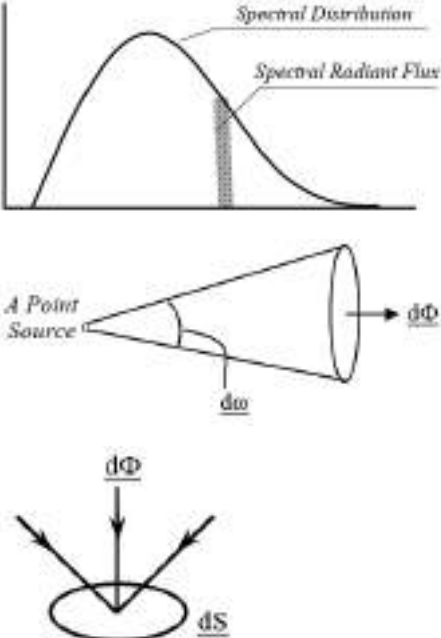
Radiasi adalah energi yang ditentukan sebagai radiasi yang diperoleh dari energi elektromagnetik dan dinyatakan dalam satuan unit joule (J). Fluks radiasi adalah energi radiasi yang ditransmisikan sebagai arah radial per satuan waktu dan dinyatakan dalam satuan watt (W). Radiasi cahaya yang mengenai permukaan per satuan luas dinyatakan dalam satuan Wm^{-2} . Daya pancar radiasi adalah fluks radiasi yang terpancar dari permukaan per satuan luas dan dinyatakan dalam satuan Wm^{-2} . Radiansi merupakan intensitas radiasi per daerah yang diproyeksikan dalam satuan arah radial dan dinyatakan dalam unit Wm^{-2} .

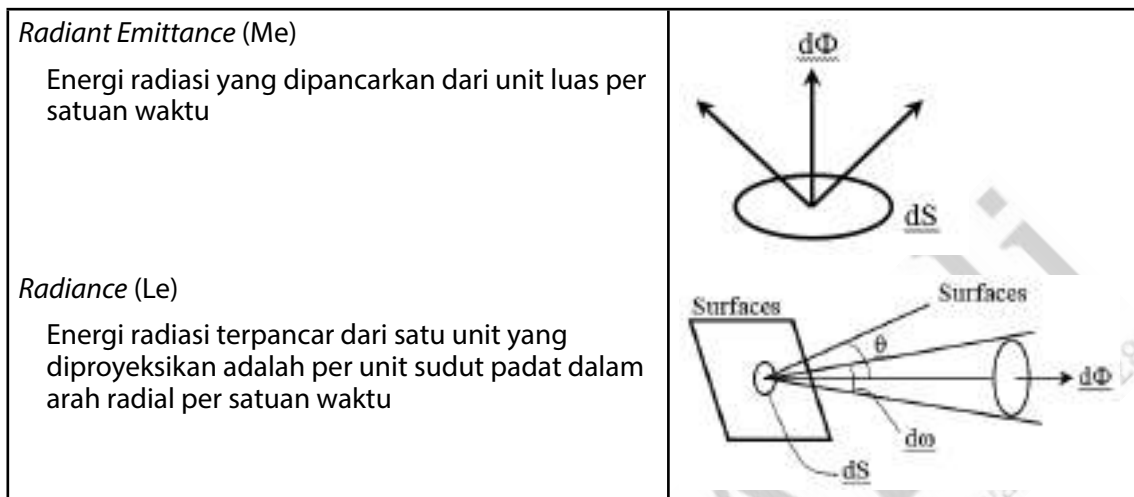
1.3.2 Radiasi Benda Hitam (*Black Body*)

Objek memancarkan fluks dengan cahaya spektral unik yang tergantung pada suhu dan emisivitas suatu objek. Radiasi ini disebut radiasi termal karena tergantung pada suhu. Suatu termal dapat dinyatakan dalam teori benda hitam (*black body*).

Benda hitam adalah materi yang menyerap semua energi elektromagnetik dan tidak menampilkan atau memancarkan energi apapun. Menurut hukum Kirchhoff, rasio radiasi energi suatu objek dalam termal keseimbangan yang statis, untuk menyerap energi yang konstan dan hanya tergantung pada panjang gelombang serta suhu (T). Sebuah benda hitam menunjukkan radiasi maksimum, radiasi tertinggi dibandingkan dengan materi lainnya, oleh karena itu, benda hitam disebut pemancar yang sempurna.

Radiasi benda hitam didefinisikan sebagai radiasi termal dari benda hitam dan oleh hukum Plank sebagai sebuah fungsi dari suhu (T) serta panjang gelombang. Dalam penginderaan jauh, koreksi terhadap emisivitas harus dilakukan karena objek yang diamati bukan benda hitam.

<p>Energi Radiasi (Q_e) Energi yang dibawa oleh radiasi elektromagnetik</p> <p>Fluks Radiasi (Φ_{ce}) Energi radiasi yang ditransmisikan per satuan waktu</p> <p>Intensitas Radiasi (I_e) Energi radiasi yang terpancar dari sumber titik per sudut padat dalam arah radial per satuan waktu</p> <p>Irradiance (E_e) Insiden energi radiasi pada unit luas per satuan waktu</p>	 <p>The figure contains three diagrams. The top diagram is a graph of spectral distribution, showing a bell-shaped curve. A vertical shaded area under the curve is labeled 'Spectral Radiant Flux'. The middle diagram shows a 'Point Source' emitting radiation into a cone. The solid angle of the cone is labeled $d\Omega$ and the flux is labeled $d\Phi$. The bottom diagram shows a surface area dS with three arrows representing incident radiation. The flux incident on the surface is labeled $d\Phi$.</p>
--	--



Gambar 1.7 Ringkasan Definisi dari Radiometrik

Emisivitas dapat didefinisikan oleh rumus sebagai berikut:

$$Emisivitas = \frac{\text{energi radiansi dari suatu objek}}{\text{energi radiansi dari benda hitam}} \dots\dots\dots (1.1)$$

dengan temperatur yang sama sebagai objek

Jarak emisivitas antara 0 dan 1 tergantung pada beberapa hal, yakni konstanta elektrik suatu objek, kekasaran permukaan, suhu, panjang gelombang, sudut datang, dan lain-lain yang menunjukkan emisivitas radiansi spektral dan fluks radiansi spektral dari tiga objek, yaitu benda hitam, benda abu-abu, dan radiator selektif.

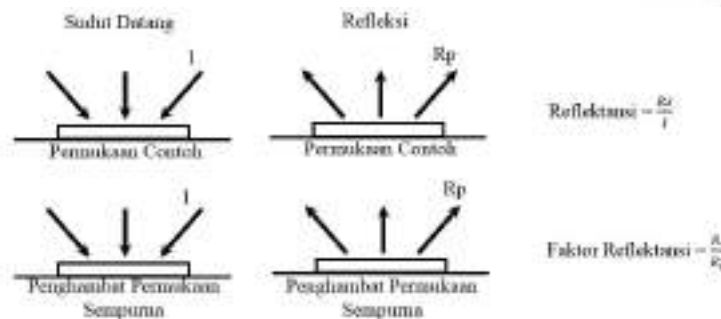
1.4. Reflektansi Spektral Berbagai Objek

Reflektansi didefinisikan sebagai rasio antara energi yang datang pada suatu permukaan objek dengan energi yang direfleksikan pada suatu permukaan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.8. Reflektansi berkisar dari 0 sampai 1. Reflektansi awalnya didefinisikan sebagai rasio antara energi yang datang berupa cahaya energi putih dengan reflektansi energi dalam arah belahan bumi. Alat yang digunakan untuk mengukur reflektansi disebut spektrometer.

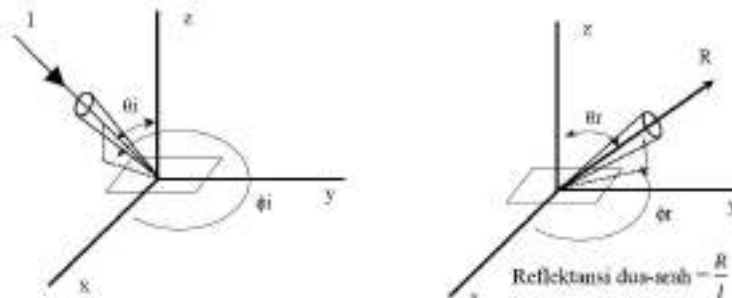
Albedo merupakan yang menggunakan sumber cahaya yang datang dari matahari. Faktor reflektansi digunakan sebagai rasio energi dari permukaan objek yang menyebar sempurna. Reflektansi berhubungan dengan panjang gelombang yang disebut reflektansi

spektral. Asumsi dasar dalam penginderaan jauh bahwa keunikan dari reflektansi spektral adalah perbedaan dari setiap objek dengan objek yang lain.

Reflektansi spektral diasumsikan berbeda berdasarkan jenis tutupan lahan. Pada dasarnya dalam banyak kasus penginderaan jauh memungkinkan identifikasi tutupan lahan dengan mengamati reflektansi spektral atau spektral cahaya dari jarak jauh. Tanah memiliki nilai reflektansi lebih tinggi pada semua spektrum. Air hampir tidak memiliki reflektansi pada wilayah inframerah.



Gambar 1.8 Reflektansi dan Faktor Reflektansi



Gambar 1.9 Reflektansi Dua Arah

Klorofil yang terkandung dalam daun memiliki daya serap yang kuat pada panjang gelombang 0,45 dan 0,67 μm , dan reflektansi pada inframerah dekat (0,7 – 0,9 μm) menghasilkan puncak terkecil pada panjang gelombang 0,5 – 0,6 μm (band) yang membuat vegetasi hijau dapat diamati oleh manusia. Inframerah dekat sangat berguna untuk survei pemetaan vegetasi dan pada panjang gelombang 0,7 – 0,9 μm hanya diproduksi oleh vegetasi. Karena kandungan air dalam daun, ada dua penyerapan pada pita sekitar 1,5 μm dan 1,9 μm . Ini juga digunakan untuk survei vegetasi. Pola reflektansi spektral jenis batuan dapat dibedakan pada gelombang inframerah pendek (1,3 – 3,0 μm), ini dipergunakan untuk mengklasifikasikan jenis batuan berdasarkan absorpsi dan kemampuan penyerapan yang berbeda.

1.5. Karakteristik Spektral Radiasi Matahari

Matahari adalah sumber energi yang digunakan untuk mendeteksi energi yang dipantulkan dari permukaan tanah pada cahaya tampak dan inframerah dekat. Sinar matahari akan diserap dan dihamburkan oleh ozon, debu, aerosol, dan lain-lain, selama terjadi transmisi dari luar angkasa ke permukaan bumi. Matahari dianggap sebagai benda hitam dengan suhu 5.900 °C. Konstanta matahari yang diperoleh dengan mengintegrasikan spektral radiasi untuk semua daerah panjang gelombang yang umumnya senilai 1,37 Wm⁻². Radiasi matahari di permukaan bumi sangat berbeda dengan bagian atas atmosfer akibat dari efek atmosfer yang membandingkan spektral radiasi di permukaan bumi dengan radiasi benda hitam dari suhu permukaan 5.900 °C.

Selain sinar matahari langsung jatuh di permukaan bumi, ada sumber cahaya lain yang disebut radiasi dari langit, yaitu radiasi difusi atau *skylight* yang diproduksi oleh hamburan sinar matahari oleh molekul atmosfer dan aerosol. *Skylight* berkisar 10% dari sinar matahari langsung ketika langit dalam kondisi cerah dan sudut elevasi matahari sekitar 50 derajat. *Skylight* memiliki karakteristik spektral pada panjang gelombang 0,45 μm sebagai puncak kurva.

1.6. Transmittansi dari Atmosfer

Transmisi sinar matahari melalui atmosfer dipengaruhi oleh penyerapan hamburan oleh molekul atmosfer dan aerosol. Ketebalan optik atmosfer sesuai dengan nilai yang terintegrasi dari koefisien pada setiap ketinggian dengan ketebalan atmosfer. Ketebalan optik menunjukkan besarnya penyerapan dan hamburan sinar matahari. Unsur-unsur berikut ini akan memengaruhi transmittansi atmosfer, yaitu:

- a. Molekul atmosfer (ukuran lebih kecil dari panjang gelombang): Dioksigen karbon, ozon, gas nitrogen, dan molekul lainnya.
- b. Aerosol (ukuran yang lebih besar dari panjang gelombang): tetes air seperti kabut asap, debu, dan partikel lain dengan ukuran yang lebih besar.

Hamburan oleh molekul atmosfer dengan ukuran yang lebih kecil dari panjang gelombang disebut penghamburan Raleigh (*Raleigh Scattering*). *Raleigh Scattering* berbanding terbalik dengan kemampuan panjang gelombang. Kontribusi molekul atmosfer terhadap ketebalan optik hampir konstan terhadap ruang dan waktu, meskipun agak bervariasi tergantung pada musim dan lintang.

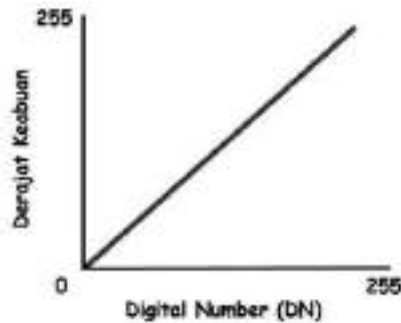
Hamburan oleh aerosol dengan ukuran yang lebih besar dari panjang gelombang sinar matahari disebut *Mie Scattering*. Sumber aerosol partikel seperti air laut atau debu di atmosfer yang terhambur dari laut atau tanah, sampah perkotaan, asap industri, abu vulkanik, dan lain-lain bervariasi serta sebagian besar tergantung pada lokasi dan waktu. Selain itu, karakteristik optik dan distribusi ukuran juga berubah sehubungan dengan kelembapan, suhu, dan kondisi lingkungan lainnya. Hal ini yang menyebabkan pengukuran efek hamburan aerosol menjadi sulit dilakukan.

Hamburan, penyerapan, dan transmisi atmosfer berbeda untuk panjang gelombang yang berbeda. Kontribusi hamburan lebih besar pada panjang gelombang yang lebih pendek. Kontribusi oleh penyerapan tidak konstan dan tergantung pada panjang gelombang tertentu.

Transfer radiasi merupakan proses transmisi radiasi elektromagnetik melalui atmosfer dan pengaruh atmosfer. Efek atmosfer diklasifikasikan ke dalam efek perkalian dan efek aditif. Efek multiplikasi berasal dari pelepasan energi insiden bumi ke sensor yang akan mengurangi akibat dari pengaruh penyerapan dan hamburan. Efek aditif berasal dari emisi yang dihasilkan oleh radiasi termal dan hamburan atmosfer yang merupakan energi insiden pada sensor serta dari sumber selain objek yang terukur. Ketika energi elektromagnetik mengonversi ke energi panas dengan hamburan yang luar biasa pada daerah panjang gelombang yang lebih pendek. Energi tambahan dengan emisi dan hamburan atmosfer pada sensor. Radiasi panas dari atmosfer yang dikemukakan oleh hukum Planck, seragam ke segala arah. Emisi dan hamburan insiden atmosfer pada sensor, secara tidak langsung masuk ke dalam sumber energi lain dari hamburan antara sensor dan objek. Hamburan tergantung pada ukuran partikel, arah cahaya, dan hamburan. Radiasi termal dominan di wilayah inframerah termal, sedangkan hamburan dominan di daerah panjang gelombang yang lebih pendek.

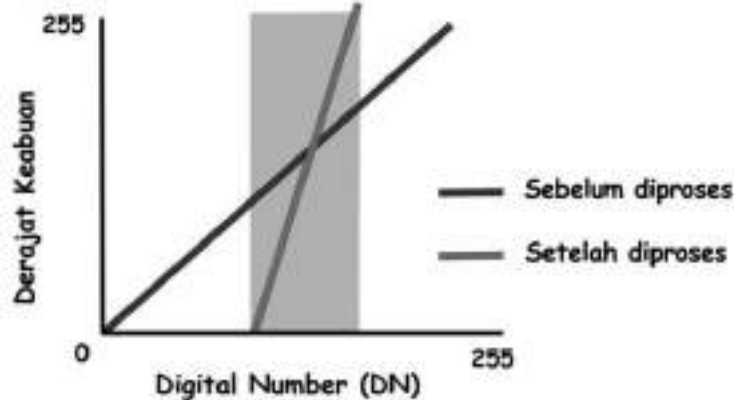
1.7. Transformasi Nilai Spektral

Plot antara DN (*Digital Number*) dan derajat keabuan untuk setiap piksel, garis yang terbentuk menggambarkan bentuk hubungan antara keduanya. Hubungan *linier* (seperti contoh di bawah ini) menunjukkan bahwa DN dan juga keabuan tersebar merata dalam kisaran nilai 0 – 255 pada citra.



Gambar 1.10 Hubungan Linier antara Nilai *Digital Number* dengan Nilai Keabuan

Permasalahan dengan hubungan *linear* seperti ini adalah bahwa nilai DN dari bentuk-bentuk yang ingin kita tonjolkan mungkin terkonsentrasi pada kisaran kecil, sehingga derajat keabuan yang diberikan kepada nilai DN di luar daerah yang ingin kita tonjolkan sebenarnya tidak terpakai. Untuk memperbaiki kontras dari bagian citra yang kita inginkan kita bisa memakai kurva perbaikan yang didefinisikan secara matematis.



Gambar 1.11 Kurva *Digital Number* Sebelum Perbaikan dan Setelah Perbaikan

Kurva ini akan menyebarkan ulang nilai derajat keabuan yang paling sering dipakai sehingga menonjolkan kisaran DN tertentu. Pemakaian kurva untuk menonjolkan bentuk tertentu dan juga pemilihan 3 band dari citra multispektral yang dikombinasikan dalam sebuah citra komposit memerlukan pengalaman dan '*trial and error*', karena setiap aplikasi menekankan bentuk yang berbeda dalam sebuah citra.

Sebelum citra dianalisis, biasanya diperlukan beberapa langkah pemrosesan awal. Koreksi radiometrik adalah salah satu dari langkah awal ini, dimana efek kesalahan sensor dan faktor lingkungan dihilangkan. Biasanya koreksi ini mengubah nilai DN yang terkena

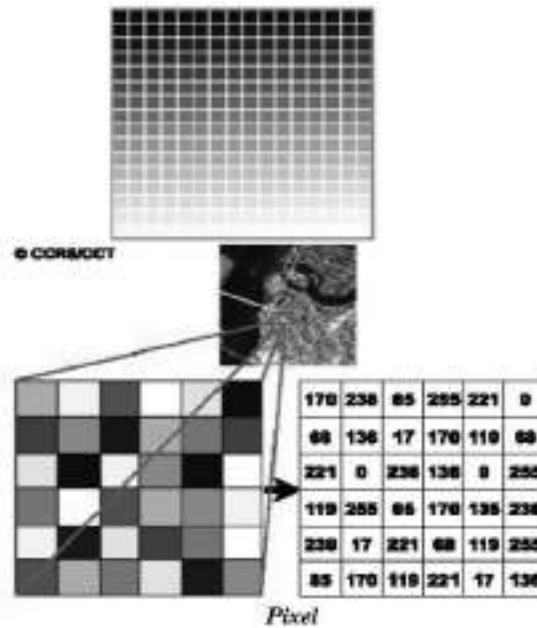
efek atmosferik. Data tambahan yang dikumpulkan pada waktu yang bersamaan dengan pengambilan/perolehan citra bisa dipakai sebagai alat kalibrasi dalam melakukan koreksi radiometrik. Selain itu, koreksi geometrik juga sangat penting dalam langkah awal pemrosesan. Metode ini mengoreksi kesalahan yang disebabkan oleh geometri dari kelengkungan permukaan bumi dan pergerakan satelit. Koreksi geometrik adalah proses dimana titik-titik pada citra diletakkan pada titik-titik yang sama pada peta atau citra lain yang sudah dikoreksi. Tujuan dari koreksi geometrik adalah untuk meletakkan elemen citra pada posisi planimetrik (x dan y) yang seharusnya.

1.7.1 Mengubah Data Menjadi Citra

Data citra satelit dikirim ke stasiun penerima dalam bentuk format digital mentah yang merupakan sekumpulan data numerik. Unit terkecil dari data digital adalah *bit*, yaitu angka biner, 0 atau 1. Kumpulan dari data sejumlah 8 bit data adalah sebuah unit data yang disebut *byte*, dengan nilai dari 0 – 255. Pada citra digital, nilai level energi ditulis dalam satuan *byte*. Kumpulan *byte* dengan struktur tertentu bisa dibaca oleh perangkat lunak (*software*) dan disebut citra digital 8 bit.

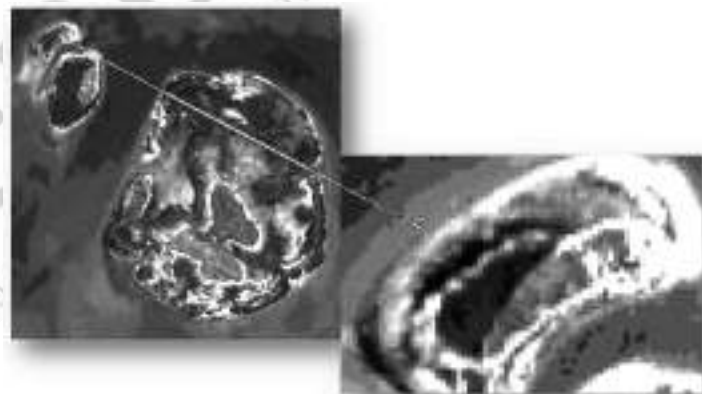
1.7.2 Karakteristik Citra

Pixel (picture element) adalah sebuah titik yang merupakan elemen paling kecil pada citra satelit. Angka numerik (1 byte) dari *pixel* disebut *digital number (DN)*. DN bisa ditampilkan dalam warna kelabu, berkisar antara putih dan hitam (*gray scale*), tergantung level energi yang terdeteksi. *Pixel* yang disusun dalam order yang benar, akan membentuk sebuah citra. Kebanyakan citra satelit yang belum diproses disimpan dalam bentuk *gray scale*, yang merupakan skala warna dari hitam ke putih dengan derajat keabuan yang bervariasi. Untuk PJ, skala yang dipakai adalah 256 *shade gray scale*, dimana nilai 0 menggambarkan hitam, nilai 255 putih. Dua gambar di bawah ini menunjukkan derajat keabuan dan hubungan antara DN dan derajat keabuan yang menyusun sebuah citra.



Gambar 1.12 Elemen Terkecil pada Citra 'Picture Element'/'Pixel

Untuk citra multispektral, masing-masing *pixel* mempunyai beberapa DN, sesuai dengan jumlah band yang dimiliki. Sebagai contoh, untuk Landsat 7, masing-masing *pixel* mempunyai 7 DN dari 7 band yang dimiliki. Citra bisa ditampilkan untuk masing-masing band dalam bentuk hitam dan putih maupun kombinasi 3 band sekaligus, yang disebut *color composites*. Gambar 1.13 menunjukkan gabungan (*composite*) beberapa band dari potongan Landsat 8 dan *pixel* yang menyusunnya.



Gambar 1.13 Tampilan *Pixel* pada Citra Satelit Landsat 8 OLI_TIRS, Pulau Tanakeke, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan

Kontras adalah perbedaan antara *brightness* relatif antara sebuah benda dengan sekeliling citra. Sebuah bentuk tertentu mudah terdeteksi apabila pada sebuah citra kontras antara bentuk tersebut dengan latar tinggi. Teknik pengolahan citra bisa dipakai untuk mempertajam kontras.

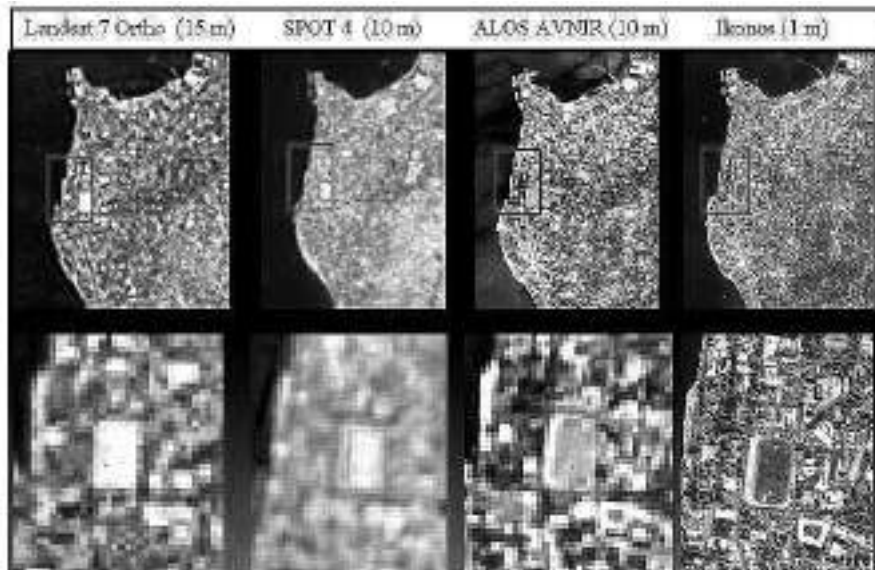
Citra satelit sebagai dataset bisa dimanipulasi menggunakan algoritme (persamaan matematis). Manipulasi bisa merupakan pengoreksian alat (*error*), pemetaan kembali data terhadap suatu referensi geografi tertentu, ataupun mengekstrak informasi yang tidak langsung terlihat dari data. Data dari dua citra atau lebih pada lokasi yang sama bisa dikombinasikan secara matematis untuk menggabungkan beberapa dataset. Produk data ini, disebut produk turunan (*derived products*), bisa dihasilkan dengan beberapa penghitungan matematis atas data numerik mentah (DN).

Resolusi dari sebuah citra adalah karakteristik yang menunjukkan level kedetailan yang dimiliki oleh sebuah citra. Resolusi didefinisikan sebagai area dari permukaan bumi yang diwakili oleh sebuah *pixel* sebagai elemen terkecil dari sebuah citra. Pada citra satelit pemantau cuaca yang mempunyai resolusi 1 km, masing-masing *pixel* mewakili rata-rata nilai *brightness* dari sebuah area berukuran 1 x 1 km. Bentuk yang lebih kecil dari 1 km susah dikenali melalui citra dengan resolusi 1 km. Landsat 7 menghasilkan citra dengan resolusi 30 meter, sehingga jauh lebih rinci yang bisa dilihat dibandingkan pada citra satelit dengan resolusi 1 km. Resolusi adalah hal penting yang perlu dipertimbangkan dalam rangka pemilihan citra yang akan digunakan terutama dalam hal aplikasi, waktu, biaya, ketersediaan citra, dan fasilitas komputasi. Gambar 1.14 menunjukkan perbandingan dari 4 resolusi citra yang berbeda.

Ada beberapa faktor yang memengaruhi kualitas citra terkait dengan hambatan-hambatan dalam melakukan interpretasi dan klasifikasi, yaitu:

- a. Tutupan awan. Terutama untuk sensor pasif, awan bisa menutupi bentuk-bentuk yang berada di bawah atau di dekatnya, sehingga memungkinkan interpretasi. Masalah ini sangat sering dijumpai di daerah tropis dan mungkin diatasi dengan menggabungkan citra dari sensor pasif (misalnya, Landsat) dengan citra dari sensor aktif (misalnya, Radarsat) untuk keduanya saling melengkapi.
- b. Bayangan topografis. Metode pengoreksian yang ada untuk menghilangkan pengaruh topografi pada radiometri yang belum terlalu maju perkembangannya. Pengaruh atmosferik, terutama ozon, uap air, dan aerosol sangat mengganggu pada band nampak dan inframerah. Penelitian akademis untuk mengatasi hal ini masih aktif dilakukan.

- c. Derajat kedetailan dari peta tutupan lahan yang ingin dihasilkan. Semakin detail peta yang ingin dihasilkan, semakin rendah akurasi dari klasifikasi. Hal ini salah satunya bisa diperbaiki dengan adanya resolusi spektral dan resolusi spasial dari citra yang tersedia.



Gambar 1.14 Resolusi pada Citra Satelit yang Berbeda pada Wilayah Pusat Kota Pare-Pare, Sulawesi Selatan

(Sumber: LAPAN Pare-Pare)

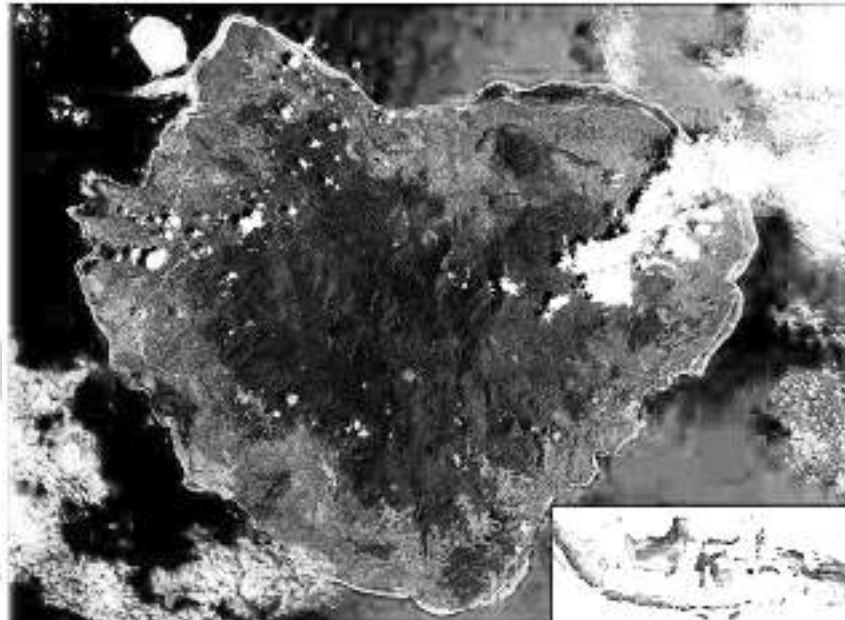
Setelah citra dipilih dan diperoleh, langkah-langkah pemrosesan tidak terlalu tergantung pada sistem sensor dan juga *software* pengolahan citra yang dipakai. Berikut ini, akan disampaikan dengan singkat beberapa langkah yang umum dilakukan, akan tetapi detail dari teknik dan keterampilan menggunakan hanya bisa diperoleh dengan praktik langsung dengan menggunakan sebuah citra dan perangkat lunak pengolahan citra tertentu. Langkah-langkah dalam pengolahan citra, yaitu:

- Mengukur kualitas data dengan statistik deskriptif atau dengan tampilan citra.
- Mengoreksi kesalahan, baik radiometrik (*atmosferik* atau sensor) maupun geometrik.
- Menajamkan citra baik untuk analisis digital maupun visual.
- Melakukan survei lapangan.

- Mengambil sifat tertentu dari citra dengan proses klasifikasi dan pengukuran akurasi dari hasil klasifikasi.
- Memasukkan hasil olahan ke dalam SIG sebagai input data.
- Menginterpretasikan hasil.

Mengamati citra pada layar adalah proses yang paling efektif dalam mengidentifikasi masalah yang ada pada citra, misalnya tutupan awan, kabut, dan kesalahan sensor. Citra bisa ditampilkan oleh sebuah komputer, baik per satu band dalam hitam dan putih maupun dalam kombinasi tiga band, yang disebut komposit warna. Mata manusia hanya bisa membedakan 16 derajat keabuan dalam sebuah citra, tetapi bisa membedakan berjuta-juta warna. Oleh karena itu, teknik perbaikan/*enhancement* citra yang paling sering digunakan adalah memberi warna tertentu kepada nilai DN tertentu (atau kisaran dari DN tertentu) sehingga meningkatkan kontras antara nilai DN tertentu dengan *pixel* di sekelilingnya pada suatu citra.

Sebuah citra *true color* adalah citra dimana warna yang diberikan kepada nilai-nilai DN mewakili kisaran spektral sebenarnya dari warna-warna yang digunakan pada citra.



Gambar 1.15 Citra Komposit (*True Color*) Landsat 8 OLI_TIRS, Pulau Wawonii, Kabupaten Konawe Kepulauan, Sulawesi Tenggara, 2014

False color adalah teknik dimana warna-warna yang diberikan kepada DN tidak sama dengan kisaran spektral dari warna-warna yang dipilih. Teknik ini memungkinkan kita untuk memberi penekanan pada bentuk-bentuk tertentu yang ingin kita pelajari menggunakan skema pewarnaan tertentu.

1.8. Sifat Optik Air Laut

Ilmu optik laut berkaitan dengan sifat fisik cahaya pada permukaan laut dan di dalam volume air laut; bagaimana transfer energi cahaya pada proses-proses fisik, kimia, dan biologi dalam laut; dan bagaimana transmisi informasi melalui sinyal optik pada air laut. Sumber cahaya meliputi radiasi matahari, biologi, dan jenis bahan kimia serta sumber *anthropogenik* seperti cahaya *incoherent* dan *coherent* yang dikendalikan oleh manusia.

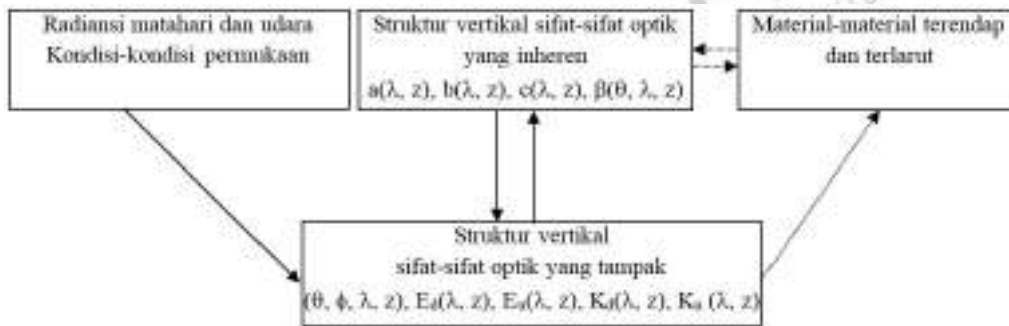
Radiasi optik berkaitan dengan elektromagnetik dan diatur oleh beberapa persamaan yang dibahas dalam bab sebelumnya, dalam praktiknya sangatlah menyenangkan untuk dipelajari khususnya tentang elektromagnetik. Oleh karena itu, penyerapan panjang gelombang tergantung oleh unsur-unsur dalam air laut dan air laut itu sendiri. Menurut ilmu optik klasik, cakupan panjang gelombangnya yakni dari *near ultraviolet* ($\lambda \approx 300\text{nm}$) hingga *near infrared* (kemungkinan sampai $1 \mu\text{m}$).

Variasi energi radiasi terjadi baik secara harian maupun musiman. Radiasi matahari pada panjang gelombang tersebut direfleksikan dari permukaan atau dipancarkan dari bawah; kemudian dalam kasus lain, radiasi menyebar atau diserap oleh air laut dan bahan tersuspensi serta larut pada lapisan atasnya. Di sini, energi mengalami berbagai jenis transmisi, mencakup penyerapan, penyebaran oleh partikel-partikel tersuspensi, konversi energi kimia melalui proses fotosintesis, dan re-emisi radiasi *fluoresen* oleh klorofil-a, *phycoerythrin*, serta pigmen-pigmen optik lainnya di laut.

Optik laut merupakan segala hal yang menyangkut sifat-sifat fisik cahaya pada permukaan dan kolom perairan. Ketika berkas cahaya merambat melalui medium padat, cair, atau gas maka perambatan tersebut dapat berakibat pada perubahan intensitas dan kecepatan rambat cahaya. Intensitas cahaya setelah perambatan selalu lebih kecil dibandingkan dengan intensitas sebelum perambatan dari udara ke air dan kecepatan rambat cahaya di medium air akan selalu lebih kecil jika dibandingkan dengan kecepatan rambat cahaya di udara terbuka. Pengurangan intensitas dan kecepatan rambat cahaya ini disebabkan oleh penyerapan energi cahaya oleh partikel-partikel yang terkandung dalam medium rambat dan medium rambat itu sendiri.

Pada medium rambat, penyerapan energi cahaya dapat dibedakan atas penyerapan selektif (*selective absorption*) dan penyerapan umum (*general absorption*). Disebut penyerapan umum jika pengurangan intensitas cahaya terjadi pada semua panjang gelombang cahaya dengan besar pengurangan yang hampir sama antara satu panjang gelombang lainnya, sedangkan penyerapan selektif terjadi bila pengurangan intensitas cahaya hanya terjadi pada panjang gelombang tertentu saja, seperti terlihat pada warna biru air laut akibat penyerapan selektif terhadap spektrum panjang gelombang sinar tampak oleh partikel-partikel air laut (Spinrad *et al.* 1994).

Intensitas dan spektrum cahaya yang menembus perairan sangat memengaruhi proses-proses biologi. Proses biologi inilah yang menentukan konsentrasi padatan tersuspensi dan bahan organik terlarut di dalam laut (Zaneveld, 1994). Perambatan cahaya dipengaruhi oleh penyebaran material-material yang terendap dan terlarut. Hubungan ini dapat dilihat dalam ilustrasi pada Gambar 1.16.



Gambar 1.16 Hubungan antara Berbagai Konsepsi dalam Oseanografi Optik (Zaneveld, 1994)

Laut memiliki sifat optik yang secara vertikal tidak ditentukan oleh cahaya, tetapi hanya tergantung pada sifat-sifat bahan organik tersuspensi dan padatan tersuspensi. Sifat ini disebut sifat optik *inherent* karena tidak tergantung pada sumber radiansi. Sifat optik *inherent* memengaruhi cahaya secara vertikal di laut sehubungan dengan transfer cahaya (radiansi spektral). Sementara itu, sifat optik di laut yang tergantung pada cahaya disebut sifat optik yang nampak (*apparent*).

Pada hakikatnya, warna pada perairan laut didefinisikan sebagai perbedaan spektral dalam reflektansi (R) pada permukaan laut, gelombang (λ), dan kedalaman (z) tertentu, maka R didefinisikan sebagai:

$$R(\lambda, z) = \frac{E_u(\lambda, z)}{E_d(\lambda, z)} \dots\dots\dots (1.4)$$

Dimana:

$E_u(\lambda, z)$ = *upwelling irradiance*, yakni *irradiance (flux per unit area permukaan)* pada semua arah yang menuju ke atas/naik pada panjang gelombang dan kedalaman tertentu.

$E_d(\lambda, z)$ = *downwelling irradiance*, yakni *irradiance* pada semua arah ke bawah pada panjang gelombang dan kedalaman tertentu.

Warna perairan (*ocean colour*) ditentukan oleh absorpsi dan penyebaran sinar tampak oleh adanya bahan organik dan anorganik, baik dalam bentuk terlarut maupun tersuspensi yang ada dalam perairan. Substansi ini sangat bervariasi dan tergantung pada tipe perairannya. Perairan yang di dalamnya terkandung komponen perairan seperti fitoplankton, partikel organisme, dan nonorganisme tersuspensi serta senyawa terlarut maka total atenuasi cahaya (k) akibat penyerapan pada panjang gelombang tertentu dapat dinyatakan dalam persamaan (Kirk, 1994):

$$k(\lambda) = k_{fit}(\lambda) + k_p(\lambda) + k_s(\lambda) + k_w(\lambda) \dots\dots\dots (1.5)$$

Dimana:

$k_{fit}(\lambda)$ = koefisien atenuasi akibat penyerapan oleh fitoplankton.

$k_p(\lambda)$ = koefisien atenuasi akibat penyerapan oleh bahan organik tersuspensi.

$k_s(\lambda)$ = koefisien atenuasi akibat penyebaran oleh total padatan tersuspensi.

$k_w(\lambda)$ = koefisien atenuasi akibat penyerapan oleh air laut murni tanpa senyawa terlarut.

Perbandingan besarnya serapan energi oleh fitoplankton dengan material terkandung dalam air laut dapat dilihat pada Tabel 1.2. Pada Tabel 1.2 PAR (*Photosynthetically Active Radiation*) adalah spektrum yang dapat diserap untuk fotosintesis dan K_n adalah koefisien atenuasi cahaya yang merupakan total atenuasi oleh material selain fitoplankton.

Tabel 1.2 Perbandingan Kemampuan Menyerap Energi antara Fitoplankton dengan Material Lain yang Terkandung dalam Air Laut (Kirk, 1994)

Tipe Perairan	Kn (m-1)	Konsentrasi Fitoplankton (mg klo-a/m ³)	Jumlah PAR Tertangkap oleh Fitoplankton (%)	Jumlah PAR Tertangkap oleh Material Nonfitoplankton (%)
Laut Lepas	0.08	0.2	3.4	96.6
		0.5	8.0	92.0
		1.0	14.9	85.1
Pantai	0.15	1.0	8.5	91.5
		2.0	15.7	84.3
		4.0	27.2	72.8

Menurut hukum Lambert-Beer, nilai total koefisien atenuasi cahaya dapat dihitung berdasarkan nilai intensitas cahaya terukur. Jika intensitas cahaya di permukaan laut (I_0) dan intensitas cahaya di kedalaman tertentu (I_d) diukur maka total koefisien atenuasi Lambert-Beer (K_{l-b}) pada kolom air sepanjang d (jarak perambatan cahaya) dapat dihitung dengan menggunakan Hukum Lambert-Beer (Spinrad *et al.* 1994):

$$K_{l-b} = \frac{\ln I_0 - \ln I_d}{d} \dots\dots\dots (1.6)$$

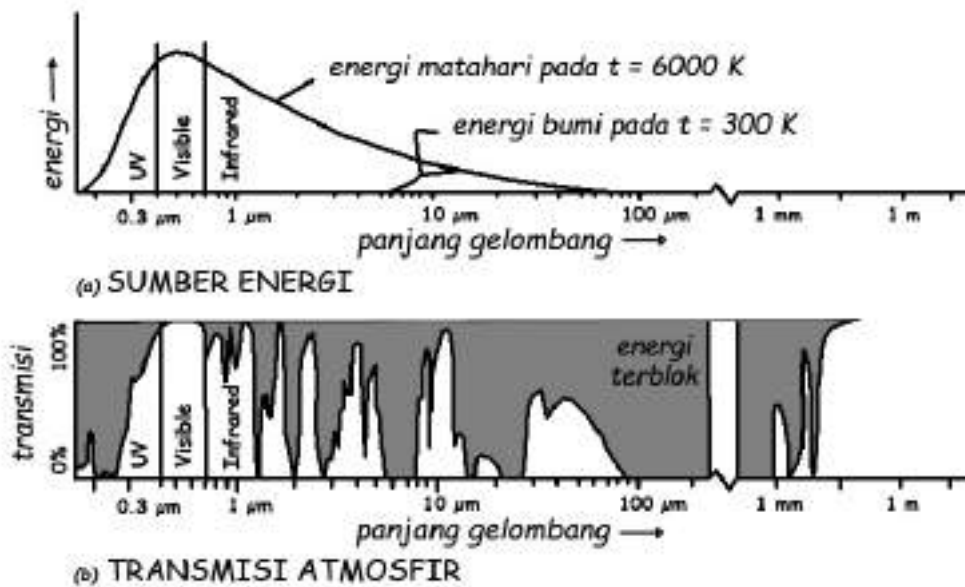
Persamaan (1.5) dan (1.6) menunjukkan bahwa total koefisien atenuasi cahaya bergantung pada intensitas cahaya terukur dan komposisi padatan tersuspensi di air laut.

Energi yang berasal dari bawah ke permukaan laut membawa informasi yang bermanfaat dari kolom air. Kontribusi atmosfer dan spekular dari permukaan laut dalam konteks ini merupakan bias yang harus dikoreksi.

Cahaya matahari sebagai sumber utama energi, mengalami pengurangan energi saat merambat melalui atmosfer. Sebelum cahaya matahari mencapai permukaan bumi, energi dari cahaya tersebut sudah diserap sebagian oleh partikel-partikel uap air, karbon dioksida (CO₂), dan ozon yang terdapat di atmosfer. Hal ini mengakibatkan sebagian besar energi cahaya matahari tidak dapat mencapai bumi.

Gambar 1.17 pada bagian (a) menunjukkan perbandingan antara spektrum energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari dan bumi. Pada gambar tersebut tampak bahwa energi dari

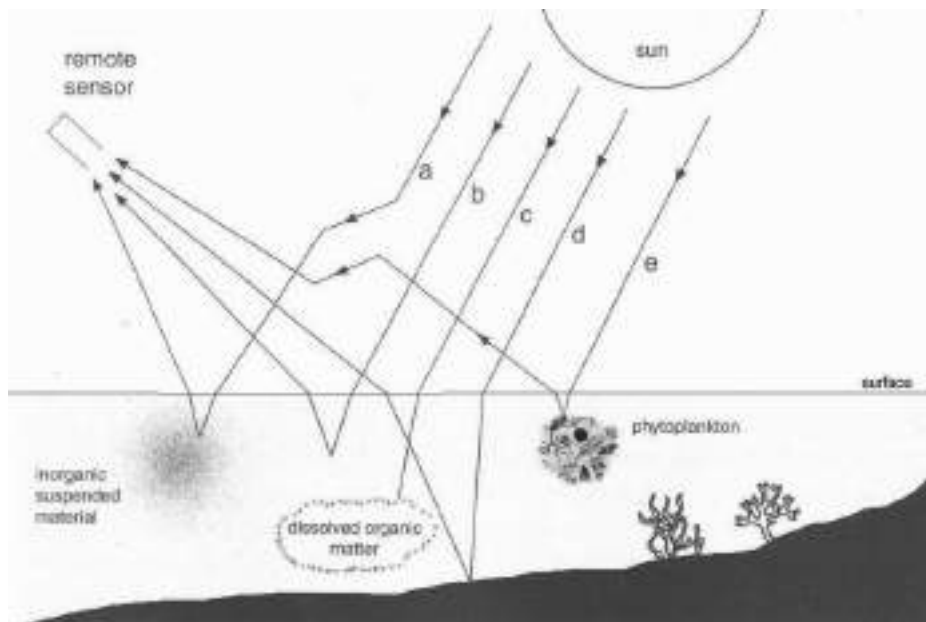
spektrum gelombang cahaya tampak adalah yang tertinggi dibandingkan dengan spektrum panjang gelombang elektromagnetik lainnya, sedangkan pada bagian (b) menunjukkan total persentase energi cahaya matahari yang tidak dapat mencapai bumi akibat hamburan dan penyerapan energi oleh partikel-partikel atmosfer. Kelompok spektrum gelombang cahaya yang dapat mencapai bumi dengan baik dengan spektrum panjang gelombang masing-masing adalah 286 – 400 nm, 400 – 700 nm, dan 700 nm – 0.1 mm.



Gambar 1.17 Penyerapan Energi Cahaya Matahari oleh Partikel-Partikel Atmosfer saat Cahaya Merambat Melalui Atmosfer (Lillesand and Kiefer, 1987)

Ada beberapa faktor yang memengaruhi sinyal yang berasal dari air, yakni cahaya matahari langsung yang merambat di atmosfer lalu berpenetrasi ke dalam laut dan sebagian akan diserap serta disebar oleh molekul-molekul air atau oleh berbagai bahan organik tersuspensi, juga padatan tersuspensi yang ada di dalam air. Pada Gambar 1.18 menunjukkan faktor-faktor yang memengaruhi cahaya yang menuju sensor.

Energi matahari pada perairan dangkal akan mencapai dasar perairan untuk kemudian merefleksikannya hingga mencapai sensor. Penginderaan jauh menganalisis energi tersebut berdasarkan perbedaan *magnitude* dan kualitas spektral dari energi yang meninggalkan kolom air untuk memperoleh informasi kuantitatif jenis unsur yang ada di laut serta konsentrasinya. Semua ini harus didasarkan pada pemahaman tentang sifat-sifat optik suatu medium dan proses-proses optik dalam medium tersebut.



Gambar 1.18 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Cahaya Menuju Sensor

(a) Penyebaran oleh bahan anorganik tersuspensi; (b) Penyebaran oleh molekul-molekul air; (c) Absorpsi oleh komponen *yellow substance*; (d) Refleksi dari dasar perairan; dan (e) Penyebaran oleh komponen fitoplankton (Sumber: Sathyendranath, 2000)

Sifat-sifat optik dari perairan dalam konteks penginderaan jauh dipengaruhi oleh tiga komponen utama, yakni:

- a. Fitoplankton. Dalam konteks penginderaan jauh, "komponen fitoplankton" menyertakan organisme mikroskopik lain juga. Hal ini berdasarkan fakta, bahwa fitoplankton dengan kandungan pigmen yang sangat tinggi mendominasi sinyal dibandingkan dengan organisme mikroskopik lainnya, sehingga fitoplankton yang menjadi komponen utama dalam sifat optik perairan. Sebagai tumbuhan renik yang melakukan fotosintesis di dalam laut, fitoplankton memiliki jenis pigmen yang berbeda pada kloroplasnya dimana setiap pigmen memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap energi matahari, perbedaan ini dijadikan sebagai salah satu ciri khas dalam mengelompokkan fitoplankton (Kirk, 1994).
- b. Padatan Tersuspensi. Merupakan material yang terangkut oleh suatu aliran dan hampir secara keseluruhan dibawa oleh badan air yang bergerak. Material padatan tersuspensi dapat berupa bahan organik maupun anorganik. Bahan organik dapat berasal dari

hewan dan tumbuhan seperti plankton, sedangkan bahan anorganik dapat berasal dari pelapukan batuan. Karena perbedaan sifat penyerapan dan penghamburannya maka jenis padatan yang terkandung dalam suspensi ikut menentukan kemampuan penetrasi cahaya (intensitas cahaya) di suatu perairan (Kirk, 1994). Dengan demikian, maka tinggi rendahnya nilai koefisien atenuasi cahaya, kecerahan, dan fotosintesis oleh fitoplankton juga turut ditentukan oleh jenis padatan yang tersuspensi pada kolom air.

- c. *Yellow substances*. Biasa disebut "*gelbstoff*" atau bahan organik tersuspensi atau "*gilvin*", adalah suatu kelompok unsur organik yang tersuspensi dan terdiri dari asam *fulvic* dan *humic*. *Yellow substances* kemungkinan berasal dari sel-sel fitoplankton dan partikel-partikel organik lainnya dari sumber yang jauh. Tempat *yellow substances* berasal akan terakumulasi pada konsentrasi yang lebih besar daripada wilayah dimana *yellow substances* berada jauh dari sumber. *Yellow substances* juga akan terakumulasi lebih banyak pada daerah yang lebih dalam dibandingkan pada lapisan permukaan air.

Selain tiga komponen yang ada dalam kolom air, refleksi cahaya dari dasar perairan dapat memengaruhi warna air laut jika kondisi perairan cukup dangkal dan jernih. Disamping itu, pengaruh dasar terhadap warna air dapat berbeda menurut kedalaman, kejernihan air, jenis unsur yang ada di laut, dan tipe dasar perairan dimana tipe dasar perairan bisa berpasir, berbatu, tertutup sebagian atau seluruhnya oleh berbagai organisme bentik seperti ganggang dan kerang-kerangan. Semua faktor ini akan memengaruhi efek dasar perairan warna air laut yang terdeteksi oleh penginderaan jauh.

1.9. Karakteristik Spektral (*Spectral Signature*)

Grafik reflektansi spektral suatu objek sebagai fungsi panjang gelombang disebut kurva reflektansi spektral (Lillesand and Kiefer, 1987). Konfigurasi kurva spektral memberikan informasi tentang karakteristik spektral suatu objek dan berpengaruh besar pada pemilihan saluran panjang gelombang pada penginderaan jauh untuk terapan tertentu.

Kurva setiap jenis karang digambarkan sebagai suatu "pita" atau suatu "kantong" nilai spektral, bukan sebagai suatu garis. Hal ini disebabkan, karena spektral agak berbeda bagi satu kelas material tertentu. Artinya spektral satu spesies dengan spesies yang lain tidak pernah sama. Bahkan karang dari spesies yang sama tidak memiliki spektral yang persis sama.

Bila kita perhatikan spektral dasar perairan pada substrat karang, mungkin karakteristik yang paling mencirikan ialah sifat penyerapan energi pada spektrum sinar tampak dan inframerah (inframerah dekat). Singkatnya, karang menyerap energi pada panjang gelombang

ini, juga badan airnya. Karena sifat penyerapan yang berbeda, identifikasi dan deliniasi kolom air pada data penginderaan jauh dapat dilakukan dengan baik pada panjang gelombang sinar tampak inframerah .

1.10. Jenis dan Karakteristik Sensor Optik

Sensor dalam penginderaan jauh dapat menerima informasi dalam berbagai bentuk antara lain sinar atau cahaya, gelombang bunyi dan daya elektromagnetik. Alat sensor digunakan untuk melacak, mendeteksi, dan merekam suatu objek dalam daerah jangkauan tertentu. Tiap sensor memiliki kepekaan tersendiri terhadap bagian spektrum elektromagnetik. Kemampuan sensor untuk merekam gambar terkecil disebut resolusi spasial. Semakin kecil objek yang dapat direkam oleh sensor semakin baik sensor dan semakin baik resolusi spasial pada citra. Berdasarkan proses perekamannya sensor dapat dibedakan atas:

a. Sensor Fotografi

Proses perekamannya berlangsung seperti pada kamera foto biasa atau yang kita kenal, yaitu melalui proses kimiawi. Tenaga elektromagnetik yang diterima kemudian direkam pada emulsi film dan setelah diproses akan menghasilkan foto. Ini berarti, disamping sebagai tenaga, film juga berfungsi sebagai perekam, yang hasil akhirnya berupa foto udara, jika perekamannya dilakukan dari udara, baik melalui pesawat udara atau wahana lainnya. Tapi jika perekamannya dilakukan dari antariksa maka hasil akhirnya disebut *foto satelit* atau *foto orbital*.

b. Sensor Elektronik

Sensor elektronik berupa alat yang bekerja secara elektrik dengan pemrosesan menggunakan komputer. Hasil akhirnya berupa data visual atau *data digital/numerik*. Proses perekamannya untuk menghasilkan citra dilakukan dengan memotret data visual dari layar atau dengan menggunakan film perekam khusus. Hasil akhirnya berupa foto dengan film sebagai alat perekamannya dan tidak disebut foto udara tetapi *citra*. Agar informasi-informasi dalam berbagai bentuk tadi dapat diterima oleh sensor, maka harus ada tenaga yang membawanya antara lain matahari. Informasi yang diterima oleh sensor dapat berupa distribusi daya (*forse*), distribusi gelombang bunyi, dan distribusi tenaga elektromagnetik.

Informasi tersebut berupa data tentang objek yang diindera dan dikenali dari hasil rekaman berdasarkan karakteristiknya dalam bentuk cahaya, gelombang bunyi, dan tenaga elektromagnetik. Contoh: salju dan batu kapur akan memantulkan sinar yang banyak

(menyerap sinar sedikit) dan air akan memantulkan sinar sedikit (menyerap sinar banyak). Informasi tersebut merupakan hasil interaksi antara tenaga dan objek. Interaksi antara tenaga dan objek direkam oleh sensor, yang berupa alat-alat sebagai berikut:

- Gravimeter: mengumpulkan data yang berupa variasi daya magnet.
- Magnetometer: mengumpulkan data yang berupa variasi daya magnet.
- Sonar: mengumpulkan data tentang distribusi gelombang dalam air.
- Mikrofon: mengumpulkan/menangkap gelombang bunyi di udara.
- Kamera: mengumpulkan data variasi distribusi tenaga elektromagnetik yang berupa sinar.

Seperti telah disebutkan bahwa salah satu tenaga yang dimanfaatkan dalam penginderaan jauh antara lain berasal dari matahari dalam bentuk tenaga elektromagnetik. Matahari merupakan sumber utama tenaga elektromagnetik ini. Di samping matahari sebagai sumber tenaga alamiah, ada juga sumber tenaga lain, yakni sumber tenaga buatan.





2.1. Data Citra Satelit yang Umum Digunakan di Indonesia

2.1.1 Satelit Resolusi Tinggi (0,31 – 2 m): WorldView-4

WorldView-4

WorldView-4 merupakan satelit komersial observasi bumi paling terbaru yang diluncurkan oleh perusahaan Digital Globe yang serupa dengan WorldView-3 dengan resolusi maksimum 0,31 m (12 inch), resolusi tertinggi dari semua jenis satelit komersial yang telah ada hingga peluncuran satelit ini. Satelit WorldView-4 diluncurkan pada Jumat, 11 November 2016 di Basis Angkatan Udara Vandenberg, California.



Hak Cipta © DigitalGlobe-Lockheed Martin

Gambar 2.1 Satelit WorldView-4

WorldView-4 memiliki sensor satelit yang serupa dengan WorldView-3, dengan resolusi hingga 0,31 m menggunakan pankromatik dan mengumpulkan 4 band multispektral dengan resolusi 1,24 m. Dengan resolusi ini memungkinkan pengguna untuk melakukan pemetaan baik 2D atau 3D dengan akurat, mendeteksi, dan menganalisis perubahan pada citra.

WorldView-4 menawarkan tingkat akurasi lokasi geografis (*geolocation*) yang sangat tinggi dan memungkinkan pengguna melakukan pemetaan terhadap objek di permukaan bumi dengan tingkat kesalahan kurang dari 4 m tanpa harus melakukan *ground control points* atau titik kontrol tanah. WorldView-4 terbang pada ketinggian 617 km dengan *revisit time* setiap 4 atau 5 hari.

Tabel 2.1 Spesifikasi Sensor Satelit WorldView-4

Sistem	WorldView-4
Orbit	Altitude: 617 km Type: <i>Sun-Synchronous</i> , 10:30 am descending Node Period: 97 min.
Estimasi Lama Beroperasi	10-12 tahun
Sensor Resolusi	<i>Panchromatic Nadir: 0.31 m</i> 20° Off-Nadir: 0.34 m 56° Off-Nadir: 1.00 m 65° (earth limb): 3.51 m <i>Multispectral Nadir: 1.24 m</i> 20° Off-Nadir: 1.38 m 56° Off-Nadir: 4.00 m 65° (earth limb): 14.00 m
<i>Revisit Time</i>	1 m GSD: <1.0 day 4.5 days at 20° off-nadir or less
Kanal Spektral/ <i>Spectral Band</i>	Panchromatic: 450 - 800 nm 4 Multispectral: <i>Red: 655 - 690 nm</i> <i>Green: 510 - 580 nm</i> <i>Blue: 450 - 510 nm</i> <i>Near-IR: 780 - 920 nm</i>

Arsip Data	
Cakupan Penyiaman	680,000 km ²
Akurasi Geolokasi	Diprediksi <4 m CE90 tanpa <i>ground control</i>

2.1.2 WorldView-3 (0,31 m)

WorldView-3 merupakan satelit komersial pertama resolusi tinggi milik perusahaan Digital Globe dengan satelit sensor yang beroperasi pada ketinggian 617 km dan berada di bawah lisensi *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) yang diluncurkan pada 13 Agustus 2014 serta menjadi satelit keenam Digital Globe yang mengorbit bersama dengan Ikonos (1999), QuickBird (2001), WorldView-1 (2007), GeoEye-1 (2008), dan WorldView-2 (2009).



Hak Cipta © DigitalGlobe/Lockheed Martin

Gambar 2.2 Satelit WorldView-3

WorldView-3 menyediakan citra pankromatik dengan resolusi mencapai 0,31 m (12 inch), delapan band multispektral dengan resolusi 1,2 m, *shortwave infrared* dengan resolusi 3,7 m, data CAVIS (*Clouds, Aerosols, Vapors, Ice, and Snow*) dengan resolusi 30 m. Satelit ini memiliki waktu revisit (pengulangan kembali) sekitar kurang dari 1 hari dan mampu merekam area dengan cakupan 680.000 km² dalam satu hari.

WorldView-3 memiliki karakteristik performa yang sangat mirip dengan WorldView-2 yang diluncurkan pada 8 Oktober 2009. Kelebihan dari WorldView-3 adalah biaya yang lebih murah, pengurangan risiko, dan penyampaian data yang lebih cepat kepada pengguna.

Tabel 2.2 Spesifikasi Sensor Satelit WorldView-3

Sistem	WorldView-3
Orbit	Altitude: 617 km Type: SunSync, 1:30 pm descending Node Period: 97 min
Estimasi Lama Beroperasi	Spec Mission Life; 7.25 years Estimated Service Life: 10 to 12 years
Sensor Resolusi	<ul style="list-style-type: none"> • Panchromatic Nadir: 0.31 m GSD at Nadir 0.34 m at 20° Off-Nadir • Multispectral Nadir: 1.24 m at Nadir, 1.38 m at 20° Off-Nadir • SWIR Nadir: 3.70 m at Nadir, 4.10 m at 20° Off-Nadir (Commercial delivery at 7.5m resolution) • CAVIS Nadir: 30.00 m
Revisit Time	1 m GSD: <1.0 day 4.5 days at 20° off-nadir or less
Kanal Spektral/Spectral Band	<ul style="list-style-type: none"> • Panchromatic: 450-800 nm • 8 Multispectral: (red, red edge, coastal, blue, green, yellow, near-IR1 and near-IR2) 400 nm - 1040 nm • 8 SWIR: 1195 nm - 2365 nm • 12 CAVIS Bands: (desert clouds, aerosol-1, aerosol-2, aerosol-3, green, water-1, water- 2, water-3, NDVI-SWIR, cirrus, snow) 405 nm - 2245 nm
Arsip Data	
Cakupan Penyiaman	680,000 km ²
Akurasi Geolokasi	Diprediksi <3,5 m CE90 tanpa <i>ground control</i>

2.1.3 GeoEye-1 Satellite Sensor (0,46 m)

Satelit GeoEye-1 diluncurkan pada 6 September 2008, di Basis Angkatan Udara, Vandenberg California. GeoEye-1 memiliki kemampuan merekam data dengan resolusi hingga 0,46 m dengan pankromatik (B&W) dan 1,84 m untuk band multispektral. Satelit ini memiliki waktu revisit kurang dari tiga hari.



Hak Cipta © DigitalGlobe

Gambar 2.3 Satelit GeoEye-1

Sensor pada satelit GeoEye-1 mampu mencakup area 350.000 km². Satelit ini terbang pada ketinggian 681 km. Pada akhir musim panas 2013, orbit satelit ini meningkat pada ketinggian 770 km, menyebabkan *Ground Sample Distance* (GSD) GeoEye-1 yang sebelumnya 41 cm, menjadi 46 cm.

Pada saat peluncurannya GeoEye-1 merupakan satelit observasi bumi komersial dengan tingkat resolusi yang paling tinggi. Dirakit di Gilbert, Arizona oleh *General Dynamics* dan citra pertama diperoleh pada 7 Oktober oleh Kutztown University, Pennsylvania.

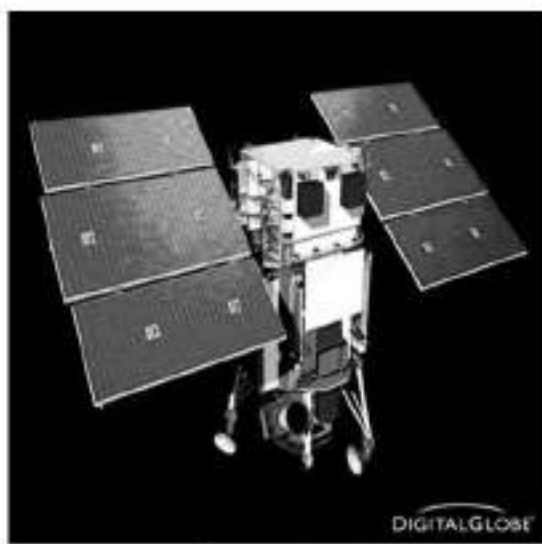
Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor Satelit GeoEye-1

Sistem	GeoEye-1
Orbit	Altitude: 770 km / 478 miles Type: Sun-synchronous Period: 98 minutes
Estimasi Lama Beroperasi	Fully redundant 7+ year design life; fuel for 15 years
Sensor Resolusi	<ul style="list-style-type: none"> • 0.46 m / 1.51 ft* panchromatic (nominal at Nadir) • 1.84 m / 6.04 ft* multispectral (nominal at Nadir)

<i>Revisit Time</i>	Max Pan GSD (m)	Off Nadir Look Angle (deg)	Average Revisit (days)
	0.42	10	8.3
	0.50	28	2.8
	0.59	35	2.1
Kanal Spektral/ <i>Spectral Band</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Panchromatic: 450 - 800 nm • <i>Blue</i>: 450 - 510 nm • <i>Green</i>: 510 - 580 nm • <i>Red</i>: 655 - 690 nm • Near Infra Red: 780 - 920 nm 		
Arsip Data			
Cakupan Penyiaman	350.000 km ²		
Akurasi Geolokasi	5 m CE90, 3 m CE90 (<i>measured</i>)		

2.1.4 WorldView-1 (0,46 m) dan WorldView-2 Sensor (0,46 m)

WorldView-1 sukses diluncurkan di Basis Angkatan Udara Vandenberg, California, USA pada 18 September 2007. Satelit ini menawarkan hasil dengan resolusi citra mencapai 0,46 m. Mengorbit pada ketinggian 496 km, satelit ini memiliki rata-rata waktu revisit 1,7 hari dan mampu memotret wilayah seluas 750.000 km² setiap harinya. Pada saat peluncurannya, satelit ini juga dilengkapi dengan kemampuan geolokasi terkini dan mampu menampilkan ketangkasan yang handal dengan kecepatan serta efisiensi perekaman data.



Hak Cipta © DigitalGlobe

Gambar 2.4 Satelit WorldView-1

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor Satelit WorldView-1

Sistem	WorldView-1
Orbit	Altitude: 496 Km Type: sun-synchronous Period: 94.6 minutes
Estimasi Lama Beroperasi	Fully redundant 7+ year design life; fuel for 15 years
Sensor Resolusi	<ul style="list-style-type: none"> • 0.50 meters GSD at nadir • 0.55 meters GSD at 20° off-nadir
Revisit Time	1.7 days at 1 meter GSD or less 5.9 days at 20° off-nadir or less (0.51 meter GSD)
Kanal Spektral/Spectral Band	Panchromatic
Cakupan Penyiaman	17.6 Km
Akurasi Geolokasi	Demonstrated <4.0 m CE90 without ground control

WorldView-2 milik perusahaan Digital Globe diluncurkan dua tahun setelah kesuksesan peluncuran WorldView-1, tepatnya pada 8 Oktober 2009. Sensor pada Worldview-2 menyediakan citra dengan resolusi 0,46 m pada band pankromatik dan

delapan band multispektral; empat warna dasar (*red, green, blue, dan near infrared*), citra full color untuk mempertajam analisis spektral, pemetaan dan aplikasi monitoring, perencanaan penggunaan lahan, bantuan darurat, eksplorasi, pertahanan dan keamanan, serta visualisasi dan simulasi lingkungan.



Hak Cipta © DigitalGlobe

Gambar 2.5 Satelit WorldView-2

Satelit ini mengorbit pada ketinggian 770 km dan memiliki kemampuan untuk mencakup area yang luas sekitar 1 km² perhari. Pada saat peluncurannya satelit ini diklaim memiliki hasil pemotretan citra yang sangat detail dan dengan akurasi yang tinggi.

Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor Satelit WorldView-2

Sistem	WorldView-2
Orbit	Altitude: 770 km / 478 miles Type: Sun-synchronous Period: 98 minutes
Estimasi Lama Beroperasi	100 minutes; 7.25 year mission life, including all consumables and degradables (e.g., propellant)
Sensor Resolusi	<ul style="list-style-type: none"> • 0.46 m / 1.51 ft* panchromatic (nominal at Nadir) • 1.84 m / 6.04 ft* multispectral (nominal at Nadir)

<i>Revisit Time</i>	1.1 days at 1 meter GSD or less 3.7 days at 20° off-nadir or less (0.52 meter GSD)
<i>Kanal Spektral/Spectral Band</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Panchromatic • 8 Multispectral (4 standard colors: red, blue, green, near-IR), 4 new colors: red edge, coastal, yellow, near-IR2
<i>Arsip Data</i>	
<i>Cakupan Penyiaman</i>	16.4 kilometers at nadir
<i>Akurasi Geolokasi</i>	Demonstrated <3.5 m CE90 without ground control

2.1.5 Quickbird (0,65 m)

Perusahaan swasta AS lainnya Digital Globe, tahun 2002 meluncurkan satelit komersial dengan kemampuan mengungguli Ikonos. Quickbird, nama satelit ini, beresolusi spasial hingga 60 cm dan 2,4 m untuk moda pankromatik dan multispektral.



Hak Cipta © DigitalGlobe

Gambar 2.6 Satelit Quickbird

Setelah kegagalan EarlyBird, satelit Quickbird diluncurkan tahun 2000 oleh Digital Globe. Namun, kembali gagal. Akhirnya Quickbird-2 berhasil diluncurkan tahun 2002 dan dengan resolusi spasial lebih tinggi, yaitu 2,4 m (multispektral) dan 60 cm (pankromatik). Citra Quickbird beresolusi spasial paling tinggi dibanding citra satelit komersial lain.

Selain resolusi spasial sangat tinggi, keempat sistem pencitraan satelit memiliki kemiripan cara merekam, ukuran luas liputan, wilayah saluran spektral yang digunakan, serta lisensi pemanfaatan yang ketat. Keempat sistem menggunakan *linear array CCD* yang biasa disebut *pushbroom scanner*. Scanner ini berupa CCD yang disusun linier dan bergerak maju seiring gerakan orbit satelit.

Jangkauan liputan satelit resolusi tinggi seperti Quickbird kurang dari 20 km karena beresolusi tinggi dan posisi orbitnya rendah, 400 – 600 km di atas bumi. Berdasarkan pengalaman penulis, dengan luas liputan $16,5 \times 16,5 \text{ km}^2$, data Quickbird untuk 4 saluran ditambah 1 saluran pankromatik telah menghabiskan tempat 1,8 gigabyte. Data sebesar ini disimpan dalam 1 file tanpa kompresi pada resolusi radiometrik 16 bit per pixel.

Semua sistem menghasilkan dua macam data: multispektral pada empat saluran spektral (biru, hijau, merah, dan inframerah dekat atau B, H, M, dan IMD), serta pankromatik (PAN) yang beroperasi di wilayah gelombang tampak mata dan perluasnya. Semua saluran pankromatik, karena lebar spektrumnya mampu menghasilkan resolusi spasial jauh lebih tinggi daripada saluran-saluran multispektral. Unsur penting lain adalah ketatnya pemberian lisensi pemanfaatan. Digital Globe misalnya, hanya memberikan satu jenis lisensi pemanfaatan Quickbird pada pembeli. Jadi, bila pemerintah kota di Indonesia membeli data ini untuk keperluan perbaikan lingkungan permukiman urban misalnya, data yang sama tidak boleh digunakan untuk keperluan lain seperti pajak bumi dan bangunan (PBB).

Resolusi spasial tinggi ditujukan untuk mendukung aplikasi kekotaan, seperti pengenalan pola permukiman, perkembangan, dan perluasan daerah terbangun. Saluran-saluran spektral B, H, M, IMD, dan PAN cenderung dipilih, karena telah terbukti efektif dalam menyajikan variasi fenomena yang terkait dengan kota.

Kondisi vegetasi tampak jelas pada komposisi warna semu (*false color*), yang tersusun atas saluran-saluran B, H, IMD ataupun H, M, IMD yang masing-masing ditandai dengan urutan warna biru, hijau, dan merah. Pada citra komposit warna ini, vegetasi dengan berbagai tingkat kerapatan tampak bergradasi kemerahan.

Teknik pengolahan citra digital dengan indeks vegetasi seringkali memilih formula NDVI (*normalized difference vegetation index* = $\text{IMD}-\text{M}/\text{IMD}+\text{M}$). Indeks atau nilai piksel yang dihasilkan kemudian sering dijadikan ukuran kuantitatif tingkat kehijauan vegetasi. Apabila diterapkan di wilayah kota, maka tingkat kehijauan lingkungan urban dapat digunakan sebagai salah satu parameter kualitas lingkungan.

Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor Satelit Quickbird

Sistem	Quickbird
Orbit	600 km, 98,2°, sun-synchronous, 10:00 AM crossing
Sensor	Linear array CCD
Cakupan Penyiaman (<i>Swath Width</i>)	20 km (CCD-array)
<i>Revisit Time</i>	1-3 hari
Band-band Spectral (μm)	0.45-0.52 (1), 0.52-0.60 (2), 0.63-0.69 (3), 0.76-0.90 (4), 1.55-1.75 (5), 10.4-12.50 (6), 2.08-2.34 (7), 0,50-0.90 (PAN)
Ukuran Piksel Lapangan (Resolusi Spasial)	60 cm (PAN), 2,4 m (band 1-5, 7)
Arsip Data	

2.1.6 IKONOS

Ketika perang Irak berlangsung, fasilitas Irak yang menjadi target militer Amerika Serikat sering muncul di media massa melalui rekaman satelit IKONOS. Satelit ini mempunyai resolusi spasial sangat tinggi, yaitu 1 m untuk pankromatik dan 4 m untuk multispektral, sehingga hasilnya sangat jelas.



Hak Cipta © DigitalGlobe

Gambar 2.7 Satelit IKONOS

Tahun 1992 Kongres AS meloloskan Undang-Undang Penginderaan Jauh Daratan (*US Land Remote Sensing Act*). Undang-undang ini menyebutkan industri inderaja satelit komersial sangat penting bagi kesejahteraan rakyat AS serta mengizinkan perusahaan-

perusahaan swasta mengembangkan, memiliki, mengoperasikan, serta menjual data yang dihasilkan (Danoedoro, 2004).

Dua tahun sesudahnya, lisensi diberikan pada Space Imaging, EarthWatch, dan OrbImage, yang kemudian merancang sistem dengan resolusi spasial 4 m untuk moda multispektral dan 1 m untuk moda pankromatik. Satu lisensi lagi diberikan pada West Indian Space (perusahaan patungan AS-Israel) untuk merancang sistem pencitraan dengan resolusi sedikit lebih rendah, 1,8 m. Dari keempat perusahaan, Space Imaging yang paling cepat meluncurkan satelit IKONOS serta memasarkan datanya. Namun, IKONOS-1 gagal diluncurkan dan digantikan dengan IKONOS-2 pada tahun 1999.

Kelahiran satelit inderaja resolusi tinggi (lebih halus dari 10 m) untuk keperluan sipil sebenarnya dipicu oleh kebijakan pascaperang dingin, bukan teknologi. Bisa dikatakan teknologi militer awal tahun 1970 sudah memungkinkan pencitraan dengan resolusi spasial kurang dari 10 m. Kegagalan serupa dialami EarlyBird yang diluncurkan oleh EarthWatch. Sedangkan, OrbImage dan West Space Imaging masing-masing meluncurkan satelit Orbview dan EROS. Sejak diluncurkan pada September 1999, citra satelit bumi Space Imaging IKONOS menyediakan data citra yang akurat, dimana menjadi standar untuk produk-produk data satelit komersial beresolusi tinggi. IKONOS memproduksi citra 1 m hitam dan putih (pankromatik) dan citra 4 m multispektral (*red, blue, green* dan *near infrared*) yang dapat dikombinasikan dengan berbagai cara untuk mengakomodasikan secara luas aplikasi citra beresolusi tinggi (Space Imaging, 2004).

Diluncurkan pada September 1999, IKONOS dimiliki dan dioperasikan oleh Space Imaging. Disamping mempunyai kemampuan merekam citra multispektral pada resolusi 4 m, IKONOS dapat juga merekam objek-objek sekecil 1 m pada hitam dan putih. Dengan kombinasi sifat-sifat multispektral pada citra 4 m dengan detail-detail data pada 1 m, citra IKONOS diproses untuk menghasilkan 1 m produk-produk berwarna.

IKONOS adalah satelit komersial beresolusi tinggi pertama yang ditempatkan di ruang angkasa. IKONOS dimiliki oleh Space Imaging, sebuah perusahaan observasi Amerika Serikat. Satelit komersial beresolusi tinggi lainnya yang diketahui: Orbview-3 (OrbImage), Quickbird (EarthWatch), dan EROS-A1 (West Indian Space). IKONOS diluncurkan pada September 1999 dan pengumpulan data secara regular dilakukan sejak Maret 2000.

Sensor OSA pada satelit didasarkan pada prinsip *pushbroom* dan dapat secara simultan mengambil citra pankromatik dan multispektral. IKONOS mengirim resolusi

spasial tertinggi sejauh yang dicapai oleh sebuah satelit sipil. Bagian dari resolusi spasial yang tinggi juga mempunyai resolusi radiometrik tinggi menggunakan 11 bit (Space Imaging, 2004).

Tabel 2.7 Spesifikasi Sensor Satelit IKONOS

Sistem	IKONOS
Orbit	680 km, 98,2°, sun-synchronous, 10:30 AM crossing, rotasi 14 hari (repeat cycle)
Sensor	Optical Sensor Assembly (OSA)
Cakupan Penyiaran (<i>Swath Width</i>)	11 km (12 μ m CCD elements)
<i>Off Tracking Viewing</i>	Tersedia $\pm 27^\circ$ across-track
<i>Revisit Time</i>	1-3 hari
Saluran Spektral/ <i>Spectral Band</i> (μ m)	0.45-0.52 (1), 0.52-0.60 (2), 0.63-0.69 (3), 0.76-0.90 (4), 0,45-0.90 (PAN)
Ukuran Piksel Lapangan (Resolusi Spasial)	1 m (PAN), 4 m (band 1-4)
Arsip Data	www.spaceimaging.com

Banyak aplikasi untuk data IKONOS yang dapat diketahui. Pemilik berharap bahwa penggunaan lapangan dapat dibayar untuk harga data komersial. Diharapkan bahwa, pada masa mendatang, 50% data foto udara akan digantikan oleh citra beresolusi tinggi dari angkasa (kamera pesawat digital akan banyak menggantikan foto udara yang masih ada). Misi pertama IKONOS akan mendapatkan citra seluruh kota-kota utama Amerika Serikat. Sampai saat ini, pemetaan dan monitoring areal perkotaan dari angkasa (tidak hanya di Amerika) hanya pada skala terbatas.

Data IKONOS dapat digunakan untuk pemetaan topografi dari skala kecil hingga menengah, tidak hanya menghasilkan peta baru, tetapi juga memperbaharui peta topografi yang sudah ada. Penggunaan potensial lain IKONOS adalah *precision agriculture* hal ini digambarkan pada pengaturan band multispektral, dimana mencakup band inframerah dekat (*near infrared*). Pembaharuan dari situasi lapangan dapat membantu petani untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk dan herbisida.

2.1.7 SPOT-6 dan SPOT-7 (1,5 m)

Satelit SPOT-6 diluncurkan pada 9 September 2012 sedangkan SPOT-7 diluncurkan pada 30 Juni 2014. Kedua satelit ini dibangun oleh AIRBUS Defence & Space, di Satish Dhawan Space Center India. Satelit ini memiliki kemampuan merekam citra hingga

dengan resolusi spasial 1,5 m dengan band pankromatik dan resolusi 6 m dengan band multispektral (*blue, green, red, dan near infrared*). Citra dari satelit ini banyak digunakan dalam bidang pertahanan, pertanian, kerusakan hutan, monitoring lingkungan, kerentanan pesisir, teknik, mesin, gas, dan industri perkotaan.



Hak Cipta © AIRBUS Defence & Space

Gambar 2.8 Satelit SPOT

Misi dari SPOT-6 dan SPOT-7 adalah melanjutkan operasi dari SPOT-4 dan SPOT-5 yang telah beroperasi sejak 1998 – 2002. Kedua satelit ini telah diimprovisasi dalam hal kualitas. SPOT-6 dan SPOT-7 mampu menyediakan data harian di bumi dengan luas cakupan wilayah pemotretan sekitar 6 juta km² per hari. SPOT-6 dan SPOT-7 didesain untuk beroperasi selama kurun waktu 10 tahun.

2.2. Satelit Resolusi Menengah (2,5 – 20 m)

2.2.1 ALOS (2,5 m)

Advanced Land Observation Satellite atau yang disingkat ALOS dan dalam bahasa Jepang disebut dengan 'daichi' adalah salah satu satelit observasi bumi terbesar yang berfungsi untuk mengumpulkan data observasi lahan atau permukaan bumi global dan dengan resolusi tinggi. ALOS sukses diluncurkan pada 24 Januari 2016 dari Tanegashima Space Center.



Hak Cipta © Image Copyright © JAXA

Gambar 2.9 Satelit ALOS

Sensor satelit yang dimiliki ALOS terdiri dari tiga instrumen penginderaan jauh, yaitu 1) instrumen pankromatik dapat digunakan untuk *Stereo Mapping* (PRISM) dan untuk model elevasi digital (DEMs); 2) *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer Type 2* (AVNIR-2) untuk observasi tutupan lahan yang akurat; dan 3) *Phased Array Type L-Band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) untuk observasi keadaan cuaca sepanjang hari (siang dan malam). ALOS banyak digunakan dalam bidang pemetaan, observasi yang presisi terhadap penggunaan lahan, monitoring bencana, dan survei sumber daya alam.

Tabel 2.8 Spesifikasi Sensor Satelit ALOS

Sistem	ALOS
Orbit	Altitude: 692 km Sun Synchronous Sub-Recurrent Orbit Recurrent Period: 46 days
Estimasi Lama Beroperasi	10-12 tahun
Sensor Resolusi	2.5 m panchromatic 10 m multispectral
<i>Revisit Time</i>	1 m GSD: <1.0 day 4.5 days at 20° off-nadir or less

Kanal Spektral/ <i>Spectral Band</i>	AVNIR-2		
	Band	Panjang Gelombang (μm)	Resolusi (m)
	1	0.42-0.50 (blue)	10
	2	0.52-0.60 (green)	10
	3	0.61-0.69 (red)	10
	4	0.76-0.89 (near-IR)	10
	PRISM		
	Band	Panjang Gelombang (μm)	Resolusi (m)
	PAN	0.52-0.77	2.5
	PALSAR		
	Band	Frekuensi (GHz)	Resolusi (m)
	SAR-L	1,3	10-100

Pada April 2011, satelit ini dinonaktifkan ke dalam mode *power saving* (hemat daya) karena menurunnya kualitas panel surya. Hal ini diperkirakan, karena ada meteor yang menabrak ALOS, sehingga menyebabkan anomali pada satelit yang berujung pada penonaktifan satelit. Pada Mei 2011, JAXA akhirnya memutuskan untuk mematikan seluruh sistem pada ALOS dan menyatakan selesainya operasi pada satelit ini.

Pada 24 Mei 2014, roket H-IIA mengorbitkan ALOS-2 atau Daichi-2, di Stasiun Luar Angkasa Tanegashima. Dengan melanjutkan observasi L-band SAR dari ALOS PALSAR (*Phased Array L-Band Synthetic Aperture Radar*) dan lebih memperluas pemanfaatan data dengan peningkatan performa.

2.2.2 Landsat

Teknologi penginderaan jauh satelit dipelopori oleh NASA Amerika Serikat dengan diluncurkannya satelit sumber daya alam yang pertama, yang disebut ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*) pada tanggal 23 Juli 1972, menyusul ERTS-2 pada tahun 1975, satelit ini membawa sensor RBV (*Return Beam Vidicon*) dan MSS (*Multi Spectral Scanner*) yang mempunyai resolusi spasial 80 x 80 m. Satelit ERTS-1, ERTS-2 yang kemudian setelah diluncurkan berganti nama menjadi Landsat 1, Landsat 2, diteruskan dengan seri-seri berikutnya, yaitu Landsat 3, 4, 5, 6, dan terakhir adalah Landsat 7 yang diorbitkan bulan Maret 1998, merupakan bentuk baru dari Landsat 6 yang gagal mengorbit.

Landsat 5, diluncurkan pada 1 Maret 1984, sekarang ini masih beroperasi pada orbit polar, membawa sensor TM (*Thematic Mapper*), yang mempunyai resolusi spasial 30 x 30 m pada band 1, 2, 3, 4, 5, dan 7. Sensor *Thematic Mapper* dalam mengamati objek-objek di permukaan bumi dibagi dalam 7 band spektral, yaitu band 1, 2, dan 3 merupakan sinar tampak (*visible*). Sebaliknya, band 4, 5, dan 7 merupakan inframerah dekat, inframerah menengah, serta band 6 adalah inframerah termal yang mempunyai resolusi spasial 120 x 120 m. Sementara itu, luas liputan satuan citra adalah 175 x 185 km pada permukaan bumi. Di pihak lain, landsat 5 mempunyai kemampuan untuk meliput daerah yang sama pada permukaan bumi pada setiap 16 hari, pada ketinggian orbit 705 km (Sitanggang, 1999 dalam Ratnasari, 2000).

Program Landsat merupakan program tertua dalam observasi bumi. Landsat dimulai tahun 1972 dengan satelit Landsat-1 yang membawa sensor MSS multispektral. Setelah tahun 1982, *Thematic Mapper* ditempatkan pada sensor MSS. MSS dan TM merupakan *whiskbroom scanners*. Pada April 1999 Landsat-7 diluncurkan dengan membawa ETM+scanner. Saat ini, hanya Landsat-5 dan 7 yang sedang beroperasi.

Sistem Landsat merupakan milik Amerika Serikat yang mempunyai tiga instrumen pencitraan, yaitu RBV (*Return Beam Vidicon*) instrumen semacam televisi yang mengambil citra isnapshot dari permukaan bumi sepanjang *track* lapangan satelit pada setiap selang waktu tertentu; MSS (*Multispectral Scanner*) suatu alat *scanning* mekanik yang merekam data dengan cara men-*scanning* permukaan bumi dalam jalur atau baris tertentu; dan TM (*Thematic Mapper*) merupakan alat *scanning* mekanis yang mempunyai resolusi *spectral*, *spatial*, dan *radiometric* (Jaya, 2002).

Tabel 2.9 Karakteristik Citra Landsat

Sistem	Landsat
Orbit	705 km. 98.2°, <i>sun-synchronous</i> , 10:00 AM crossing, rotasi 16 hari (<i>repeat cycle</i>)
Sensor	ETM+ (<i>Enhanced Thematic Mapper</i>)
Cakupan Penyiaman (<i>Swath Width</i>)	185 km (FOV = 15°)
<i>Off Track Viewing</i>	Tidak tersedia
<i>Revisit Time</i>	16 hari

Kanal Spektral/ <i>Spectral Band</i> (μm)	0,45 – 0,52 (1), 0,52 – 0,60 (2), 0,63 – 0,69 (3), 0,76 – 0,90 (4), 1,55-1,75 (5), 10,4-12,50 (6), 2,08-2,34 (7), 0,50-0,90 (PAN)
Ukuran Piksel Lapangan (Resolusi Spasial)	15 m (PAN), 30 m (band 1-5, 7), 60 m band 6
Arsip Data	earthexplorer.usgv.gov

Terdapat banyak aplikasi dari data Landsat TM: pemetaan penutupan lahan, pemetaan penggunaan lahan, pemetaan tanah, pemetaan geologi, pemetaan suhu permukaan laut, dan lain-lain. Untuk pemetaan penutupan dan penggunaan lahan data Landsat TM lebih dipilih daripada data SPOT multispektral karena terdapat band inframerah menengah. Landsat TM adalah satu-satunya satelit nonmeteorologi yang mempunyai band inframerah termal. Data termal diperlukan untuk studi proses-proses energi pada permukaan bumi seperti variabilitas suhu tanaman pada areal yang diirigasi.

Tabel 2.10 Saluran-saluran (Band) pada Landsat-TM dan Kegunaannya
(Lillesand dan Kiefer, 1997)

Saluran	Panjang Gelombang	Spektral	Kegunaan
1	0,45 – 0,52	Biru	Tembus terhadap tubuh air, dapat digunakan untuk pemetaan air, pantai, pemetaan tanah, pemetaan tumbuhan, pemetaan kehutanan, dan mengidentifikasi budi daya manusia.
2	0,52 – 0,60	Hijau	Untuk pengukuran nilai pantul pada pucuk hijau tumbuhan dan penafsiran aktivitasnya juga untuk pengamatan ketampakan budi daya manusia.
3	0,63 – 0,69	Merah	Dibuat untuk melihat daerah yang menyerap klorofil, dapat digunakan untuk membantu dalam pemisahan spesies tanaman, serta untuk pengamatan budi daya manusia.
4	0,76 – 0,90	Inframerah dekat	Membedakan jenis tumbuhan, aktivitas, dan kandungan biomas untuk membatasi tubuh air serta pemisahan kelembapan tanah.
5	1,55 – 1,75	Inframerah sedang	Menunjukkan kandungan kelembapan tumbuhan dan kelembapan tanah, serta untuk membedakan salju dan awan.

6	10,4 – 12,5	Inframerah termal	Menganalisis tegakan tumbuhan, pemisahan kelembapan tanah, dan pemetaan panas.
7	2,08 – 2,35	Inframerah sedang	Berguna untuk pengenalan terhadap mineral dan jenis batuan, juga sensitif terhadap kelembapan tumbuhan.

2.2.3 SPOT-5 (2,5 – 5 m) Nonaktif

SPOT-5 telah dinonaktifkan pengoperasiannya pada 31 Maret 2015. Meski demikian, arsip citra SPOT-5 tetap tersedia. Satelit ini telah berhasil diorbitkan dengan menggunakan Ariane 4 dari Stasiun Luar Angkasa Guiana di Kourou, Prancis pada 3 – 4 Mei 2002.

SPOT-5 menyediakan citra dengan resolusi tinggi dan area cakupan yang luas. SPOT-5 beresolusi spasial 5 – 2,5 m dengan cakupan swath 60 x 60 km atau 60 km x 120 km dengan dua kombinasi instrumen.



Hak Cipta © AIRBUS Defence & Space

Gambar 2.10 Satelit SPOT-5

Tabel 2.11 Karakteristik Citra SPOT-5

Sistem	SPOT-5
Orbit	Ketinggian 822 kilometers, 98.7°, <i>sun-synchronous</i>
Cakupan Penyiaran (<i>Swath Width</i>)	60 Km x 60 Km to 80 Km at nadir
<i>Revisit Time</i>	2-3 days, <i>depending on latitude</i>

Kanal Spektral/ <i>Spectral Band</i> (μm)	Pan: 480-710 nm Green: 500-590 nm Red: 610-680 nm Near IR: 780-890 nm Shortwave IR: 1,580-1,750 nm
Ukuran Piksel Lapangan (Resolusi Spasial)	Pan: 5m (nadir) MS: 10m (nadir) SWI: 20m (nadir)

2.2.4 Sentinel-2A Satellite Sensor (10 m)

Satelit Sentinel-2A sukses diluncurkan pada 23 Juni 2015, pukul 03:51:58 pagi (*Central European Summer Time/CEST*) menggunakan roket Vega dari pusat lepas landas angkasa Kourou, Prancis. Sentinel-2A adalah satelit pertama observasi bumi dari program *European Copernicus* yang dikembangkan dan dibangun di bawah Airbus Defence and Space for the European Space Agency (ESA).

Misi utama dari satelit ini adalah observasi penuh dan sistematis ke permukaan bumi termasuk pulau-pulau utama dengan citra bebas awan setiap 15 hingga 30 hari untuk wilayah Eropa dan Afrika.



Hak Cipta © ESA and Airbus Defence and Space

Gambar 2.11 Satelit Sentinel-2A

Sentinel-2A akan mendukung data-data penutupan lahan, penggunaan lahan, pemetaan perubahan tutupan lahan, variabel geofisika indeks luas daun (*leaf area index/ LAI*), kandungan klorofil, dan air pada daun. Sentinel-2A mampu melihat perubahan awal pada kesehatan tanaman dengan resolusi temporal dan spasial yang tinggi serta 3 band edge merah. Berperan khusus untuk pengguna dan pembuat kebijakan dalam pertanian serta untuk mendeteksi perubahan awal kekurangan pangan di negara berkembang.

2.3. Satelit Resolusi Rendah (> 20 m)

2.3.1 TERRA

EOS (*Earth Observing Service*) adalah centerpiece (daya tarik) dari misi ilmu pengetahuan bumi NASA. Satelit EOS AM, yang akhir-akhir ini dinamakan TERRA, adalah pemimpin armada dan diluncurkan pada Desember 1999. TERRA membawa lima instrumen *remote sensing* yang mencakup MODIS dan ASTER. ASTER (*Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflectance Radiometer*) adalah sebuah spektrometer citra beresolusi tinggi. Instrumen ASTER didesain dengan 3 band pada *range spectral visible* dan *near infrared* (VNIR) dengan resolusi 15 m, 6 band pada spektral *short-wave infrared* (SWIR) dengan resolusi 30 m, dan 5 band pada *thermal infrared* dengan resolusi 90 m. Band VNIR dan SWIR mempunyai lebar band spektral pada orde 10. ASTER terdiri dari 3 sistem teleskop terpisah, dimana masing-masing dapat dibidikkan pada target terpilih. Dengan penempatan (*pointing*) pada target yang sama dua kali, ASTER dapat mendapatkan citra stereo beresolusi tinggi. Cakupan penyiaran (*swath width*) dari citra adalah 60 km dan *revisit time* sekitar 5 hari.

MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) mengamati seluruh permukaan bumi setiap 1 – 2 hari dengan *whiskbroom scanning imaging radiometer*. MODIS dengan lebar tampilan (lebih 2.300 km) menyediakan citra radiasi matahari yang direfleksikan pada siang hari dan emisi termal siang dan malam di seluruh penjurus bumi. Resolusi spasial MODIS berkisar dari 250 – 1.000 m (Janssen dan Hurneeman, 2001).

Tabel 2.12 Karakteristik TERRA

Sistem	TERRA
Orbit	705 km, 98,2°, sun-synchronous, 10:30 AM crossing, rotasi 16 hari (<i>repeat cycle</i>)
Sensor	ASTER
Cakupan Penyiaran (<i>Swath Width</i>)	60 KM

<i>Off Tracking Viewing</i>	Tersedia $\pm 8,5^\circ$ SWIR dan $\pm 24^\circ$ VWIR
<i>Revisit Time</i>	5 hari
Band-band Spectral (μm)	VNIR 0,056 (1), 0,66 (2), 0,81 (3) swir 0,1,65 (1), 2,17 (2), 2,21 93), 2,26 (4), 2,33 (5), 2,40 (6), TIR 8,3 (1), 8,65 (2), 9,10 (3), 10,6 (4), 11,3 (5)
Ukuran Piksel Lapangan (Resolusi Spasial)	15 m (VNIR), 30 m (SWIR), 90m (TIR)
Arsip Data	terra.nasa.gov

2.3.2 TERRA MODIS

MODIS adalah salah satu instrumen utama yang dibawa *Earth Observing System* (EOS) Terra Satellite, yang merupakan bagian dari program antariksa Amerika Serikat, *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Program ini merupakan program jangka panjang untuk mengamati, meneliti, dan menganalisis lahan, lautan, atmosfer bumi, serta interaksi diantara faktor-faktor ini.

Satelit Terra berhasil diluncurkan pada Desember 1999 dan akan disempurnakan dengan satelit Aqua pada tahun 2002. MODIS mengorbit bumi secara polar (arah utara-selatan) pada ketinggian 705 km dan melewati garis khatulistiwa pada pukul 10:30 waktu lokal. Lebar cakupan lahan pada permukaan bumi setiap putarannya sekitar 2.330 km. Data terkirim dari satelit dengan kecepatan 11 mega bytes setiap detik dengan resolusi radiometrik 12 bits. Artinya, objek dapat dideteksi dan dibedakan sampai 212 (= 4.096) derajat keabuan (*grey levels*). Satu elemen citranya (piksel, *picture element*) berukuran 250 m (band 1 – 2), 500 m (band 3 – 7), dan 1.000 m (band 8 – 36). Di dalam dunia penginderaan jauh, hal ini dikenal dengan resolusi spasial. MODIS dapat mengamati tempat yang sama di permukaan bumi setiap hari, untuk kawasan di atas lintang 30 dan setiap 2 hari, untuk kawasan di bawah lintang 30, termasuk Indonesia.

Dengan karakteristik di atas MODIS memiliki beberapa kelebihan dibanding NOAA-AVHRR. Diantaranya memiliki lebih banyak spektral panjang gelombang (resolusi radiometrik) dan lebih telitnya cakupan lahan (resolusi spasial), serta lebih kerapnya frekuensi pengamatan (resolusi temporal). Mengamati belakngan sistem satelit Landsat *Thematic Mapper* yang bekerja pada resolusi spasial 30 m, mulai gencar dipromosikan untuk riset global. Landsat mengamati 7 spektral, mulai interval biru sampai termal inframerah. Menurut hemat penulis, MODIS masih akan memiliki kelebihan efektivitas ekonomi untuk riset-riset global dan kontinental sampai beberapa tahun mendatang.

Sementara itu, sistem SPOT-VEGETATION beroperasi dengan resolusi spasial 1 km, saat ini berkompetisi dengan MODIS dalam studi lingkungan global.

Produk MODIS dikategorikan menjadi tiga bagian, yaitu produk pengamatan vegetasi, radiasi permukaan bumi, dan tutupan lahan. Diantara capaian riset adalah pendeteksian kebakaran hutan, pendeteksian perubahan tutupan lahan, dan pengukuran suhu permukaan bumi. Suhu permukaan bumi dipadukan dengan data albedo (fraksi cahaya yang dipantulkan permukaan bumi) yang dimanfaatkan untuk pemodelan iklim. Dengan resolusi spasial yang semakin tinggi, dimungkinkan riset tentang prakiraan, dampak, serta adaptasi regional yang diperlukan dalam menghadapi perubahan lingkungan.

Pemanfaatan resolusi maksimum pada 250, 500, dan 1.000 m sangat cocok untuk melakukan studi regional. Jika dipadukan dengan data Landsat TM, studi ini akan menghasilkan data dasar untuk monitoring, pemodelan perubahan tutupan, penggunaan lahan (*land cover and land use*), dan data dasar untuk pengamatan unsur karbon, yang menjadi salah satu parameter penting dalam studi lingkungan global.

Kualitas produk di atas diukur dengan ketepatan pengamatan sensor dibandingkan dengan kondisi sebenarnya. Hal ini dikenal dengan istilah validasi data. Validasi data global masih merupakan agenda besar studi lingkungan global. *Center for Environmental Remote Sensing (CERES)*, tempat penulis melakukan riset saat ini, mengusulkan adanya *Global Land Cover Ground Truth Database*. *Ground truth* adalah sampel data lapangan yang dikumpulkan pada saat melakukan klasifikasi tutupan lahan dengan citra satelit secara otomatis. Basis data ini diusulkan dikumpulkan dari seluruh studi tutupan lahan global yang ada di dunia. Dengan basis data ini proses validasi data global akan mudah dilakukan.

Salah satu aktivitas validasi data MODIS saat ini dilakukan dalam konteks *Global Observation Forest Cover/Global Observation of Landcover Dynamics (GOFC/GOLD)*. Di Indonesia, forum ini erat kaitannya dengan *Land Cover and Land Use Change Project (LCLUC Project) Indonesian Case Studies*.

Saat ini telah terkumpul data tutupan lahan melalui satelit NOAA-AVHRR pada resolusi sekitar 1 km. Pembuatannya dilakukan dengan menggunakan data satelit secara *time series*, misalnya menggunakan data komposit indeks vegetasi AVHRR antara April 1992 – Maret 1993. International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) mengajukan 17 klasifikasi tutupan lahan permukaan bumi diantaranya: *evergreen broadleaf forests*,

deciduous broadleaf forest (digunakan untuk hutan berdaun lebar yang selalu hijau dan yang mengalami musim gugur), *evergreen* dan *deciduous needleleaf forest*, misalnya pohon cemara atau pinus, *shrublands* (pohon kayu kurang dari 2 meter), *savannas* (tetumbuhan atau semak belukar), *grassland* (padang rumput), *croplands* (tumbuhan pangan, yaitu mengalami masa tanam, panen, kemudian ada masa lahan menjadi kosong), *urban and built-up lands* (gedung atau infrastruktur buatan manusia), *snow and ice*, serta *water bodies* (termasuk danau) (Mustafa, 2004).

2.3.3 The Indian Remote Sensing (IRS)

Sistem satelit *The Indian Remote Sensing* (IRS) dibangun pada tahun 1980 untuk menyediakan informasi manajemen sumber daya alam yang berharga. Setelah sukses meluncurkan Satelit IRS 1A dan 1B, IRS 1C diluncurkan pada 1995 dan IRS 1D pada 1997 oleh pemerintah India. Citra Pankromatik resolusi 5 m yang dikumpulkan oleh IRS-1C dan 1D merupakan citra yang sesuai/ideal untuk perencanaan perkotaan, manajemen bencana, pemetaan, dan berbagai aplikasi yang membutuhkan kombinasi unik pada citra resolusi tinggi, revisit frekuensi (resolusi temporal) yang tinggi, dan cakupan area yang luas. Satelit ini memiliki kemampuan *stereo imaging*, kemampuan *gain*, dan *cross track imaging* yang dapat diatur (Space Imaging, 2004).

Sistem IRS telah muncul sebagai salah satu program yang paling bergengsi pada industri citra komersial. Fokus program IRS adalah untuk mengembangkan teknologi ruang angkasa dan aplikasinya dalam mendukung pembangunan nasional. Dengan penekanan pada peningkatan sumber daya, IRS sangat penting untuk memonitor keberadaan sumber daya untuk pemanfaatan yang optimal. Manajemen sumber daya telah menjadi kebutuhan yang sangat penting dengan pembangunan industri yang meningkat dan pertumbuhan populasi.

Untuk menjaga kepentingan-kepentingan di atas, Departemen Angkasa Luar Pemerintah India (the Government of India Department of Space/DOS) telah memulai program IRS pada 1998 dengan peluncuran IRS 1A diikuti oleh seri-seri satelit 1B, 1C, 1D, P2, P3, dan yang terkini adalah RESOURCESTAT-1 (P6). Data dari satelit tersebut telah membantu pada bidang Misi Terpadu untuk Pembangunan Berkelanjutan (Integrated Mission for Sustainable Development/IMSD), Estimasi Luas dan Produksi Tanaman Nasional (National Level Crop Acreage and Production Estimation/CAPE), inventarisasi lahan kritis, longsor, *zoning*, dan pemetaan hutan.

Sejak tahun 1994, Space Imaging telah bermitra dengan Antrix Corporation Limited, sebuah divisi dari the Indian Space Research Organization (ISRO), untuk memasarkan dan mendistribusikan secara eksklusif produk-produk satelit IRS dan stasiun bumi (*ground stations*) di luar India. Space Imaging dan Antrix telah melakukan persetujuan untuk meningkatkan kerja sama sampai 2010, serta bekerja mengomersialkan produk-produk citra IRS dan *ground stations*, baik di dalam maupun di luar India.

Space Imaging telah mengembangkan secara ekstensif, jaringan pemerintah seluruh dunia, dan *ground stations* regional komersial yang mempunyai kemampuan untuk akses, download, proses, serta mendistribusikan data IKONOS juga produk-produknya. Melalui kerja sama dengan Antrix dan pemerintah India, Space Imaging juga telah mendirikan lebih dari 14 IRS *International Ground Stations* di seluruh dunia dan saat ini menawarkan opsi untuk download RESOURCESTAT-1 melalui *upgrade* atau *multisource ground stations*.

India berupaya keras dalam penginderaan jauh dan mempunyai banyak misi operasional dan misi pengembangan. Program observasi bumi terpenting adalah Indian Remote Sensing (IRS) Programme. Diluncurkan pada 1995 dan 1997, dua satelit identik, IRS-1C dan IRS-1D membawa 3 sensor *Wide Field Sensor* (WiFS) didesain untuk pemetaan vegetasi regional, *Linear Self Scanning Sensor 3* (LISS-3) dimana menghasilkan data multispektral pada 4 band dengan resolusi spasial 24 m dan pankromatik.

Tabel 2.13 Karakteristik IRS-1D PAN

Sistem	IRS-1D PAN
Orbit	817 km, 98,6°, <i>sun-synchronous</i> , 10:30 AM <i>crossing</i> , rotasi 24 hari (<i>repeat cycle</i>)
Sensor	PAN (<i>Panchromatic Sensor</i>)
Cakupan Penyiaman (<i>Swath Width</i>)	70 km
<i>Off Tracking Viewing</i>	Tersedia $\pm 26^\circ$ <i>across-track</i>
<i>Revisit Time</i>	5 hari
Band-band Spectral (μm)	0,50-0,75
Ukuran Piksel Lapangan (Resolusi Spasial)	6 m
Arsip Data	www.spaceimaging.com

Dalam beberapa tahun, sampai peluncuran IKONOS pada September 1999, IRS-1C dan 1D adalah satelit sipil dengan resolusi spasial tertinggi. Aplikasi IRS sama dengan aplikasi dalam SPOT dan Landsat (Janssen dan Hurneeman, 2001).

2.3.4 NOAA

NOAA singkatan dari *National Oceanic and Atmospheric Administration*, yang merupakan badan pemerintah Amerika Serikat. Sensor pada misi NOAA yang relevan untuk pengamatan bumi adalah *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR). Saat ini, dua Satelit NOAA (14 dan 15) tengah beroperasi.

Tabel 2.14 Karakteristik AVHRR NOAA-15

Sistem	NOAA-15
Orbit	850 km, 98,8°, sun-synchronous
Sensor	AVHRR-3 (<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>)
Cakupan Penyiaran (<i>Swath Width</i>)	2800 km (FOV = 110°)
<i>Off Tracking Viewing</i>	Tidak tersedia
<i>Revisit Time</i>	2-14 kali tiap hari, tergantung pada lintang
Band-band Spectral (µm)	,58-0,68 (1), 0,73-1,10 (2), 3,55-3,93 (3), 10,3-11,3 (4), 11,4-12,4 (5)
Ukuran Piksel Lapangan (Resolusi Spasial)	1 km (pada nadir) 6 km (pada limb), IFOV=1,4 mrad
Arsip Data	www.saa.noaa.gov

Sensor AVHRR mempunyai FOV sangat lebar (110°) dan jarak yang jauh dari bumi, prinsip *whiskbroom* menyebabkan perbedaan yang besar pada *ground sel* terukur dalam satu kali penyiaran (*scanline*). Data citra standar produk-produk AVHRR menghasilkan data citra dengan ukuran yang sama ukuran di lapangan (*ground pixels*). Data AVHRR terutama digunakan peramalan cuaca harian dimana memberikan data yang lebih detail daripada Meteosat. Selain itu, juga dapat diterapkan secara luas pada banyak lahan dan perairan.

Data AVHRR digunakan untuk membuat Peta Suhu Permukaan Laut (*Sea Surface Temperature Maps/SST Maps*), dimana dapat digunakan pada monitoring iklim, studi El Nino, deteksi arus laut untuk memandu kapal-kapal pada dasar laut dengan ikan berlimpah, dan lain-lain. Peta Tutupan Awan (*Cloud Cover Maps*) yang berasal dari data AVHRR, digunakan untuk estimasi curah hujan, dimana dapat menjadi input dalam model pertumbuhan tanaman. Selain itu, hasil pengolahan lain dari data AVHRR adalah *Normalized Difference Vegetation Index Maps* (NDVI). Peta ini memberikan indikasi tentang kuantitas biomassa (tons/ha). Data NDVI, digunakan oleh FAO untuk Sistem Peringatan

Dini Keamanan Pangan (*Food Security Early Warning System/FEWS*). Data AVHRR sangat tepat untuk memetakan dan memonitor penggunaan lahan regional dan memperkirakan keseimbangan energi (*energy balance*) pada areal pertanian (Janssen dan Hurneeman, 2001).

2.3.5 SPOT-4

SPOT singkatan dari *Systeme Pour l'Observation de la Terre*. SPOT-1 diluncurkan pada tahun 1986. SPOT dimiliki oleh konsorsium yang terdiri dari pemerintah Prancis, Swedia, dan Belgia. SPOT pertama kali beroperasi dengan *pushbroom* sensor CCD dengan kemampuan *off track viewing* di ruang angkasa. Saat itu, resolusi spasial 10 m untuk pankromatik tidak dapat ditiru. Pada Maret 1998, sebuah kemajuan signifikan SPOT-4 diluncurkan, yaitu memiliki 4 sensor HRVIR disamping 3 band dan *instrument vegetation* yang ditambahkan. *Vegetation* didesain untuk hampir tiap hari dan akurat untuk monitoring bumi secara global.

Tabel 2.15 Karakteristik SPOT-4 HRVIR

Sistem	SPOT-4 HRVIR
Orbit	835 km, 98,7°, <i>sun-synchronous</i> , 10.30 AM <i>crossing</i> , rotasi 26 hari (<i>repeat cycle</i>)
Sensor	Dua sensor HRVIR (<i>High Resolution Visible and Infrared</i>)
Cakupan Penyiaman (<i>Swath Width</i>)	60 km (3000 pixrls CCD-array)
<i>Off Tracking Viewing</i>	Tersedia $\pm 27^\circ$ <i>across track</i>
<i>Revisit Time</i>	4-6 hari tergantung pada lintang
Band-band Spectral (μm)	0,50-0,59 (1), 0,61-0,68 (2), 0,79-0,98 (3), 1,58-1,75 (4), 0,61-0,68 (PAN)
Ukuran Piksel Lapangan (Resolusi Spasial)	10 m (PAN), 20 m (band 1-4)
Arsip Data	<i>sirius.spotimage.fr</i>

2.3.6 The Earth Observing-1 (EO-1)

Misi EO-1 (The Earth Observing-1) adalah bagian dari Program Milenium Baru NASA dan difokuskan pada sensor baru serta teknologi pesawat ruang angkasa yang dapat secara langsung mengurangi biaya Landsat yang berkaitan dengan sistem monitoring bumi. Satelit EO-1 ditempatkan pada orbit yang meliputi permukaan yang sama dengan Landsat 7, sekitar 1 menit kemudian. Perbandingan langsung dari hasil dapat diperoleh dari Landsat ETM+ dan 3 instrumen utama dari EO-1. Tiga instrumen utama pada

pesawat ruang angkasa EO-1 adalah *Hyperion* dan *Linear Etalon Imaging Spectrometer Array* (LEISA), *Atmospheric Corrector* (LAC), dan *Advanced Land Imager* (ALI). *Hyperion* adalah sebuah spektrometer citra yang meliputi 30 m permukaan pada jarak di atas 75 km *swath*, menyediakan 10 nm (sampling interval) band bersebelahan pada spektrum solar *reflected* dari 400 – 2.500 nm. LAC adalah spektrometer citra yang meliputi kisaran spektral dari 900 – 1.600 nm dimana sesuai untuk memonitor garis penyerapan air di atmosfer (*atmospheric water absorption lines*) untuk koreksi pengaruh atmosfer pada citra multispektral seperti ETM+ pada Landsat.

EO-1 (The Earth Observing-1) *Advanced Land Imager* (ALI) adalah teknologi verifikasi instrumen. Pengoperasian dengan menyapu permukaan bumi pada orbit 705 km, ALI dapat menyediakan Landsat tipe pankromatik dan band multispektral. Band-band tersebut telah didesain untuk meniru enam band Landsat dengan 3 tambahan band yang mengcover 0.433 – 0.453, 0.845 – 0.890, dan 1.20 – 1.30 μm .

Tabel 2.16 Karakteristik EO-1

Sistem	EO-1
Orbit	705 KM, 98,7°, <i>sun-synchronous</i> , 10.30 am <i>crossing</i> , rotasi 16 hari (<i>repeat cycle</i>)
Sensor	ALI (<i>Advance Land Imager</i>)
Cakupan Penyiaman (<i>Swath Width</i>)	37 km
<i>Off Tracking Viewing</i>	Tidak tersedia
<i>Revisit Time</i>	16 hari
Saluran Spektral/ <i>Band Spectral</i> (μm)	Seperti Landsat 0,433-0,453, 0,845-0,80 dan 1,20-1,30 μm
Ukuran Piksel Lapangan (Resolusi Spasial)	10 m (PAN), 30 m (band lain)
Arsip Data	<i>Eo-1.gsfc.nasa.gov</i>

2.4. Satelit Lainnya

Beberapa jenis satelit lainnya dengan status dalam proses dan masih rencana secara rinci tentang tanggal peluncuran, aplikasi, rincian orbit, dan karakteristik orbit dituliskan pada Tabel 2.18.

Misi	Status	Tanggal Peluncuran	Aplikasi	Rincian Orbit & URL	Karakteristik Teknis
RESOLUSI RENDAH					
3D Winds Nasa	Dalam Proses	2030	<ul style="list-style-type: none"> Misi nominal 3 tahun, mendeteksi angin troposfer, untuk peramalan cuaca, dan transportasi polusi. 	<ul style="list-style-type: none"> Jenis: <i>Sun-Synchronous</i> Ketinggian: 400 km Kemiringan: 97,03 deg Resolusi Temporal: 12 hari URL: decadal.gfc.nasa.gov/3d-w inds.html 	<ul style="list-style-type: none"> Waveband: 2,051 m dan 0,355 m Resolusi Spasial: 300 km Lebar Petak: View 45 derajat dari titik nadir di empat azimuth Sudut: 45, 135, 225, 315 deg. Akurasi: 2-3 m/s LOS akurasi angin diproyeksikan secara horisontal ke semua efek termasuk sampling error
JPSS-2 NOAA/ Eumetsat/NASA	Disetujui	Januari 2023	<ul style="list-style-type: none"> Meteorologi, iklim, terestrial, oseanografi, dan solar-geophysical Applications: environmental monitoring global dan regional, pencarian dan penyelamatan, pengumpulan data. Sedang dipertimbangkan untuk instrumen A-DCS4 dan SARSAT, hal ini dipertimbangkan sebagai bagian dari sistem JPSS. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 833 km Periode: 101. menit Kemiringan: 98,75 deg URL: www.Nesdis.noaa.gov/jpps/ 	<ul style="list-style-type: none"> Waveband: MWIR - TIR: 3,92-4,4 pM, 5,7-8,62 m, 9,1 -14,7 m, 1300 saluran spektral Resolusi Spasial: IFOV 14 km Lebar Petak: 2200 km Profil Suhu: akurasi 0,9 K, profil Moisture: 20 - 35%, Profil Tekanan: 1%
RADARSAT C-1 CSA	Disetujui	Juli 2018	<ul style="list-style-type: none"> Pemantauan ekosistem, pengawasan maritim, manajemen bencana. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 600 km Periode: 96,4 menit Kemiringan: 97,7 deg Siklus Ulang: 12 hari URL: http://www.asccsa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/default.asp 	<ul style="list-style-type: none"> Waveband: <i>Microwave</i>: C Band 5,405 GHz; HH, VV, HV, VH Polarisasi - termasuk modulus polarisasi pencitraan dan polarimetri Resolusi Spasial: Resolusi Rendah 100 m: 100 x 100 m; Resolusi Medium 50 m: 50 x 50 m; Resolusi Medium 16 m: 16 x 16 m; Medium Resolusi 30 m: 30 x 30 m; Resolusi Tinggi 5 m: 5 x 5 m; Resolusi yang Sangat Tinggi 3 m: 3 (@ 35deg) Lebar Petak: Resolusi Rendah 100 m: 500 km; Medium Resolusi 50 m: 350 km; Resolusi Medium 16 m: 30 km; Resolusi Medium 30 m: 125 km; Tinggi Resolusi 5 m: 30 km; Resolusi yang Sangat Tinggi 3 m: 20 km; Low Noise 100 m: 350 km; Spotlight: 5 km; Kapal Deteksi: 350 km Akurasi: Absolute Radiometri Akurasi: +/- 1,0 dB Diskontinuitas ScanSAR: 0,2 dB

RADARSAT C-2 CSA	Disetujui	Juli 2018	<ul style="list-style-type: none"> Pemantauan ekosistem, pengawasan maritim, bencana. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 600 km Periode: 96,4 menit Kemiringan: 97,7 deg Siklus Ulang: 12 hari URL: http://www.ascsa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/default.asp 	<ul style="list-style-type: none"> Waveband: Microwave: C Band 5,405 GHz: HH, VV, HV, VH Polarisasi - termasuk modus polarisasi pencitraan dan polarimetri Resolusi Spasial: Resolusi Rendah 100 m; 100 x 100 m; Resolusi Medium 50 m; 50 x 50 m; Resolusi Medium 16 m; 16 x 16 m Lebar Petak: Resolusi Rendah 100 m; 500 km; Medium Resolusi 50 m; 350 km; Resolusi Medium 16 m; 30 km; Resolusi yang Sangat Tinggi 3 m; 20 km; Low Noise 100 m; 350 km; Spotlight: 5 km; Kapal Deteksi: 350 km Akurasi: Absolute Radiometri Akurasi: +/- 1,0 dB Diskontinuitas ScanSAR: 0.2 dB
RADARSAT C-3 CSA	Disetujui	Juli 2018	<ul style="list-style-type: none"> Pemantauan ekosistem, pengawasan maritim, bencana. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 600 km Periode: 96,4 menit Kemiringan: 97,7 deg Siklus Ulang: 12 hari URL: http://www.ascsa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/default.asp 	<ul style="list-style-type: none"> Waveband: Microwave: C Band 5,405 GHz: HH, VV, HV, VH Polarisasi - termasuk modus polarisasi pencitraan dan polarimetri Resolusi Spasial: Resolusi Rendah 100 m; 100 x 100 m; Resolusi Medium 50 m; 50 x 50 m; Resolusi Medium 16 m; 16 x 16 m; Medium Resolusi 30 m; 30 x 30 m; Tinggi Resolusi 5 m; 5 x 5 m; Resolusi yang Sangat Tinggi 3 m Lebar Petak: Resolusi Rendah 100 m; 500 km; Medium Resolusi 50 m; 350 km; Resolusi Medium 16 m; 30 km; Resolusi Medium 30 m; 125 km; Tinggi Resolusi 5 m; 30 km; Resolusi yang Sangat Tinggi 3 m; 20 km; Low Noise 100 m; 350 km; Spotlight: 5 km; Kapal Deteksi: 350 km Akurasi: Absolute Radiometri Akurasi: +/- 1,0 dB Diskontinuitas ScanSAR: 0.2 dB
Oceansat-3A ISRO	Dipertimbangkan	2018	<ul style="list-style-type: none"> Laut dan atmosfer aplikasi. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 720 km Periode: 99,31 menit Kemiringan: 98,28 deg Siklus Ulang: 2 hari URL: www.isro.org/ 	<ul style="list-style-type: none"> Waveband: 2 band Lebar petak: 1500 km
Sentinel-3C ESA/EUMETSAT/ EC	Dipertimbangkan	2020	<ul style="list-style-type: none"> Mendukung pelayanan pertanahan dan pemantauan laut khususnya: data warna tanah dan suhu permukaan laut, es, tanah, topografi, wilayah pesisir, pedalaman, dan air. 	<ul style="list-style-type: none"> Jenis: Sun-sinkron Ketinggian: 814 km Periode: 100 menit Kemiringan: 98,65 deg URL: www.esa.int/esaLP/LPgmes.html 	<ul style="list-style-type: none"> Waveband: 21 band di VNIR/SWIR Resolusi Spasial: 300 m Lebar Petak: 1270 km, di track tilt 12,2 deg ke Barat Akurasi: 2% abs, 0,1% rel

RESOLUSI SEDANG				
Sentinel-2C ESA/EC	Dipertimbangkan	2020	<ul style="list-style-type: none"> Mendukung layanan terkait pemantauan lahan, peta tutupan lahan, generik, pemetaan bencana. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 786 km Periode: 100,7 menit Kemiringan: 98,62 deg Siklus Ulang: 10 hari URL: www.esa.int/esaLP/LPgmes.html
RESOLUSI TINGGI				
HY-3C NSOAS/CAST	Dipertimbangkan	2022	<ul style="list-style-type: none"> Pemantauan laut, perlindungan lingkungan, survei zona pesisir, dll. 	<ul style="list-style-type: none"> Waveband: X-Bandi: 8 - 12 GHz Resolusi Spasial: 1 m, 5 m, 10 m Lebar Petak: 3 petak: 40 km, 80 km, 150 km
Sentinel-1C ESA/EC	Dipertimbangkan	2019	<ul style="list-style-type: none"> Menyediakan kelangsungan C-band data SAR untuk operasional terutama dalam bidang pemantauan es laut, zona dan lingkungan, pengawasan kelautan lingkungan, pemantauan risiko gerak permukaan tanah, serta pemetaan dalam mendukung bantuan kemanusiaan dalam situasi krisis. 	<ul style="list-style-type: none"> Waveband: C-band: 5,405 GHz; HH, VV, HH + HV, VV + VH Insiden Sudut: 20 - 45 Spasial Resolusi: modus jalur: 9 m, lebar <i>Interferometric</i> Modus Petak: 20 m, modus petak ekstra lebar: 50 m, gelombang Modus: 50 m Petak lebar: modus jalur: 80 km; <i>Interferometric</i> petak Modus: 250 km, ekstra lebar modus petak: 400 km, modus gelombang Akurasi: NESZ: -22 dB; PTAR: -25 dB; DTAR: -22 dB Akurasi <i>Radiometric</i>: 1 dB (3 sigma); Stabilitas Radiometrik: 0,5 dB (3 sigma)
ACE Nasa	Dalam Proses	2030	<ul style="list-style-type: none"> Misi fase-2DS, peluncuran tidak diketahui, nominal misi 3 tahun. Aerosol dan profil awan nominal untuk iklim dan siklus air, warna laut untuk laut terbuka <i>biogeochemistry</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> Jenis: <i>Sun-Synchronous</i> Ketinggian: 650 km Kemiringan: 98,2 deg LST: 13: 00 URL: dsm.gsfc.nasa.gov/ace/science.html Waveband: 532 nm (polarisasi sensitif), 1064 nm, 355 nm Lebar Petak: 333 m

HY-2D NSOAS/CAST	Direncanakan	2019	<ul style="list-style-type: none"> Mendeteksi suhu permukaan laut, bidang angin, gelombang, dan topografi. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 936 km Kemiringan: 99,3 deg Siklus Ulang: 14 hari URL: www.noaa.gov.cn/ 	<ul style="list-style-type: none"> Waveband: VHF (162 MHz) Lebar Petak: 800 km minimum Akurasi: deteksi kapal baik dari 90%, untuk kapal, ketika kapal berada dalam tampilan selama minimal 5 menit
PACE NASA	Dipertimbangkan	2019	<ul style="list-style-type: none"> Tahap 2 DS misi peluncuran tidak diketahui, misi 3 tahun. Profil untuk iklim dan siklus air laut. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 650 km Kemiringan: 98,2 deg URL: dsm.gfc.nasa.gov/ace/index.html 	
SAC-E/SABIA MAR-A CONAE	Direncanakan	2018	<ul style="list-style-type: none"> Pengukuran warna laut (laut terbuka, pesisir, tanah), SST, laut dan pesisir. Pengawasan, lampu perkotaan, kebakaran, pengumpulan data sistem. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 645 km Periode: 97,6 menit Kemiringan: 97,96 deg Siklus Ulang: 4 hari URL: www.conae.gov.ar/ 	
SAC-E/SABIA MAR-B CONAE	Direncanakan	2019	<ul style="list-style-type: none"> Pengukuran warna laut (laut terbuka, pesisir, tanah perairan), resolusi rendah dan menengah spasial, SST, laut dan pesisir. Pengawasan, lampu perkotaan, kebakaran, pengumpulan data sistem. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 645 km Periode: 97,6 menit Kemiringan: 97,96 deg Siklus Ulang: 4 hari URL: www.conae.gov.ar/ 	
Sentinel-6 A ESA/EUMETSAT/ NASA/NOAA / EC/CNES	Direncanakan	2020	<ul style="list-style-type: none"> Untuk memberikan kontinuitas referensi, presisi tinggi laut, dan layanan topografi. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 1.336 km Periode: 112 menit Kemiringan: 66 deg 	<ul style="list-style-type: none"> Waveband: Microwave: Ku-band (13,575 GHz), C-band (5,3 GHz)
SWOT NASA/UKSA/ CNES/CSA	Direncanakan	2020	<ul style="list-style-type: none"> Sirkulasi mesoscale dan sirkulasi submesoscale pada resolusi spasial = 10 km, persediaan semua badan air, terestrial dengan luas permukaan > 250 m², serta sungai dengan lebar > 100 m. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketinggian: 891 km Kemiringan: 78 deg Siklus Ulang: 22 hari URL: swot.jpl.nasa.gov 	



BAB III DATA PENGINDERAAN JAUH DAN PENGOLAHAN CITRA

3.1. Data Posisi Lapangan dan Data Lapangan

3.1.1 Data Posisi Lapangan

Cara yang diperlukan untuk memperoleh koreksi geometrik yang akurat, *Ground Control Points* (GCP) dibutuhkan pengetahuan tentang koordinat. Persyaratan GCP adalah titik kontrol harus sama dan dikenali baik pada citra, lapangan atau peta, dan koordinat citra (nomor piksel dan nomor baris serta koordinat geografis (lintang, bujur, dan ketinggian) harus terukur.

Penggunaan peta topografi merupakan cara termudah dalam menentukan posisi GCP, namun peta topografi tidak selalu tersedia, terutama di negara-negara berkembang. Dalam kasus ini survei lapangan diperlukan sebelumnya untuk mengetahui titik GCP. *Global Positioning System* (GPS) dapat memberikan koordinat geografis dalam waktu yang singkat dengan menggunakan penerima GPS untuk mengukur informasi waktu dari beberapa satelit navigasi. GPS adalah metode yang digunakan untuk menentukan koordinat penerima GPS yang menerima sinyal radio lebih dari empat satelit navigasi. Informasi navigasi yang diterima termasuk waktu dan elemen orbit yang dapat dikonversi menjadi posisi satelit.

Ada dua metode yang dapat digunakan dalam penentuan posisi, yaitu posisi titik tunggal dan posisi relatif. Metode posisi titik tunggal digunakan untuk menentukan koordinat dari penerima GPS tunggal seperti pada keakuratan dari geodetik yang dapat mencapai 10 – 30 meter. Ada empat variabel yang tidak diketahui, yaitu X_0 , Y_0 , Z_0 , dan A_t (kesalahan jam-waktu penerima). Oleh karena itu, diperlukan minimal empat satelit navigasi. GPS memiliki 18 satelit pada ketinggian 20.000 dengan masing-masing tiga satelit dalam enam orbit yang berbeda sehingga setiap titik di bumi dapat diketahui dari empat satelit yang ada.

Metode posisi relatif dapat menentukan hubungan relatif antara titik yang diketahui dan titik ukur yang tidak diketahui. Dalam hal ini, setidaknya dua penerima GPS ditempatkan pada waktu yang sama. Akurasi adalah 0,1 – 1 ppm panjang dasar antara titik yang dikenal dan titik yang tidak diketahui sekitar 2 – 5 cm dengan ketepatan *planimetric* dan 20 – 30 cm dalam akurasi tinggi.

Sangat diperlakukan koreksi geometris yang akurat pada titik kontrol daerah/wilayah dengan titik koordinat yang dikenal. Persyaratan titik kontrol tanah adalah titik harus identik dan dikenal baik pada gambar permukaan tanah atau peta, koordinat gambar (piksel nomor dan baris nomor), koordinat geografis (lintang, bujur dan ketinggian) harus terukur. Penggunaan peta topografi merupakan cara termudah untuk menentukan posisi titik kontrol tanah. Namun peta tidak selalu tersedia, terutama di negara-negara berkembang. Dalam kasus tersebut, survei kontrol sebelumnya sangat diperlukan.

3.1.2 Kunci Interpretasi Citra

Kunci interpretasi merupakan suatu kriteria dalam mengidentifikasi suatu objek dengan unsur-unsur interpretasi. Interpretasi citra tergantung pada seorang interpreter yang memiliki pengalaman dari pengetahuan sebelumnya dan penelitian-penelitian yang terkait dengan citra satelit. Penetapan standardisasi dalam interpretasi citra dapat menghilangkan perbedaan dari seorang interpreter dalam menginterpretasi suatu citra. Pada umumnya, ada delapan unsur-unsur dalam interpretasi citra (ukuran, bentuk, bayangan, rona, warna, tekstur, pola, dan hubungan asosiasi), serta keterangan tentang citra seperti waktu pengambilan citra, lokasi, dan skala citra menjadi pertimbangan dalam mengembangkan kunci interpretasi.

3.1.3 Peta Tematik

Suatu peta hasil interpretasi citra biasanya diperoleh dari informasi peta dasar untuk meletakkan informasi tematiknya. Syarat-syarat peta dasar, yaitu skala peta yang tepat, sistem koordinat geografis untuk menetapkan referensi geografis, dan informasi peta dasar yang akan dicetak pada rona cahaya sebagai latar yang akan menghasilkan penajaman informasi dari seorang interpreter.

Peta topografi dan peta perencanaan atau *orthophotomap* digunakan sebagai peta dasar. Biasanya sebuah peta topografi dengan skala 1:50.000, 1:100.000, atau 1:250.000 disediakan dalam interpretasi citra satelit resolusi tinggi. Peta dengan skala

1:50.000 sampai 1:500 digunakan sebagai peta dasar untuk tujuan oseanografi atau ilmu kelautan. *Orthophotomap* lebih mudah digunakan oleh seorang kartografer dalam menerjemahkan informasi, khususnya dalam kasus klasifikasi hutan. Metode transfer informasi ke dalam peta dasar terdiri dari:

- a. Penelusuran (*tracing*): Penafsiran citra dapat ditelusuri dengan meng-*overlay* suatu peta menggunakan acuan peta dasar.
- b. Proyeksi optik: Pembentukan citra dapat diproyeksikan melalui lensa proyeksi optik dalam memberikan informasi pada peta dasar. Cermin proyektor sangat berguna untuk interpretasi citra.
- c. Sistem grid: Garis grid digambar pada citra dan peta dasar, kemudian penafsiran informasi dalam sebuah grid pada citra ditransfer sesuai grid pada peta.
- d. *Plotting fotogrametri*: Foto udara diinterpretasikan menjadi peta tematik dengan menggunakan *plotter fotogrametri*.

3.2. Sistem Pengolahan Citra

3.2.1 Pengolahan Citra pada Penginderaan Jauh

Data penginderaan jauh adalah data citra digital, oleh karena itu pengolahan data penginderaan jauh disebut sebagai pengolahan citra digital. Teknik pengolahan data utama dalam penginderaan jauh:

a. Input data

Ada dua sumber data pada penginderaan jauh, yaitu data digital dan data analog. Data digital misalnya data *scan* multispektral yang dikonversi dari HDDT (*High Density Digital Type*) ke CCT (*Computer Compatible Tape*) untuk memudahkan dalam analisis komputer. Data analog misalnya, film digital yang dipindai (*scan*) menjadi data citra digital.

b. Rekonstruksi/Koreksi

Koreksi radiometrik dan geometri dilakukan dalam proses pra pengolahan citra.

c. Transformasi

Penajaman citra, transformasi spasial, dan geometris atau konversi data biasanya diperlukan untuk menghasilkan peta tematik atau database.

d. Klasifikasi

Fitur citra dikategorikan sebagai label dalam pengolahan citra dengan menggunakan teknik segmentasi dan pencocokan.

e. Hasil

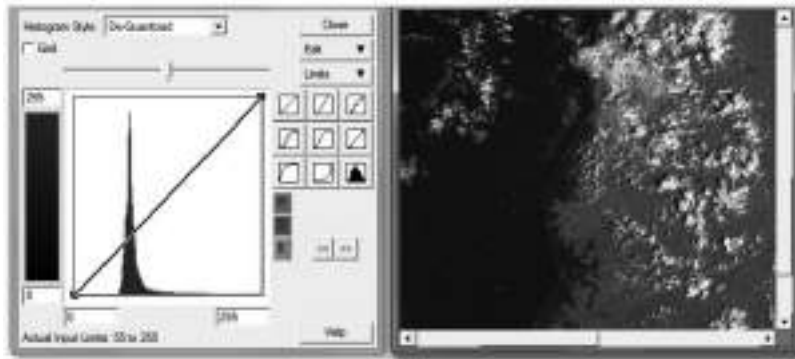
Ada dua hasil yang diperoleh, yaitu data berupa analog seperti film atau salinan warna dan data digital dalam bentuk database yang digunakan sebagai salah satu data dalam sistem informasi geografis.

1. Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik ditujukan untuk memperbaiki nilai piksel supaya sesuai dengan yang seharusnya, dan biasanya juga mempertimbangkan berbagai faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama. Efek atmosfer menyebabkan nilai objek dipermukaan bumi terekam oleh sensor menjadi bukan nilai aslinya, tetapi menjadi lebih besar oleh karena adanya hamburan atau lebih kecil karena proses serapan. Teknik yang bisa dilakukan adalah dengan peningkatan kontras warna dan cahaya dari suatu citra sehingga memudahkan untuk interpretasi dan analisis citra.

Metode koreksi radiometrik yang digunakan adalah penyesuaian histogram (*histogram adjustment*). Metode ini didasarkan atas asumsi bahwa data pada panjang gelombang lebih besar maka akan cenderung lebih kecil pengaruh atmosfernya. Jika nilai minimum dari histogram seluruh piksel lebih besar dari nol, maka nilai minimum pada histogram dianggap sebagai pengaruh atmosfer. Pada metode ini ditetapkan bahwa respons spektral terendah pada setiap kanal nilainya adalah nol. Oleh karena itu, dilakukan pengurangan nilai digital setiap piksel pada semua kanal sehingga nilai minimumnya sama, yaitu nol.

Koreksi radiometrik citra dilakukan untuk mengatasi pengaruh pada nilai *spectral* citra tersebut. Proses ini menggunakan metode penyesuaian histogram (*histogram adjustment*). Metode ini dipilih dengan pertimbangan tidak mengubah keaslian nilai piksel karena tidak menggunakan perhitungan rerata seperti pada metode lain dan sangat direkomendasikan untuk pengolahan citra satelit, selain itu metode ini tidak memerlukan algoritme matematis yang rumit.



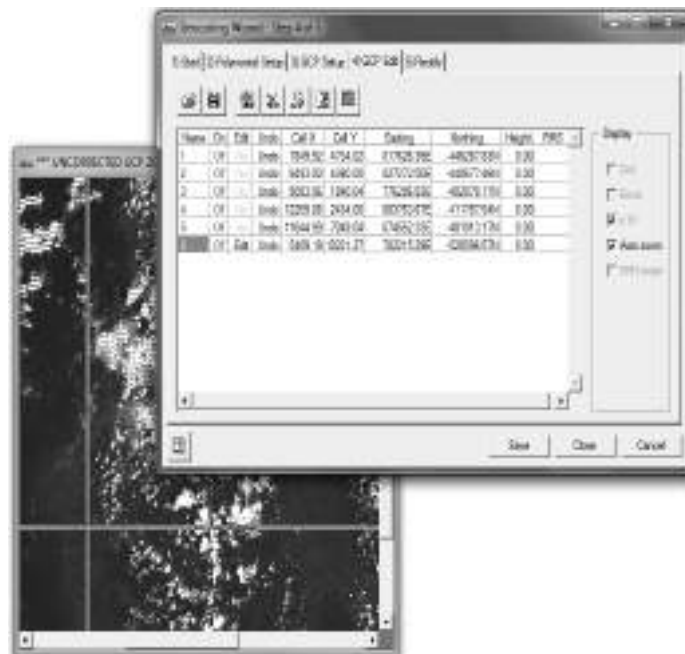
Gambar 3.1 Proses Koreksi Radiometrik Citra Menggunakan Metode Penyesuaian Histogram (*Histogram Adjustment*)

2. Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik ini dilakukan dengan menggunakan metode Transformasi Koordinat Polinomial Orde Satu. Penyesuaian proyeksi dilakukan sesuai dengan sistem proyeksi *Universal Transverse Mercator* (UTM).

Koreksi geometrik pada awal proses penggunaan citra satelit landsat digunakan untuk membetulkan geometri citra satelit agar sesuai dengan keadaan sesungguhnya di lapangan. Koreksi geometri dilakukan dengan menggunakan sistem koordinat tertentu dengan bantuan titik kontrol di lapangan (*ground control point*). Titik kontrol merupakan titik ikat dimana yang digunakan sebagai pengikat adalah objek yang sama antara objek di dalam citra dengan objek di lapangan. Titik kontrol dapat diperoleh dari survei GPS maupun dari peta-peta yang sudah ada. Dalam pekerjaan ini peta yang digunakan adalah peta RBI.

Terdapat dua tahap pada koreksi geometrik, yaitu transformasi koordinat (transformasi geometrik) dan *resampling*. Transformasi koordinat dilakukan dengan menggunakan bantuan Titik Kontrol Tanah (*Ground Control Point*, GCP). GCP adalah suatu ketampakan geografis yang unik, stabil sifat geometrik dan radiometriknya, serta lokasinya dapat diketahui dengan tepat.



Gambar 3.2 Koreksi Geometrik dengan Menggunakan Titik GCP

Pada langkah pertama, titik GCP ditempatkan pada citra dan citra referensi dengan tingkat akurasi satu piksel. Penempatan GCP yang benar akan menghasilkan matriks transformasi hubungan titik-titik pada citra dan sistem proyeksi yang terpilih. GCP yang digunakan untuk 1 scene minimal 30 titik. Pemilihan titik kontrol yang baik akan menambah tingkat ketelitian pada koreksi geometrik. Titik-titik GCP disesuaikan dengan posisi titik di citra yang akan dikoreksi dengan pertimbangan semakin kecil nilai *RMS error* maka semakin akurat penempatan posisi citra pada lokasi sebenarnya di bumi.

3. Citra Komposit dan Pengenalan Objek pada Citra

Penyusunan citra komposit warna dilakukan untuk menampilkan citra berwarna dengan resolusi 30 meter pada bentuk penajaman kontras yang baik agar mudah untuk diinterpretasi secara visual.

Citra satelit landsat dapat digunakan dan ditampilkan dalam bentuk pita tunggal (*single band*) maupun dengan menggunakan komposit. Dengan menggunakan pita tunggal proses pengenalan objek pada citra akan sangat terbatas karena interpretasi kita hanya dibantu oleh satu pita tanpa memperhitungkan pita

yang lain. Disamping warna yang dihasilkan hanya satu warna (misalnya *greyscale*) sehingga akan sulit dalam proses pengenalan objek.

Berbagai kelemahan di atas dapat diatasi dengan membuat komposit citra. Komposit dilakukan dengan menggabungkan 3 pita dari citra satelit untuk menghasilkan citra baru. Citra baru ini akan mempunyai warna yang lebih bagus sehingga akan sangat membantu dalam proses pengenalan objek. Disamping itu, kita juga dapat mengombinasikan berbagai macam pita sesuai dengan tujuan interpretasi yang dilakukan. Hal tersebut dikarenakan masing-masing pita akan mempunyai interaksi yang berbeda dengan objek, sehingga dengan mengombinasikan pita tertentu diharapkan akan dapat memperjelas objek yang akan diinterpretasi.

Pembuatan citra komposit tidak hanya dilakukan dengan satu kombinasi, melainkan dengan beberapa kombinasi untuk dapat digunakan dalam pengenalan objek secara jelas. Sebagai contoh, komposit 321 yang merupakan komposit *natural color*, mudah diinterpretasi secara umum karena pola ketampakan yang hampir sama dengan pola ketampakan yang sebenarnya. Untuk mendeliniasi tutupan vegetasi secara lebih mudah dapat digunakan kombinasi saluran 432 yang merupakan komposit *false color*. Pada komposit ini, area yang bervegetasi akan ditampilkan dengan warna merah, semakin tinggi kerapatan vegetasinya, warna merah semakin gelap. Kombinasi 457 dapat digunakan untuk identifikasi daerah perairan dan daratan secara tegas.



Gambar 3.3 Citra Hasil Komposit Kanal 321 RGB (*Red, Green, Blue*)
pada Wilayah Kepulauan Spermonde, Selat Makassar

Klasifikasi citra merupakan sebuah algoritme yang digunakan untuk memperoleh informasi tematik dengan cara mengelompokkan suatu fenomena/objek berdasarkan kriteria tertentu. Asumsi awal yang harus diperhatikan sebelum melakukan klasifikasi multispektral adalah bahwa setiap objek dapat dikenali dan dibedakan berdasarkan nilai spektralnya. Salah satu contoh hasil klasifikasi multispektral adalah peta penutup lahan yang memberikan informasi mengenai jenis penutup lahan (vegetasi kerapatan tinggi yang berasosiasi dengan hutan, semak belukar, tubuh air, vegetasi kerapatan rendah, lahan terbangun, dan lainnya). Secara umum, metode klasifikasi terbagi menjadi dua, yaitu klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised classification*) dan klasifikasi terbimbing (*supervised classification*).

- Klasifikasi tidak Terbimbing

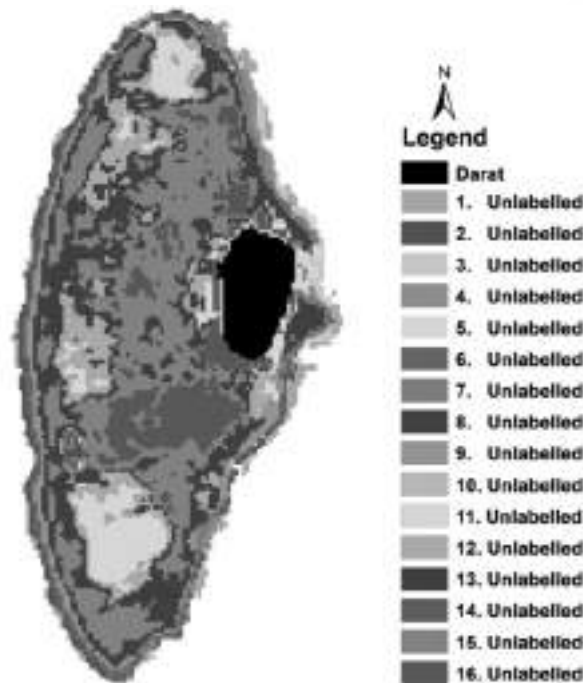
Klasifikasi tidak terbimbing merupakan metode yang memberikan mandat sepenuhnya kepada sistem komputer untuk mengelompokkan data raster berdasarkan nilai digitalnya masing-masing, intervensi pengguna dalam hal ini diminimalisasi. Jenis metode ini digunakan bila kualitas citra sangat tinggi dengan distorsi atmosferik dan tutupan awan yang rendah. Namun, dalam banyak kasus, terlepas dari kondisi citra yang bersangkutan, metode ini banyak digunakan untuk memberikan gambaran kasar atau informasi awal.

Klasifikasi tidak terbimbing secara otomatis akan mengategorikan semua piksel menjadi kelas-kelas dengan menampilkan spektral atau karakteristik spektral yang sama. Hasil klasifikasi dipengaruhi oleh parameter-parameter yang kita tentukan dalam kotak dialog klasifikasi tidak terbimbing. Klasifikasi ini akan menghitung secara statistik untuk pembagian data set menjadi kelas-kelas sesuai dengan jumlah kelas yang kita inginkan. Kelas yang akan ditampilkan adalah kelas terumbu karang dan objek-objek yang lain.

Klasifikasi tidak terbimbing menggunakan algoritme untuk mengkaji atau menganalisis besar piksel yang tidak dikenal dan membaginya dalam sejumlah kelas berdasarkan pengelompokkan nilai digital citra proses. Pengelompokkan kelas ini berdasarkan kedekatan warna (*homogeny*) atau mendekati sama pada interval tertentu.

- Klasifikasi Terbimbing

Klasifikasi terbimbing merupakan metode yang dipandu dan dikendalikan sebagian besar atau sepenuhnya oleh pengguna dalam proses pengklasifikasiannya. Intervensi pengguna dimulai sejak penentuan *training area* hingga tahap pengklasterannya. Klasifikasi terbimbing dalam hal ini mensyaratkan kemampuan pengguna dalam penguasaan informasi lahan terhadap areal kajian.



Gambar 3.4 Contoh Klasifikasi Tidak Terbimbing untuk Perairan Dangkal di Pulau Pajeneang, Kepulauan Spermonde (Citra Sentinel-2A, Akusisi 01 Maret 2017)

4. Uji Ketelitian

Ketelitian klasifikasi adalah ketepatan dan keakuratan peta dalam pendeteksian dan pengidentifikasian suatu objek. Uji ketelitian ini mengikuti kaidah Short (1982) yang telah disarankan oleh Sutanto (1999) dengan tahapan: 1) melakukan pengecekan lapangan pada beberapa titik sampel yang dipilih dari setiap kelas berdasarkan homogenitas ketampakannya dan diuji kebenarannya di lapangan, 2) menilai kecocokan hasil analisis citra inderaja dengan kondisi sebenarnya di lapangan, dan 3) membuat matriks perhitungan setiap kesalahan

(*confusion matrix*) pada setiap jenis tutupan dasar perairan dari hasil analisis data digital citra satelit, sehingga diketahui tingkat ketelitiannya. Ketelitian analisis dibuat dalam beberapa kelas yang dihitung dengan metode Short dalam Sutanto (1999):

Tabel 3.1 Matriks Uji Ketelitian Klasifikasi Citra

Survei Lapangan	Hasil Interpretasi					Jumlah	Omisi	Ketelitian Keseluruhan Interpretasi %
	A	B	C	D	Kelas V			
A								
B								
C								
D								
Jumlah								
Komisi								

Sumber : Short dalam Sutanto (1999) dengan perubahan

Komisi : Jumlah semua piksel X pada lajur X

Omisi : Jumlah semua piksel bukan X pada baris X

Rumus ketelitian interpretasi (K_p):

$$K_p = \frac{\text{Jumlah pixel } x \text{ yang betul}}{\text{jumlah pixel } x \text{ yang betul} + \text{jumlah omisi pixel } x + \text{jumlah komisi pixel } x} \dots\dots (3.1)$$

3.2.2 Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Ekosistem Pesisir

a. Ekosistem Mangrove

Menurut Lo (1996), aplikasi baru dari penginderaan jauh multispektral telah menitikberatkan pada estimasi jumlah dan distribusi vegetasi. Estimasi didasarkan pada dari kanopi vegetasi. Intensitas tergantung pada panjang gelombang yang digunakan dan tiga komponen vegetasi, yaitu daun, substrat, dan bayangan.

Daun memantulkan dengan lemah pada panjang gelombang biru dan merah. Namun, memantulkan dengan kuat pada panjang gelombang inframerah dekat. Daun juga memiliki karakteristik warna hijau, di mana klorofil mengabsorpsi spektrum radiasi merah dan biru serta memantulkan spektrum radiasi hijau.

Menurut Susilo (2000) penginderaan jauh untuk vegetasi mangrove didasarkan atas dua sifat penting, yaitu mangrove mempunyai zat hijau daun (klorofil) dan mangrove tumbuh di pesisir. Dua hal ini akan menjadi pertimbangan penting di dalam mendeteksi mangrove melalui satelit. Sifat optik klorofil sangat khas, yaitu klorofil menyerap spektrum sinar merah dan memantulkan dengan kuat spektrum inframerah.

Klorofil fitoplankton yang berada di air laut dapat dibedakan dari klorofil mangrove karena sifat air yang sangat menyerap spektrum inframerah. Tanah, pasir, dan batuan juga memantulkan inframerah, tetapi bahan-bahan ini tidak menyerap spektrum sinar merah sehingga tanah dan mangrove secara optik juga dapat dibedakan. Beberapa aspek lingkungan mangrove yang dapat dipelajari dengan menggunakan penginderaan jauh adalah spesies mangrove dan identifikasi zonasi, perubahan tata guna lahan mangrove, keberadaan mangrove dan distribusinya, serta lingkungan fisik mangrove (Hartono, 1994).

Chaudhury (1985) menjelaskan bahwa informasi lebih lanjut yang dapat diperoleh dari penginderaan jauh untuk studi ekosistem mangrove adalah:

1. Identifikasi dan kuantifikasi hutan mangrove;
2. Identifikasi dan ketampakan zona (tipe-tipe vegetasi) di daerah mangrove;
3. Identifikasi keberadaan dan profil dataran berlumpur;
4. Monitoring proses-proses dinamis (akresi, erosi) di lingkungan mangrove;
5. Monitoring sedimentasi laut lepas, ekspor bahan organik, dan sistem aliran;
6. Identifikasi tipe-tipe tanah;
7. Monitoring karakteristik air (contoh: salinitas, turbiditas) di daerah mangrove;
8. Monitoring tata guna lahan mangrove (contoh: akuakultur, kehutanan); dan
9. Monitoring perubahan aktivitas penggunaan lahan di daerah mangrove.

Indeks vegetasi yang dapat diperoleh dari citra satelit dan *digital airborne data* untuk area mangrove menunjukkan hubungan yang dekat dengan Indeks Luas Daun (*Leaf Area Index* atau LAI) dan persentase penutupan kanopi mangrove. LAI didefinisikan sebagai area daun pada satu sisi tunggal daun di tiap unit area.

LAI dapat digunakan untuk memprediksi pertumbuhan buah dan pemantau perubahan kanopi yang diakibatkan oleh polusi serta perubahan iklim. LAI dapat digunakan untuk mengetahui status dan produktivitas ekosistem mangrove. Sama halnya dengan LAI, penutupan kanopi juga digunakan untuk mengukur densitas pohon (Green *et al.*, 2000).

Menurut Lo (1996), spektral dari kanopi vegetasi bervariasi menurut panjang gelombang, karena adanya sifat *hemispheric* dari individu daun. Daun terbentuk dari tiga lapisan bahan organik serat yang berstruktur, dimana tiga lapisan tersebut mempunyai pigmen, kandungan air, dan ruang udara. Ketiga sifat tersebut memengaruhi sifat, penyerapan, dan transmisi.



Gambar 3.5 Peta Sebaran Mangrove yang ada di Teluk Ambon

Indeks vegetasi adalah persentase pemantulan radiasi matahari oleh permukaan daun yang berkorelasi dengan konsentrasi klorofil. Jadi, banyaknya konsentrasi klorofil yang terkandung dalam suatu permukaan tanaman khususnya daun, akan menunjukkan tingkat kehijauan tanaman tersebut. Pemantauan

indeks vegetasi ini didasarkan pada karakteristik objek. Pada panjang gelombang inframerah dekat nilai dari objek (vegetasi) tinggi, sedangkan pada selang panjang gelombang merah nilainya rendah. Jika kedua kanal ini dikombinasikan, akan menghasilkan data dengan tingkat yang dapat merespons terhadap kehijauan vegetasi (Lillesand dan Kiefer, 1990).

Fanani (1992) menyatakan bahwa dengan memahami perbedaan intensitas radiasi tenaga elektromagnetik yang dipantulkan dan dipancarkan, maka akan dapat diidentifikasi jenis pohon atau tegakan hutan, umur, kesehatan, kerapatan, serta tekanan kelembapan dari suatu kelompok hutan.

b. Terumbu Karang

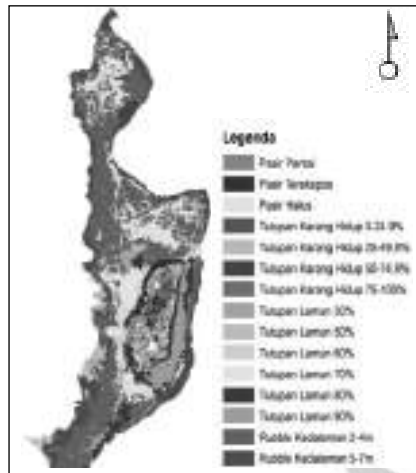
Teknologi penginderaan jauh dapat diimplikasikan ke bidang kelautan khususnya dalam pendeteksian objek di dasar perairan dangkal (terumbu karang). Pemantauan terumbu karang hingga sampai pada penilaian kondisi terumbu karang memang sangat dimungkinkan, akan tetapi metode yang dilakukan masih dalam taraf pengembangan. Pada saat ini, teknologi penginderaan jauh hanya dapat membantu memberikan data penyebaran dan kondisi secara umum saja. Pada awalnya, pemanfaatan penginderaan untuk memantau wilayah perairan dangkal dilakukan oleh Smith, *et al.* in Jupp, *et al.* (1985), yaitu dengan menggunakan citra satelit Landsat-MSS. Mereka dapat memetakan kawasan biofisik terumbu karang dan menginventarisasi sumber daya alam di Great Barrier Reef Australia. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa terumbu karang mudah dipantau dengan menggunakan kanal 4 dan kanal 5, sedangkan penggunaan kanal 6 dan kanal 7 pada citra Landsat-MSS cocok untuk delineasi pulau pasir terumbu (*sand clay*), gobah (*lagoon*), dan rata-rata terumbu (*reef flat*) (Siswandono, 1987).

Adanya teknologi penginderaan jauh memudahkan peneliti untuk mengamati dan mengelola terumbu karang, terutama pada negara kepulauan. Teknologi ini juga dapat mengidentifikasi beberapa variabel lingkungan yang menjadi indikator potensi dari distribusi sumber daya alam dan keuntungannya seperti terumbu karang, lamun, dan alga (Radiarta *et al.*, 2002). Pemetaan terumbu karang menggunakan citra satelit sumber daya alam merupakan alternatif yang dapat dikedepankan dengan melihat kenyataan bahwa pengamatan objek bawah air dapat dilakukan melalui citra pada kondisi air laut yang jernih dan mempunyai karakteristik yang homogen (Priyono, 2007).

Pemetaan terumbu karang menggunakan citra satelit tidaklah tanpa keterbatasan. Berdasarkan teori transfer radiasi, kemampuan penetrasi panjang gelombang tampak biru pada kedalaman 20 meter hanya sekitar 60% (Engman and Gurney, 1991). Menurut Purwadhi (2001), penelitian dengan menggunakan metode dan data tertentu perlu dilakukan uji ketelitian atau validasi data, karena hasil uji ketelitian memengaruhi besarnya tingkat kepercayaan pengguna terhadap setiap jenis data maupun metode analisisnya. Hal ini juga dilakukan untuk membuktikan kesesuaian antara klasifikasi citra dengan data lapangan yang didapat. Perhitungan akurasi data dilakukan dengan membuat matriks kontingensi, yang disebut *confusion matrix* dan didapat dengan cara membandingkan perhitungan titik sampel di lapangan (*groundtruth*) dengan data hasil klasifikasi citra (jumlah pikselnya). Nilai ketelitian yang diharapkan nantinya harus memenuhi syarat lebih besar dari 70, sehingga dari nilai yang didapatkan tersebut terdapat pembuktian atas nilai validitas data citra.

Citra satelit merupakan salah satu sumber data spasial yang dapat digunakan untuk penginderaan jarak jauh. Banyak satelit penginderaan jauh yang dapat digunakan untuk melihat penutupan lahan, salah satunya adalah satelit LANDSAT 7 – ETM+. Penginderaan jauh untuk terumbu karang memanfaatkan sifat radiasi elektromagnetik pada daerah spektrum sinar tampak. Spektrum ini dapat menembus air sehingga dapat mendeteksi terumbu karang yang berada di bawah permukaan air. Secara kasar, spektrum sinar tampak dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu spektrum sinar biru (panjang gelombang kecil), sinar hijau (panjang gelombang sedang) dan sinar merah (panjang gelombang besar). Semakin kecil panjang gelombang, maka spektrum sinarnya akan semakin dalam menembus air.

Parameter lain yang dapat dilihat dari penginderaan jauh, yaitu materi dasar perairan. Untuk dapat memetakan perairan dangkal dan terumbu karang dapat digunakan kombinasi tiga kanal sinar tampak, yaitu: band 1 (0,45 – 0,52 μm) dan band 2 (0,52 – 0,60 μm), serta band 3 (0,61 – 0,73 μm) dari citra satelit LANDSAT 7 – ETM+, sehingga karakteristik perairan karang dapat diidentifikasi. Perkembangan algoritme ini didasarkan pada Model Pengurangan Eksponensial (*Standard Exponential Attenuation Model*) yang merupakan teori dari Lyzenga (1978) dan teori ini merupakan salah satu cara untuk menonjolkan objek dasar perairan (Siregar, 1996).



Gambar 3.6 Peta Tutupan Ekosistem Terumbu Karang di Pulau Kambuno Menggunakan Hasil Klasifikasi (Citra *Quickbird*, Akusisi 11 Mei 2010)

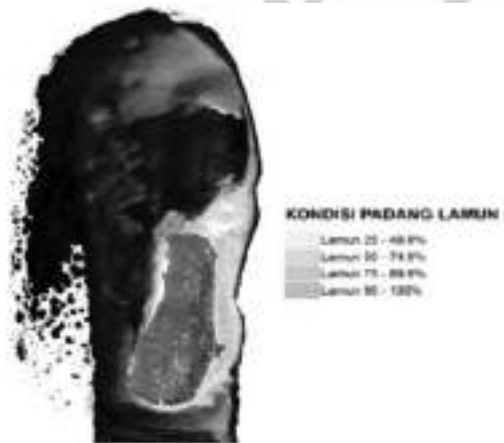
Pada citra LANDSAT 7 ETM+ pendugaan awal daerah yang mempunyai substrat karang dapat dilihat dari penampakan citra dengan menggunakan komposit RGB 542, RGB 421, dan RGB 321. Terumbu karang dapat diidentifikasi menggunakan citra Landsat komposit kanal 421 dan 543 dengan penajaman *equalization histogram* dan *autoclip*. Identifikasi terumbu karang ini dapat memberikan informasi karakteristik fisik terumbu karang. Pada dasarnya penajaman dengan ketiga citra komposit tersebut hanya sekedar memberikan gambaran umum tentang keberadaan terumbu karang. Informasi ini merupakan data dasar untuk pengelolaan terumbu karang. Rentangan perbedaan warna pada citra hasil transformasi algoritme Lyzenga menunjukkan banyaknya kelas yang ada pada substrat perairan. Banyaknya kelas tersebut juga terlihat pada histogram yang diwakili oleh puncak-puncak nilai piksel yang dominan, yaitu dengan sebaran nilai antara 10,200 sampai 11,252. Untuk nilai digital piksel tiap-tiap substrat dasar perairan tersebut adalah: karang hidup 10,786 – 10,933; karang mati 10,933 – 11,057; lamun 11,057 – 11,2; dan pasir > 11,2 (Hazmi, 2002).

c. Padang Lamun

Penggunaan penginderaan jauh (*remote sensing*) untuk studi pemetaan lamun mempunyai banyak kelebihan jika dibandingkan dengan cara konvensional menggunakan metode survei 'in situ', yang secara spasial hanya dapat mencakup wilayah sempit. Teknologi *remote sensing* memiliki kelebihan, yakni: 1) mampu

merekam data dan informasi secara luas, berulang dengan data multitemporal, yang bermanfaat untuk mendeteksi perubahan struktur komunitas serta kesehatan suatu ekosistem seperti karang dan lamun (Mumby *et al.*, 2004); 2) memiliki banyak saluran/kanal/band, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis berbagai tujuan dengan memanfaatkan kekhususan setiap bandnya; 3) dapat menjangkau daerah yang sulit didatangi manusia dan kapal (Kutser *et al.*, 2003); 4) data berbentuk digital, sehingga mudah dianalisis menggunakan computer; dan 5) harga dari informasi yang didapat relatif lebih murah (Mumby *et al.*, 1999).

Penelitian mengenai pemetaan dan monitoring ekosistem perairan dangkal (karang dan lamun) telah banyak menggunakan data citra satelit. Pemetaan lamun dengan menggunakan penginderaan jarak jauh (*remote sensing*) jika dikombinasikan dengan analisis Sistem Informasi Geografi (SIG) akan sangat bermanfaat bagi pengambil kebijakan terutama di dalam mengelola wilayah pesisir secara terpadu.



Gambar 3.7 Peta Tutupan Padang Lamun di Pulau Kambuno Menggunakan Hasil Klasifikasi Citra *Quickbird* Tahun 2012

3.2.3 Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Kualitas Perairan

a. Padatan Tersuspensi

Padatan tersuspensi merupakan material yang terangkut oleh suatu aliran secara keseluruhan dan dibawa oleh badan air yang bergerak. Material padatan tersuspensi dapat berupa bahan organik maupun anorganik. Bahan organik dapat berasal dari hewan dan tumbuhan seperti plankton, sedangkan bahan anorganik

dapat berasal dari pelapukan batuan. Karena perbedaan sifat penyerapan dan penghamburannya maka jenis padatan yang terkandung dalam suspensi ikut menentukan kemampuan penetrasi cahaya (intensitas cahaya) di suatu perairan. Dengan demikian, maka tinggi rendahnya nilai koefisien atenuasi cahaya, kecerahan, dan fotosintesis oleh fitoplankton juga turut ditentukan oleh jenis padatan yang tersuspensi pada kolom air.

Bahan-bahan yang dapat mencemari lingkungan perairan dapat berasal dari material organik maupun anorganik. Parameter pencemaran biasanya saling terkait antara satu parameter dengan parameter lainnya. Padatan tersuspensi adalah semua zat padat atau partikel dengan ukuran lebih besar $1 \mu\text{m}$ yang tersuspensi di dalam air yang mengakibatkan menurunnya kualitas air hingga air tersebut tidak bisa digunakan sesuai dengan peruntukannya.

Dalam memetakan Muatan Padatan Tersuspensi (MPT) yang diturunkan dari citra Landsat-7 ETM+ tahun 2013, dimana perhitungan MPT diaplikasikan langsung pada nilai digital dari citra Landsat. Tahapan pemetaan TSM didahului dengan metode *thresholding*/ambang batas untuk memisahkan antara lautan dengan objek lainnya (awan, bayangan awan, dan daratan), kemudian konsentrasi MPT dihitung melalui jumlah band 1, 2, 3, dan 4 diakhiri dengan memisahkan nilai MPT menjadi beberapa kelas dengan proses penyayatan/pemisahan kepadatan (*density slice*).



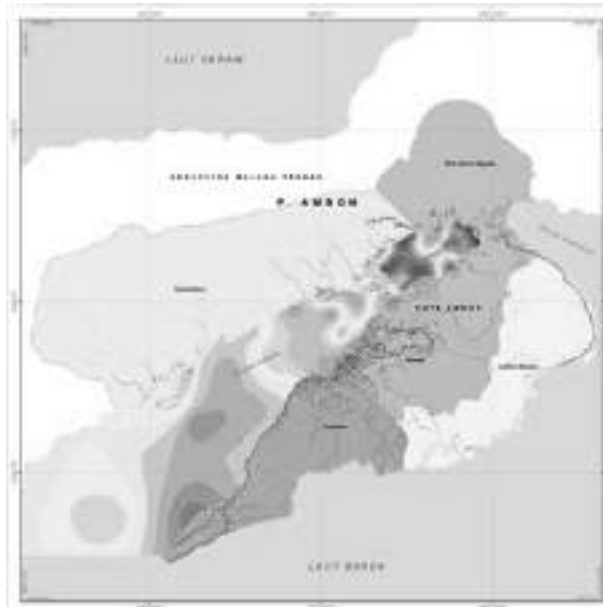
Gambar 3.8 Sebaran Padatan Tersuspensi yang Ada di Teluk Ambon Menggunakan Hasil Analisis Citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2013

b. Salinitas

Salinitas adalah berat garam dalam gram per kilogram air laut, dengan satuan per miligram per liter (‰). Sebaran salinitas di laut dipengaruhi berbagai faktor seperti pola sirkulasi air, penguapan, curah hujan, dan aliran sungai. Salinitas merupakan parameter yang berperan dalam lingkungan ekologi laut. Beberapa organisme ada yang tahan terhadap perubahan salinitas yang lebih besar adapula yang tahan terhadap perubahan salinitas yang kecil (Nybakken, 1998).

Sebelum melakukan perhitungan nilai konsentrasi reflektan dan salinitas perlu dilakukan pengklasifikasian untuk memisahkan objek antara awan, darat, dan laut. Pemisahan ini menggunakan perbandingan nilai kanal 2 terhadap kanal 1 dengan mengikuti ketentuan sebagai berikut (O'Reilly *et al.*, 1998): Jika $i1/i2 < 1,3$, maka objeknya adalah laut. Jika $i1/i2 \geq 1,3$ dan $i1/i2 < 2$, maka objeknya adalah awan. Jika $i1/i2 \geq 2$, maka objeknya adalah darat. Dimana $i1$ = Input kanal 1, dan $i2$ = Input kanal 2. Metodologi pendugaan konsentrasi nilai reflektan dan salinitas dengan satelit indera pada kenyataannya bahwa pigmen aktif fitoplankton menyerap cahaya biru dan merah pada spektrum cahaya tampak. Makin besar konsentrasi reflektan dan salinitas di perairan, maka cahaya hijau relatif semakin besar pula dipantulkan oleh permukaan air.

Pada perhitungan nilai reflektan berdasarkan data FY-ID diperlukan suatu model hubungan antara konsentrasi reflektan dan salinitas dengan data kanal FY-ID. Untuk menyusun suatu pendugaan konsentrasi salinitas berdasarkan data FY-ID ini perlu diperhatikan kanal yang aktif (sensitif) terhadap nilai reflektan dan salinitas yang diamati. Dengan perbandingan antara radiasi kanal-kanal sensor yang mempunyai absorpsi tinggi (sekitar cahaya biru = 430 – 480) dengan kanal-kanal sensor yang mempunyai absorpsi rendah (sekitar 480 – 530). Perhitungan nilai reflektan dimaksudkan untuk mendapatkan nilai konsentrasi salinitas dengan menggunakan algoritme *ocean color 4* atau OC4-V4 (O'Reilly *et al.*, 1998).



Gambar 3.9 Sebaran Salinitas yang Ada di Perairan Teluk Ambon Berdasarkan Survei Lapangan Tahun 2013

c. Suhu

Di perairan dangkal, lapisan homogen bisa mencapai kedalaman hingga ke dasar. Lapisan permukaan laut yang hangat terpisah dari lapisan dalam yang dingin oleh lapisan tipis dengan perubahan suhu yang cepat disebut termoklin atau lapisan diskontinuitas suhu. Suhu pada lapisan permukaan adalah seragam karena pencampuran oleh angin dan gelombang sehingga lapisan ini dikenal sebagai lapisan pencampuran (*mixed layer*).

Menurut Nontji (2005), suhu perairan nusantara pada bagian permukaan umumnya berkisar antara 28 – 31°C. Perubahan musim SPL di Indonesia biasanya tidak lebih dari 3°C. Suhu tertinggi 30°C umumnya terjadi pada bulan April – Mei, sedangkan suhu terendah 27°C pada bulan Desember dan Januari. Suhu air di dekat pantai biasanya sedikit lebih tinggi daripada di lepas pantai. Bagian Goba (*lagoon*) yang dangkal biasanya dijumpai suhu yang panas pada waktu siang hari, kadang-kadang mencapai 3°C. Ekstraksi data SPL dilakukan dengan menggunakan kanal 31 dan 32 pada MODIS dengan menerapkan algoritme Brown and Minnet (1999):

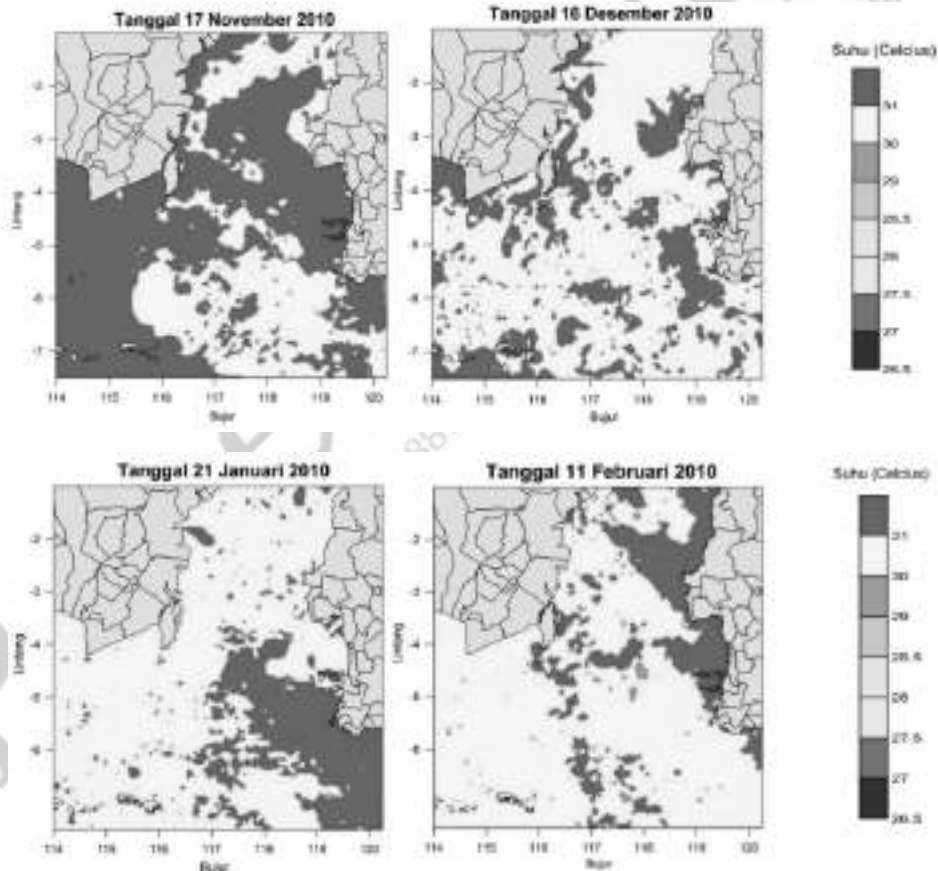
$$SST = c1 + c2 * T_{31} + c3 * T_{31-32} + c4 * (\sec \Theta - 1) * T_{31-32} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana:

T_{31}, T_{32} : Brightness temperatur dari kanal 31 dan kanal 32

Θ : Sudut zenith satelit

Contoh sebaran suhu di perairan Selat Makassar berdasarkan hasil olahan citra satelit MODIS level 1 terlihat bahwa pola sebaran SPL secara spasial di perairan Selat Makassar menunjukkan pola penyebaran yang berbeda. Namun, walaupun pola tiap bulannya berbeda tapi secara umum, variabilitas suhu di perairan Selat Makassar tidak terlalu berbeda jauh atau nilai yang terlihat relatif homogen. Kisaran suhu yang terlihat berkisar antara 26 – 31°C.



Gambar 3.10 Pola Sebaran SPL secara Spasial pada Musim Barat di Selat Makassar Tahun 2010

Secara spasial terlihat bahwa pola penyebaran SPL di bagian selatan perairan Selat Makassar pada bulan Desember – Februari (musim barat) memperlihatkan penyebaran suhu yang relatif tinggi, yaitu berada pada kisaran 29 – 31°C. Kisaran suhu yang relatif tinggi ini masih terlihat pula pada periode bulan Maret – April (musim peralihan I).

d. Klorofil-a

Klorofil-a berkaitan erat dengan produktivitas yang ditunjukkan dengan besarnya biomassa fitoplankton yang menjadi rantai pertama makanan ikan pelagis. Menurut Valiela (1984), produktivitas primer perairan pantai melebihi 60% dari produktivitas yang ada di laut.

Pengolahan data citra dapat dilakukan dengan cara mengunduh citra klorofil-a MODIS level 1 wilayah perairan Selat Makassar. Citra yang ada kemudian dipotong wilayahnya (*cropping*) dengan menggunakan perangkat lunak *modis project*. Wilayah yang dipotong adalah wilayah yang berada pada posisi antara 01°00'00" – 07°50'07" LS dan posisi 114°27'96" – 120°47'35" BT. Hasil pemotongan diolah dengan menggunakan perangkat lunak *modis browser* dan keluaran yang diinginkan berupa data ASCII (*.asc) yang didalamnya terdiri dari variabel bujur, lintang, dan nilai estimasi klorofil-a. Ekstraksi data SPL dilakukan dengan menggunakan kanal 31 dan 32 pada modis dengan menerapkan algoritme OC3M (O'Reilly *et al.*, 2000):

$$C_a = 10^{0.283-2.753R+1.437R^2-0.619R^3-1.403R^4}, R = \log_{10}(R_{rs443}/R_{rs488}/R_{rs551}) \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana:

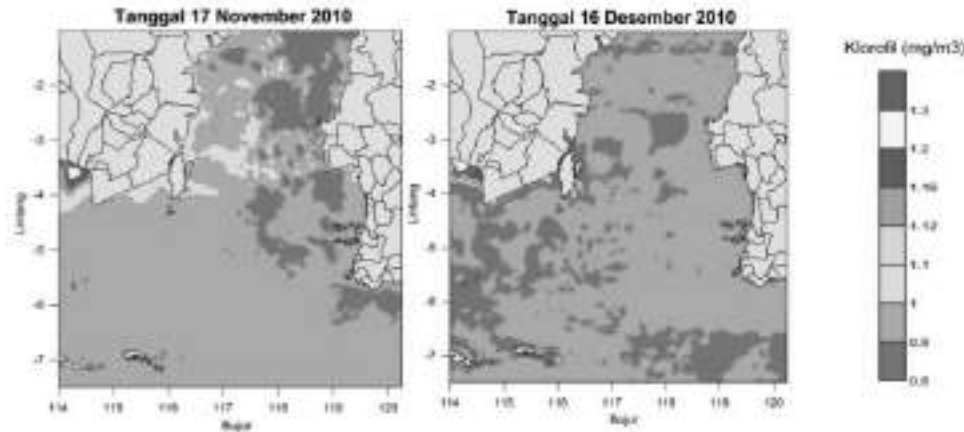
C_a : Konsentrasi klorofil-a (mg/m³)

R : Rasio reflektansi

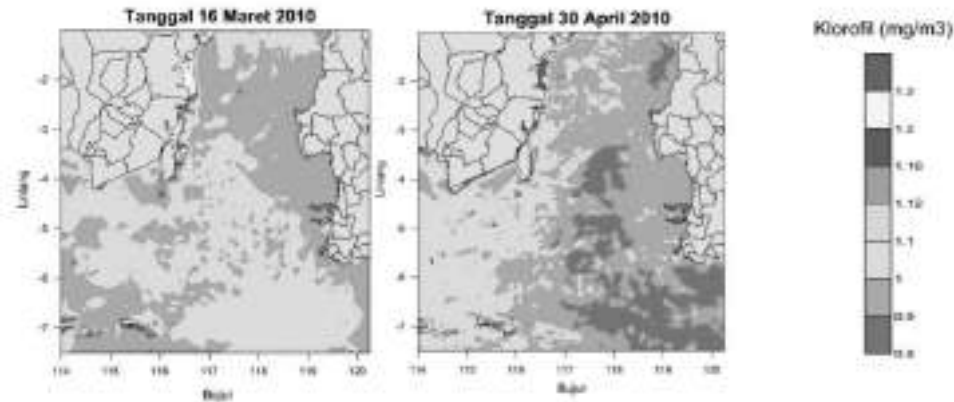
R_{rs} : *Remote sensing reflectance*

Berdasarkan hasil olahan citra MODIS level 1 diperoleh pola sebaran konsentrasi klorofil-a perairan Selat Makassar. Secara spasial, tingkat konsentrasi klorofil-a terlihat berbeda untuk setiap musim. Pada musim barat, yaitu pada periode bulan November – Februari terlihat bahwa tingkat konsentrasi klorofil-a di perairan Selat Makassar rata-rata lebih rendah jika dibandingkan dengan musim lainnya. Namun, tingkat konsentrasi yang relatif tinggi ditemui di daerah

pesisir. Hal ini diduga karena adanya pengaruh masukan nutrisi dari daratan yang disebabkan oleh tingkat curah hujan yang relatif tinggi pada musim ini sehingga memberikan kontribusi peningkatan konsentrasi klorofil-a di wilayah pesisir. Pada periode bulan April – Mei (musim peralihan I) pola sebaran konsentrasi klorofil-a secara spasial rata-rata sama dengan musim barat.



Gambar 3.11 Pola Sebaran Konsentrasi Klorofil-a secara Spasial pada Musim Barat di Selat Makassar Tahun 2010



Gambar 3.12 Pola Sebaran Konsentrasi Klorofil-a secara Spasial pada Musim Peralihan I Selat Makassar Tahun 2010

3.2.4 Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Penggunaan Lahan Pesisir

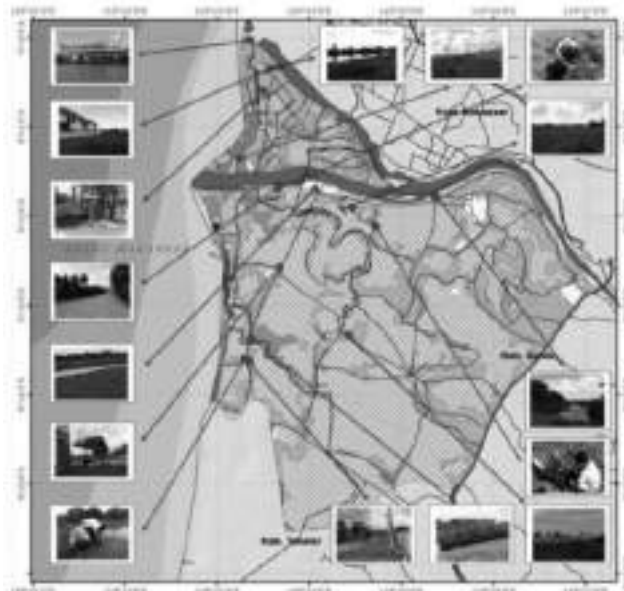
Inventarisasi penggunaan lahan penting dilakukan untuk mengetahui apakah pemetaan lahan yang dilakukan oleh aktivitas manusia sesuai dengan potensi ataupun

daya dukungnya. Penggunaan lahan yang sesuai akan memperoleh hasil yang baik, tetapi lambat laun hasil yang diperoleh akan menurun sejalan dengan menurunnya potensi dan daya dukung lahan tersebut. Integrasi teknologi penginderaan jauh merupakan salah satu bentuk yang potensial dalam penyusunan arahan fungsi penggunaan lahan. Dasar penggunaan lahan dapat dikembangkan untuk berbagai kepentingan penelitian, perencanaan, dan pengembangan wilayah.

Salah satu pemanfaatan penginderaan jauh tersebut adalah sistem informasi geografi. Citra yang diperoleh melalui penginderaan jauh merupakan data dasar atau input yang selanjutnya diolah dan disajikan oleh sistem informasi geografi. Posisi data dari citra penginderaan jauh dapat dikoreksi kembali dalam sistem informasi geografi. Dengan demikian, integrasi antara data penginderaan jauh dengan sistem informasi geografi akan diperoleh informasi yang optimal sebagai data pemanfaatan wilayah.

Pemetaan penggunaan lahan dan penutup lahan sangat berhubungan dengan studi vegetasi, tanaman pertanian, dan tanah dari biosfer. Karena data penggunaan lahan dan penutup lahan sangatlah penting untuk sebuah perencanaan. Lahan merupakan material dasar dari suatu lingkungan yang berkaitan dengan sejumlah karakteristik alami, yaitu iklim, geologi, tanah, topografi, hidrologi, dan biologi.

Manfaat dari menggunakan RS dan teknologi GIS tergantung pada tingkat keberhasilan penerapannya untuk menyelesaikan masalah spasial. Secara umum, manfaat ini dapat dibagi menjadi empat kategori seperti efisiensi ilmiah, teknologi, metodologi, dan ekonomi. Efisiensi ilmiah penginderaan jauh data termasuk memperoleh sebuah fakta-fakta baru untuk menguatkan dan mengklarifikasi. Sebelumnya dikenal juga dengan data kuantitatif dan kualitatif yang telah dipelajari. Teknologi efisiensi berarti peningkatan produktivitas kerja (terutama lapangan pekerjaan yang paling mahal), membuat norma-norma untuk lapangan dan mempercepat proses pemetaan kebun, mengurangi volume lapangan, dan memperpendek waktu yang diperlukan untuk survei.



Gambar 3.13 Sebaran Penggunaan Lahan Pesisir Wilayah Selatan DAS Jeneberang

3.3. Data Hiperspektral

Teknologi hiperspektral (*hyperspectral technology*) yang juga dikenal dengan istilah *imaging spectrometer* merupakan kelanjutan dari teknologi multispektral (*multispectral*). Sistem penginderaan jauh *hyperspectral* merupakan paradigma baru dalam dunia penginderaan jauh. Teknik ini menggunakan sejumlah *hypersensor* alias berlebih sehingga hasil yang didapat lebih detail dan akurat. Untuk kebutuhan bidang pertanian misalnya, dari satelit dapat dikumpulkan data detail mengenai lokasi rawan hama, lokasi panen, rawan kekeringan, rawan banjir, sampai pendugaan umur tanaman, dan penentuan jenis tanaman. Sementara di bidang pertambangan, teknologi ini mampu mengidentifikasi jenis-jenis material tambang (mineral).

Beberapa dekade yang lalu, teknologi *hyperspectral* hanya dikenal kalangan para peneliti dan pakar. Dengan munculnya sistem *airborne hyperspectral imaging comercial*, teknologi *hyperspectral* telah siap untuk memasuki arus utama penginderaan jauh. Dengan teknologi ini, kita akan banyak terbantu dalam pekerjaan atau penelitian yang terkait dengan manajemen SDA, pertanian, eksplorasi mineral, dan monitoring lingkungan. Banyak manfaat yang ditawarkan oleh teknologi ini, akan tetapi pemanfaatannya memerlukan pemahaman terhadap data alam dan berbagai strategi pemrosesan serta interpretasi dari citra tersebut.

Teknologi penginderaan jauh (inderaja) *hyperspectral* yang merupakan pengembangan teknologi inderaja terkini memiliki beberapa keunggulan yang sangat nyata dibanding teknologi inderaja multispektral sebelumnya. Memiliki jumlah band hingga ratusan kanal, membuat teknologi ini sangat memungkinkan untuk dikaji secara lebih rinci dalam memantau vegetasi pada umumnya, maupun yang lebih khusus seperti untuk memantau pertumbuhan dan perkembangan kondisi tanaman padi. Teknologi inderaja memiliki potensi untuk memberikan informasi tentang tanaman pertanian secara kuantitatif dan cepat, tanpa merusak tanaman itu sendiri di daerah cakupan yang sangat luas. Selain itu juga karena inderaja dapat memberikan informasi tentang status sebenarnya dari tanaman pertanian, maka integrasi antara data inderaja dan model simulasi pertumbuhan tanaman merupakan tren penting untuk estimasi hasil dan prediksi (Huang Jing Feng *et al.*, 2002). Akan tetapi, dibalik keunggulan inderaja *hyperspectral* yang memiliki hingga ratusan band ini, terdapat beberapa kelemahan. Biaya yang cukup mahal untuk melakukan pengambilan data di lapangan, sehingga data yang terkumpul dan akan digunakan untuk analisis sangat terbatas sekali. Selain itu juga kemungkinan terdapat hubungan multikolinieritas antarband yang saling berdekatan dapat menimbulkan kutukan dimensi (*curse of dimension*), sehingga hasil analisis akan mengalami *overfitting* (Gustavo Camps-Valls *et al.*, 2005). Untuk menghindari hal tersebut maka diperlukan pengembangan metode baru untuk menganalisisnya. Instrumen yang digunakan untuk menangkap objek *hyperspectral* dikenal dengan *spectrometer imaging*. Pengembangan instrumen ini, melibatkan dua teknologi yang berbeda, yang terkait satu dengan yang lainnya. Spektroskopi (*spectroscopy*) dan *remote imaging* (penginderaan) objek dipermukaan bumi.

3.3.1 Spektroskopi

Spektroskopi adalah ilmu yang mempelajari tentang cahaya yang dipancarkan/dipantulkan oleh material atau kombinasi (campuran) antarmaterial, serta terkait dengan panjang gelombang sebagai perwakilan dari energi yang diterima/dipantulkan oleh objek. Sebagai aplikasi dalam inderaja optik, spektroskopi memanfaatkan spektrum cahaya matahari yang dipantulkan oleh material yang ada di permukaan bumi, baik yang bersifat alami maupun buatan manusia.

Instrumen dari spektroskopi ini dikenal dengan nama spektrometer (*spectrometer*) atau spektroradiometer (*spectroradiometer*), yang digunakan untuk mendapatkan informasi tentang spektrum cahaya yang dipantulkan oleh material uji yang dilakukan di laboratorium. Elemen dispersi optik (seperti prisma) yang ada pada spektrometer

membagi cahaya dalam kanal-kanal sempit, kemudian panjang gelombang yang berdekatan dan energi dari setiap kanal direkam oleh detektor-detektor. Dengan menggunakan ratusan atau bahkan ribuan detektor, spektrometer dapat mengukur spektral dari kanal yang panjang gelombangnya berkisar 0.4 – 2.4 mm (panjang gelombang dari cahaya tampak sampai inframerah tengah).

3.3.2 Nilai Reflektansi Spektral

Nilai reflektansi spektral (selanjutnya disebut spektra) merupakan perbandingan antara energi yang dipantulkan dengan energi yang sampai pada suatu objek sebagai fungsi panjang gelombang. Spektra merupakan suatu kuantitas tanpa unit yang mencakup harga dari 0 sampai 1.0, atau dapat juga dinyatakan sebagai persentase, seperti grafik di atas. Pengukuran spektra dari suatu material uji dilakukan di laboratorium, nilai energi juga diperhitungkan dalam menentukan nilai spektra dari suatu material uji. Nilai energi ini diukur secara langsung atau diperoleh dari pengukuran cahaya yang dipantulkan dari sebuah material standar yang telah diketahui nilai spektranya.

Spektra ini penting, sebagai alat bantu dalam interpretasi citra hiperspektral. Nilai spektra bervariasi terhadap panjang gelombang untuk hampir semua material sebab energi pada panjang gelombang tertentu dihamburkan atau diserap ke tingkat derajat yang berbeda. Variasi spektra akan tampak jelas ketika kita membandingkan kurva spektra dengan kurva panjang gelombang untuk material yang berbeda.

Bentuk suatu kurva spektra serta posisi dan kekuatan daya serap kanal dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan memilah material yang berbeda. Sebagai contoh, tumbuh-tumbuhan mempunyai spektra (daya pantul) lebih tinggi pada kanal inframerah dekat dan memiliki spektra lebih rendah daripada tanah (*soil*) pada band merah.

Ada banyak satelit yang memiliki sensor hiperspektral yang sudah dapat digunakan, misalnya data satelit Hyperion milik Amerika Serikat (terdiri atas 220 kanal dengan rentang panjang gelombang 400 nm – 2500 nm), data satelit CHRIS/Proba milik Eropa, serta jenis *airborne* seperti sensor (CASI, HYMAP) yang juga sudah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Pemanfaatan data penginderaan jauh hiperspektral yang dapat diperoleh secara periodik dan berkesinambungan dapat menjaga kontinuitas penyediaan informasi yang lebih akurat.

Dengan menggunakan teknologi hiperspektral, pengguna (*user*) akan mampu menyerap informasi kuantitatif mengenai objek di permukaan bumi. Walaupun demikian,

untuk dapat memahami bagaimana cara melakukan interpretasi data hiperspektral dengan baik, diperlukan pemahaman mengenai prinsip dasar mengenai sistem penginderaannya dan faktor-faktor yang memengaruhi objek. Secara umum, kualitas dari hamburan dan serapan objek di permukaan bumi akan menentukan besarnya nilai yang lebih dikenal dengan kurva spektral (*spectral signature*) (Thenkabail, P.S., et.al, 2001). Besarnya hamburan dan serapan ini sebenarnya ditentukan oleh bentuk fisik (*physiognomy*) dan ketampakan dari material, termasuk struktur dalam material tersebut dan juga komposisi kimianya.

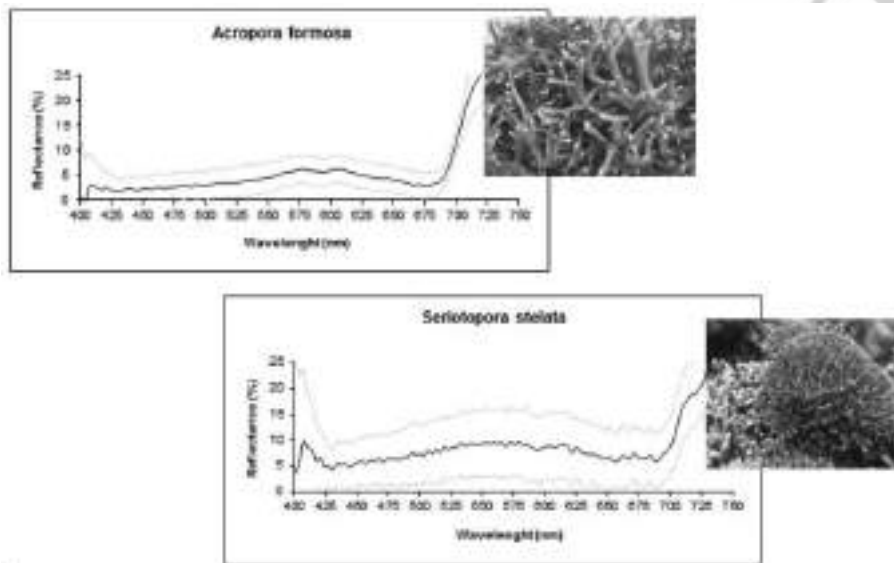
Terumbu karang merupakan lingkungan yang kompleks dari segi optik, baik secara spasial maupun temporal. Penampakan warna yang indah dan cantik merupakan gabungan sifat-sifat optik dari pigmen-pigmen tumbuhan dan hewan termasuk di dalamnya simbiosis *zooxanthellae* pada karang, karakteristik substrat, serta lapisan kolom air.

Berbagai pendekatan telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya melalui metode yang berbeda sebagai upaya pengungkapan karakteristik spektral pada komunitas terumbu karang. Misalnya, Hochberg and Atkinson (2000) menganalisis reflektansi spektral berdasarkan perbedaan spektral pada tiga komunitas yang berbeda dan secara ekologi mempunyai habitat yang luas, yakni karang, alga, dan pasir; Dustan (2000), dengan menggunakan data citra Landsat mampu mendeteksi komposisi komunitas bentik yang dominan pada terumbu karang, yakni karang, rumput laut, dan pasir; Holden et al., (2001), berhasil mengidentifikasi wilayah permukaan yang heterogen hingga homogen dengan autokorelasi spasial citra melalui asumsi bahwa karang sehat akan menunjukkan heterogenitas yang tinggi sedangkan pada karang mati hingga yang tertutupi oleh alga akan relatif lebih homogen; Mazel (2000), menggunakan instrumen *Benthic Spectrofluorometer* (BSF) yang dapat mengukur sifat-sifat optik (*fluorescence* dan reflektansinya) yang dipancarkan dan yang diterima oleh organisme bentik; dan Karen and Stuart (2003), menggunakan instrumen *Analytical Spectral Devices Field Spectrometer* untuk mengukur kapasitas fotosintesis pada karang dan alga sehingga dapat menentukan karakteristik spektral substrat terumbu karang pada kelas *Montipora sp.*, *Porites sp.*, *Macro C. Fastigiata*, dan sedimen yang berada di antara mikroalga dan menemukan respons spektral yang sangat bervariasi pada panjang gelombang 570 – 595 nm.

Karakteristik reflektansi spektral karang yang sehat dan dari jenis yang berbeda diharapkan secara optik berbeda dengan karang yang tidak sehat. Perbedaan spektral ini, didasarkan pada perbedaan warna yang dihasilkan, sebagai akibat hilangnya pigmentasi

pada karang yang mengalami pemutihan (*bleaching*) dan mengakibatkan reflektansinya lebih tinggi serta kehilangan beberapa karakteristik spektral dibanding dengan karang sehat (Dustan, 1999).

Hasil-hasil penelitian tersebut di atas menunjukkan bahwa ketampakan pada ekosistem terumbu karang dapat diidentifikasi, dipetakan, dan dipelajari berdasarkan karakteristik spektralnya meskipun hasil tersebut juga menunjukkan bahwa beberapa ketampakan tidak dapat dipisahkan secara spektral.



Gambar 3.14 Grafik Nilai Spektral Reflektansi Menggunakan Spektrometri Underwater pada Dua Jenis Karang (*Acropora Formosa* dan *Seriatopora Stielata*) yang Terdapat di Perairan Kepulauan Spermonde



BAB IV EKOSISTEM PERAIRAN DANGKAL PULAU TERLUAR BERPENGHUNI KEPULAUAN SPERMONDE

Kepulauan Spermonde berada di bagian selatan Selat Makassar, tepatnya di pesisir barat daya Pulau Sulawesi. Sebaran pulau karang yang terdapat di Kepulauan Spermonde terbentang dari utara ke selatan sejajar pantai daratan Pulau Sulawesi. Kepulauan Spermonde dikenal oleh masyarakat pulau sebagai pulau-pulau Sangkarang yang terdiri atas ± 121 pulau dan tersebar mulai dari Kabupaten Takalar di selatan hingga Mamuju di Sulawesi. Paparan Spermonde memiliki pulau-pulau yang dikenal sebagai Kepulauan Spermonde. Lokasi ini terletak di Selat Makassar, sebelah barat daya semenanjung Pulau Sulawesi dan memiliki terumbu karang yang mudah dijangkau dari Makassar, Ibukota Sulawesi Selatan. Niermeyer (1911) dalam Hoeksema (1990) mencatat bahwa beberapa terumbu batas terluar dari paparan Spermonde berada pada daerah dangkal yang disebut *Spermonde Barrier Reef*.

Kepulauan Spermonde terbagi ke dalam empat zona, dengan menarik garis dari arah utara ke selatan. Zona pertama atau zona paling dangkal, paralel terhadap garis pantai dengan kedalaman maksimum ± 20 m dan kebanyakan terumbunya didominasi oleh gusung-gusung pasir. Zona ke dua dimulai dari ± 5 km dari garis pantai pada kedalaman ± 30 m dengan terumbunya kebanyakan berada di sisi pulau-pulau yang muncul. Zona ke tiga, dimulai dari 12,5 km ke arah lepas pantai dengan kedalaman paparan $\pm 30 - 50$ m dan umumnya terumbu berada pada paparan yang dalam dengan sangat sedikit ditemukan gusung-gusung pasir. Zona ke empat atau zona terluar (*barrier reef zona*) dimulai dari jarak sekitar 30 km dari pantai Makassar. Bagian timurnya bisa mencapai kedalaman 40 – 50 m, sedangkan bagian barat dari zona ini memiliki kontur yang langsung terjal (*drop off*) hingga kedalaman lebih dari 100 m (Gambar 4.1).

Data yang digunakan, yaitu citra satelit Landsat dengan tanggal perekaman berbeda. Citra tersebut diunduh di situs *United State Geologi Survey (USGS)*. Spesifikasi citra yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi Citra yang Digunakan

No.	Satelit	Sensor	Akuisisi	Path/Row	Metode	Resolusi (m)
1	Landsat_1	MSS	1972-10-28	122/063		60
2	Landsat_3	MSS	1978-11-02	122/063		60
3	Landsat_2	MSS	1981-10-26	122/063		60
4	Landsat_4	TM	1990-12-16	114/063		30
5	Landsat_5	TM	1993-06-23	114/063		30
6	Landsat_5	TM	1996-04-28	114/063		30
7	Landsat_7	ETM	1999-09-20	114/063		30
8	Landsat_7	ETM	2002-06-24	114/063		30
9	Landsat_7	ETM	2005-09-04	114/063	gap fill	30
			2005-03-12	114/063		
10	Landsat_7	ETM	2008-08-19	114/063	gap fill	30
			2008-08-03	114/063		
11	Landsat_7	ETM+	2011-09-05	114/063	gap fill	30
			2011-09-21	114/063		
12	Landsat_8	OLI_TIRS	2013-10-04	114/063		30

Dinamika spasial penutupan dasar perairan dangkal selama 41 tahun (1972 – 2013) di pulau-pulau kecil Kepulauan Spermonde dilakukan dengan tahap-tahap: penyusunan citra komposit dengan kombinasi RGB 321 (merah, hijau dan biru); pembatasan wilayah pulau-pulau kecil terluar Kepulauan Spermonde; koreksi radiometrik; koreksi geometrik dengan menggunakan metode Transformasi Koordinat Polinomial Orde Satu. Penyesuaian proyeksi dilakukan sesuai dengan sistem proyeksi Universal Transverse Mercator (UTM); *Masking* yang dilakukan secara manual; Klasifikasi tak Terbimbing; Analisis Akurasi; dan *Ground Truth*.



Gambar 4.1 Pulau-Pulau Kecil Terluar/*Outer Zone* Berpenghuni dan Tidak Berpenghuni (Lingkaran Tinta Merah) Kepulauan Spermonde

Analisis akurasi tematis akan dilakukan dengan menggunakan metode lokasi spesifik (*site specific method*), yang menggunakan matriks eror (*error matrix*) melalui *stratified random sampling*. Persamaan berikut ini akan digunakan untuk menentukan jumlah titik sampling N:

$$N = Z^2 pq / E^2 \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana:

Z = skor standar untuk tingkat kepercayaan tertentu

p = mewakili persentase akurasi yang diharapkan dari peta tematik yang dihasilkan

q = persentase kesalahan (1-p)

E = interval kepercayaan

Jumlah titik N ini kemudian dijadikan dasar dalam pelaksanaan survei intensif (*ground truth*) untuk menguji akurasi peta dengan menggunakan matriks eror. Ada tiga parameter akurasi peta, yaitu eror komisi (*error of commission*), eror omisi (*error of omission*), dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*).

Kepulauan Spermonde merupakan salah satu wilayah penyebaran terumbu karang dan padang lamun yang luas di Indonesia. Adanya kegiatan eksploitasi sumber daya laut mengakibatkan terjadinya kerusakan terumbu karang dan padang lamun di Kepulauan Spermonde. Dinamika spasial perubahan tutupan karang hidup dan tutupan lamun selama 41 tahun (1972 – 2013) dapat diketahui dengan tersedianya sarana satelit (Citra Landsat MSS, TM, ETM+, OLI) yang digunakan untuk mendapatkan data secara sinoptik dan bersifat spasial dalam areal yang luas seperti yang dilakukan di pulau-pulau kecil pada *outer zone* Kepulauan Spermonde, yaitu Pulau Gondongbali, Pulau Langkai, Pulau Pamanggangan, Pulau Papandangang, Pulau Tambakulu, Pulau Suranti, Pulau Lanyukang, Pulau Kapoposang, Pulau Ballang Lompo, Pulau Ballang Caddi, Pulau Karanrang, dan Pulau Laiya.

4.1. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Gondongbali

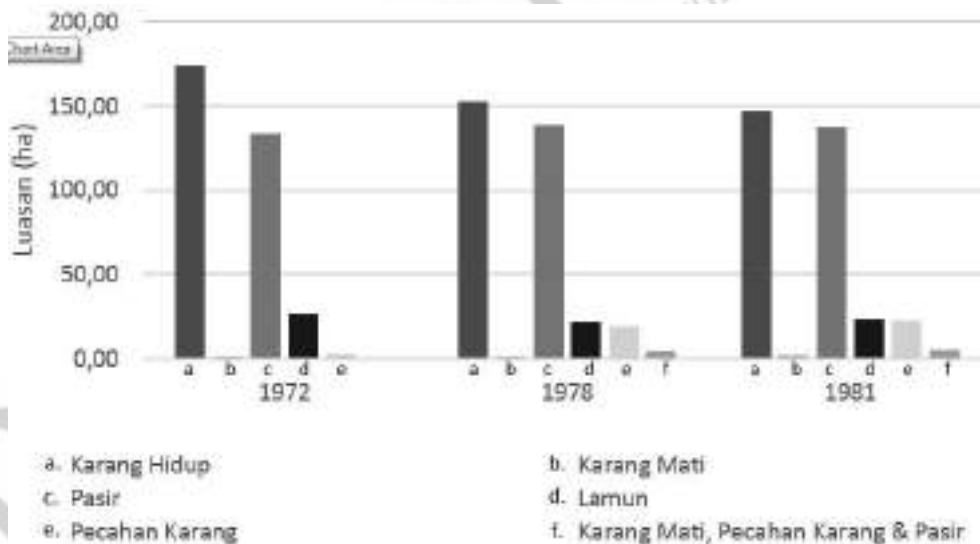
Pulau Gondongbali merupakan bagian dari Kepulauan Spermonde yang berada dalam wilayah administratif Kecamatan Liukang Tupabiring, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan (Pangkep) serta memiliki luas pulau ± 15 ha. Pulau Gondongbali dikelilingi oleh pantai berpasir dengan pohon kelapa. Pada bagian barat dan selatan pulau telah terjadi abrasi sehingga terdapat *breakwater* (pemecah ombak) di sepanjang depan pantai. Di Pulau Gondongbali memiliki ekosistem pesisir, yaitu terumbu karang dan padang lamun.

Sebaran terumbu karang dapat diketahui dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh yang dapat digunakan untuk mendapatkan data secara sinoptik dan bersifat spasial dalam areal yang luas. Dari hasil analisis citra satelit dengan resolusi spasial 60 m tahun 1972, 1978, dan 1981, luas wilayah perairan dangkal Pulau Gondongbali adalah 338,36 ha. Sedangkan pada tahun 1990, 1993, dan 1996 luas wilayah perairan dangkal Pulau Gondongbali adalah 339,84 ha. Luas total ini mewakili 6 substrat tutupan perairan dangkal, yakni karang hidup (*live coral*), karang mati beralga (*dead coral with algae*), pasir (*sand*), lamun (*seagrass*), pecahan karang (*rubble*), serta campuran antara karang mati beralga, pecahan karang, dan pasir (*mix bottom*). Perbedaan luasan tersebut disebabkan oleh perubahan tutupan substrat dasar perairan yang terjadi pada masing-masing periode waktu tersebut, juga dipengaruhi oleh perbedaan resolusi spasial pada citra yang digunakan (Tabel 4.2).

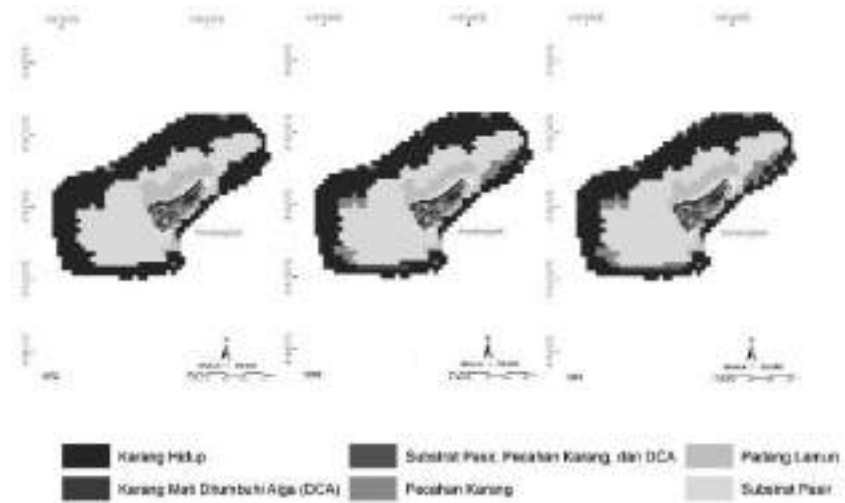
Tabel 4.2 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali
Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996

Kelas	Resolusi 60 m			Resolusi 30 m		
	1972	1978	1981	1990	1993	1996
• Karang Hidup	173,79	153,12	147,22	127,17	122,67	117,90
• Karang Mati Beralga	0,74	1,11	2,21	6,57	7,47	8,01
• Pasir	133,94	138,74	137,26	93,87	94,14	95,31
• Lamun	26,57	21,77	23,25	94,86	94,59	93,42
• Pecahan Karang	2,58	18,82	22,88	15,39	17,64	21,24
• Karang Mati Beralga, Pecahan Karang, dan Pasir		4,06	4,80	1,98	3,33	3,96
Total	338,36	338,36	338,36	339,84	339,84	339,84

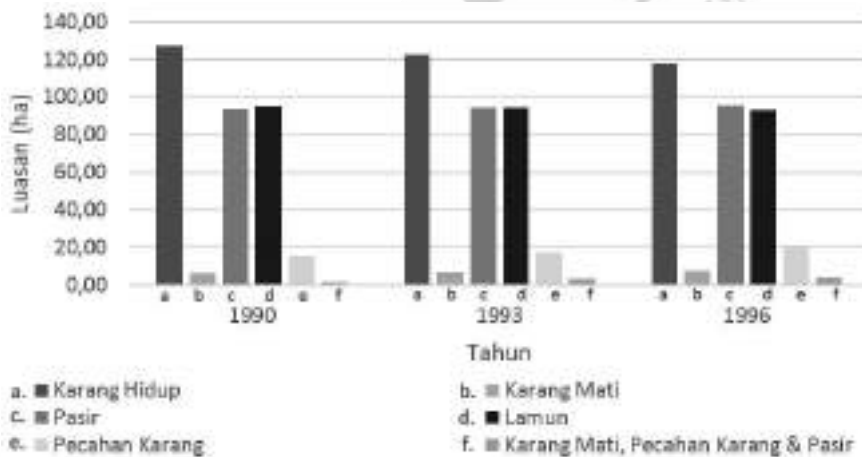
Grafik pada Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa pada kurun waktu 9 tahun (1972 – 1981), tutupan perairan dangkal di Pulau Gondongbali didominasi oleh karang hidup. Demikian pula, pada tahun 1990 – 1996 tutupan perairan dangkal di Pulau Gondongbali didominasi oleh karang hidup (Gambar 4.4).



Gambar 4.2 Grafik Luasan Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali
Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m)



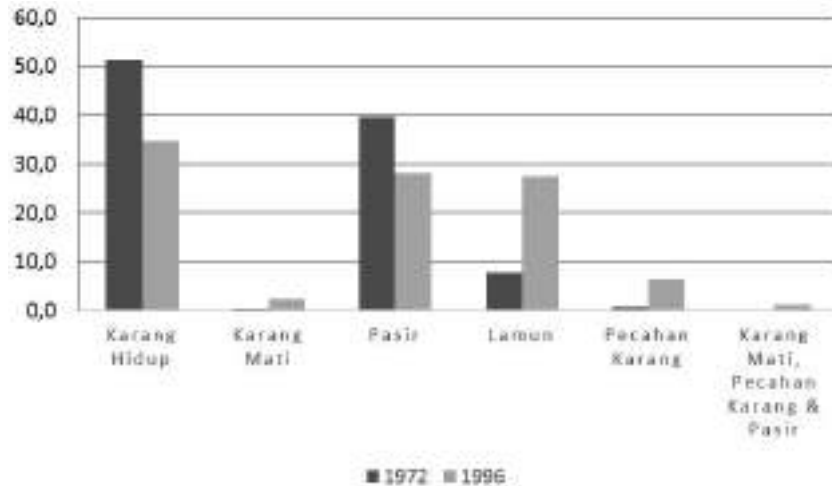
Gambar 4.3 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1972, 1976, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m)



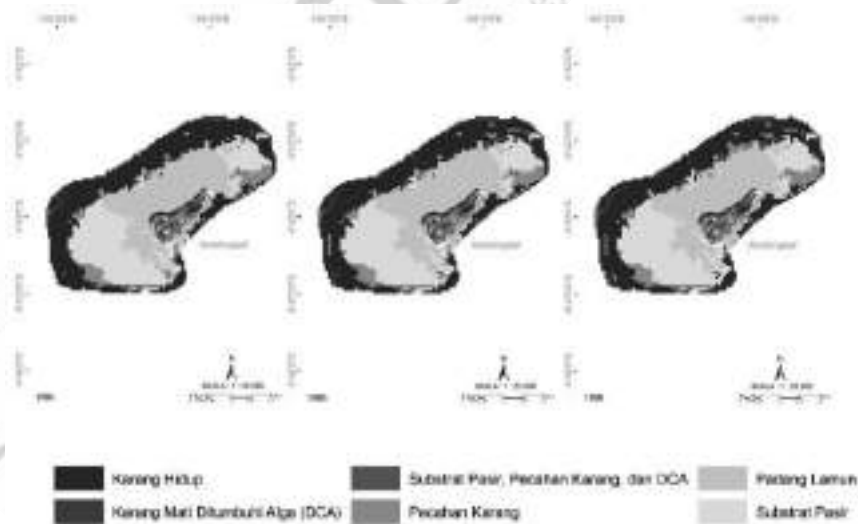
Gambar 4.4 Grafik Luasan Substrat Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)

Grafik pada Gambar 4.5 memperlihatkan bahwa dalam kurun waktu 24 tahun (1972 – 1996), telah terjadi penurunan tutupan karang hidup sekitar 16,7%. Kondisi ini berbanding terbalik dengan tutupan karang mati beralga, pecahan karang, dan campuran antara karang mati beralga, pecahan karang, dan pasir yang mengalami peningkatan persentase tutupan. Selain karang hidup, pasir juga mengalami penurunan persentase tutupan, hal ini berbanding terbalik dengan lamun yang meningkat sekitar 19,6% dari persen tutupan sebelumnya.

Analisis citra Landsat tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 dengan resolusi spasial 15 m membagi substrat tutupan perairan dangkal Pulau Gondongbali menjadi 6, yakni karang hidup (*live coral*), karang mati beralga (*dead coral with algae*), pasir (*sand*), lamun (*seagrass*), pecahan karang (*rubble*), serta campuran karang mati beralga, pecahan karang, dan pasir (*mix bottom*) dengan luas total wilayah perairan dangkal 340,29 ha.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Persentase Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali Tahun 1972 dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)

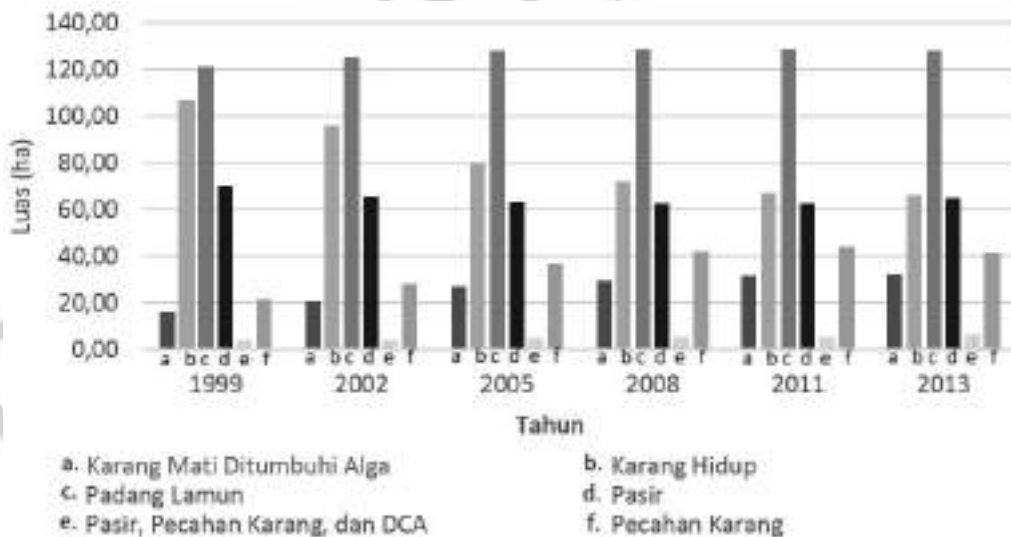


Gambar 4.6 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)

Tabel 4.3 Luas Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali
Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013

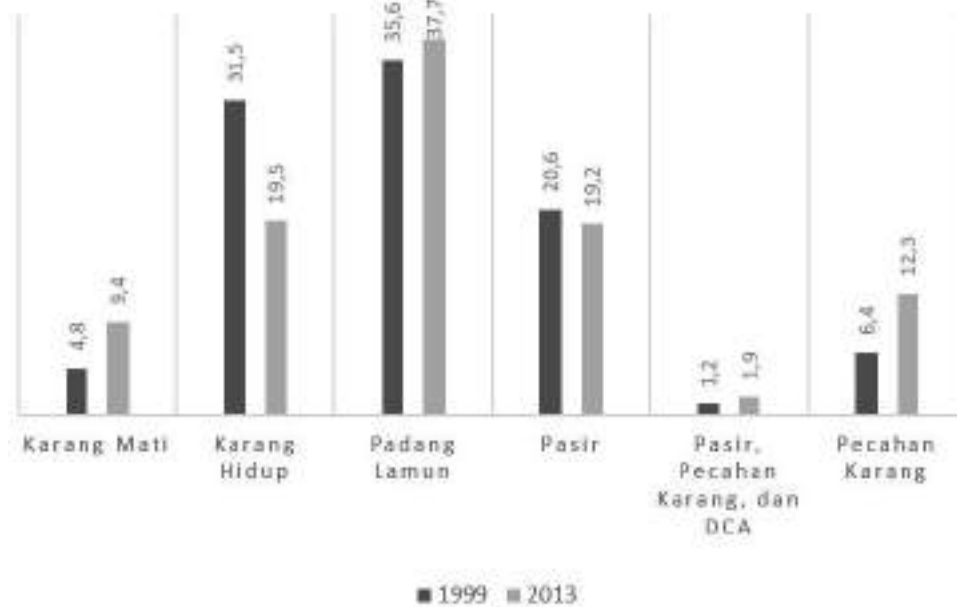
Kelas	Luasan Tutupan (ha)					
	1999	2002	2005	2008	2011	2013
Karang Mati Beralga	16,23	20,37	27,07	29,47	31,83	31,97
Karang Hidup	107,11	96,25	79,78	71,94	67,03	66,40
Padang Lamun	121,00	125,33	128,21	128,50	128,82	128,34
Pasir	70,21	65,88	63,09	62,80	62,51	65,21
Pasir, Pecahan Karang, dan Karang Mati Beralga	4,05	4,30	5,24	5,49	5,78	6,59
Pecahan Karang	21,70	28,15	36,90	42,09	44,32	41,78
Total	340,29	340,29	340,29	340,29	340,29	340,29

Grafik pada Gambar 4.7 memperlihatkan bahwa pada tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013, padang lamun mendominasi tutupan perairan dangkal di Pulau Gondongbali dan disusul oleh karang hidup. *Mix bottom* merupakan kategori tutupan dengan luasan terkecil. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa tutupan karang hidup di Pulau Gondongbali terus mengalami penurunan dari tahun ke tahun, hal ini berbanding terbalik dengan tutupan karang mati beralga dan pecahan karang yang terus mengalami peningkatan luasan tutupan.



Gambar 4.7 Grafik Luasan Substrat Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali
Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m)

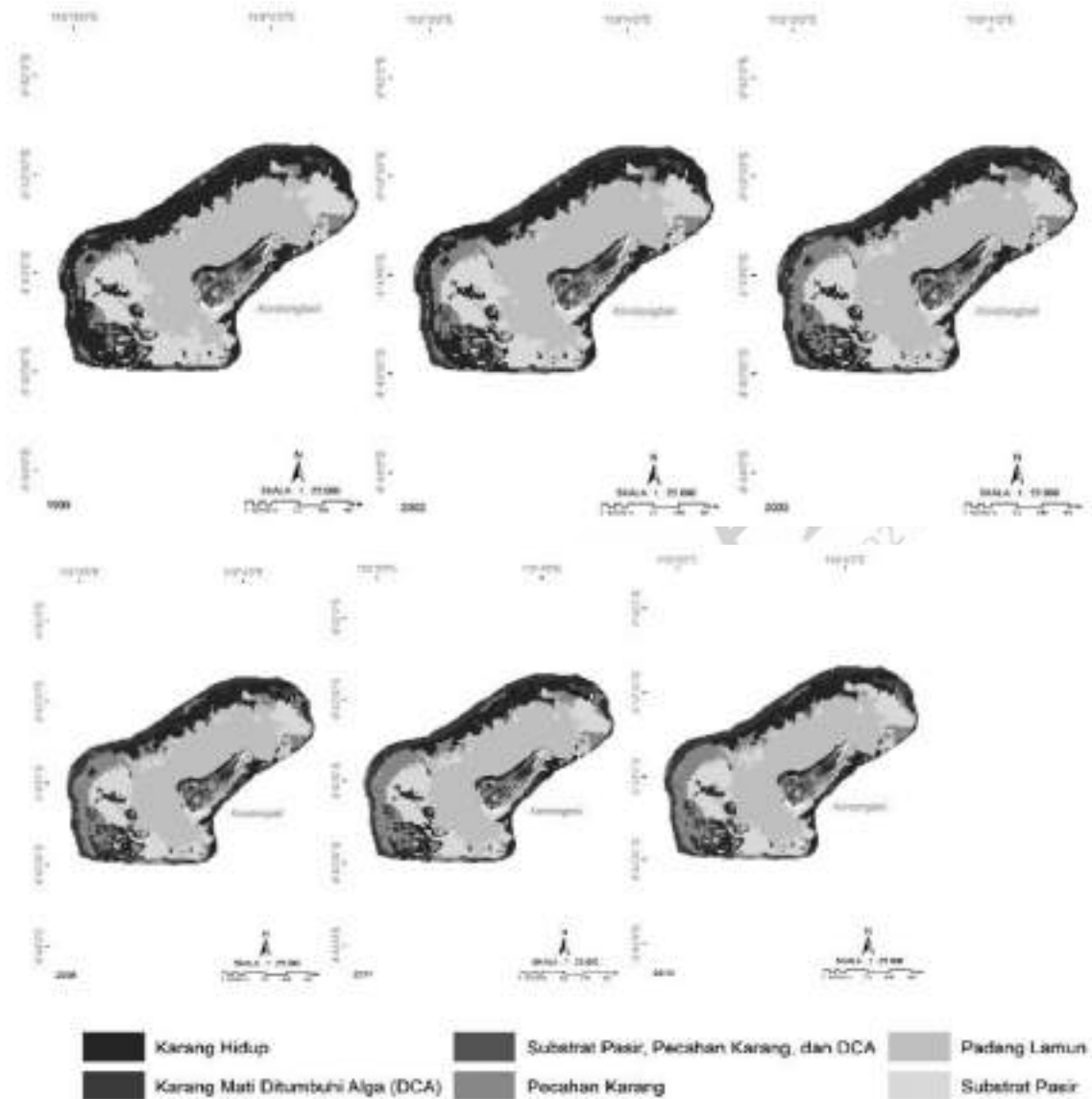
Grafik pada Gambar 4.8 memperlihatkan bahwa dalam kurun waktu 1999 – 2013, substrat yang mengalami peningkatan persentase tutupan adalah karang mati beralga, padang lamun, pecahan karang, serta campuran antara pasir, pecahan karang, dan karang mati beralga, sementara substrat yang mengalami penurunan persentase adalah karang hidup dan pasir.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Persen Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Gondongbali Tahun 1999 dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m)

Penurunan luasan tutupan karang hidup di Pulau Gondongbali tahun 1999 – 2013 adalah 40,71 ha atau berkurang sekitar 12%. Sementara itu karang mati beralga dan pecahan karang masing-masing mengalami peningkatan luasan sekitar 15,74 ha dan 20,08 ha.

Hasil analisis *post classification* Pulau Gondongbali tahun 1972 – 1981 menunjukkan adanya perubahan luasan tutupan pada beberapa substrat menjadi substrat baru. Periode 1972 – 1978 perubahan terbesar terjadi pada karang hidup menjadi pecahan karang seluas 16,24 ha, serta padang lamun menjadi pasir seluas 5,17 ha. Perubahan juga terjadi pada substrat pasir menjadi padang lamun seluas 0,37 ha (Tabel 4.4).

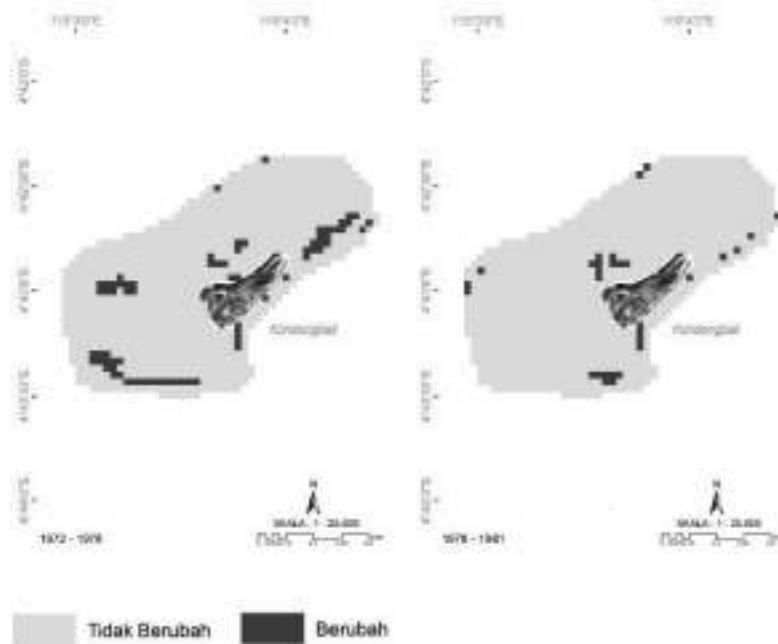


Gambar 4.9 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m)

Periode 1978 – 1981 perubahan terbesar juga terjadi pada substrat karang hidup menjadi pecahan karang seluas 4,06 ha dan pasir menjadi padang lamun seluas 3,32 ha. Perubahan luasan lain terjadi pada padang lamun menjadi pasir seluas 1,84 ha (Tabel 4.4).

Tabel 4.4 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali
Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1972 – 1978							
• Karang Hidup	153,12	0,37	16,24	4,06	-	-	173,80
• Karang Mati Beralga	-	0,74	-	-	-	-	0,74
• Pecahan Karang	-	-	2,58	-	-	-	2,58
• Pasir	-	-	-	-	133,57	0,37	133,94
• Padang Lamun	-	-	-	-	5,17	21,4	26,57
Total	153,12	1,11	18,82	4,06	138,74	21,77	337,63
1978 – 1981							
• Karang Hidup	147,22	1,11	4,06	0,74	-	-	153,13
• Karang Mati Beralga	-	1,11	-	-	-	-	1,11
• Pecahan Karang	-	-	18,82	-	-	-	18,82
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga, dan Pasir	-	-	-	4,06	-	-	4,06
• Pasir	-	-	-	-	135,42	3,32	138,74
• Padang Lamun	-	-	-	-	1,84	19,93	21,77
Total	147,22	2,22	22,88	4,80	137,26	23,25	337,63



Gambar 4.10 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981

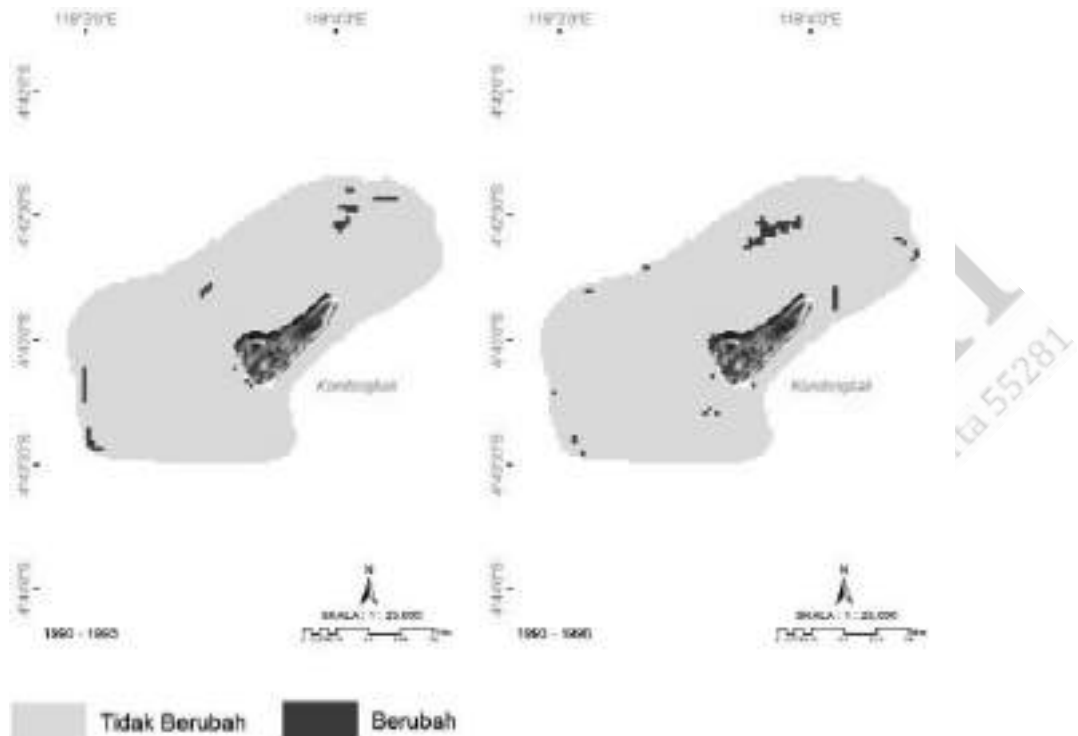
Periode tahun 1972 – 1981 diperoleh perubahan karang hidup menjadi pecahan karang, karang mati beralga, pasir, dan pecahan karang. Perubahan karang hidup menjadi pecahan karang merupakan perubahan terluas sebesar 20,30 ha pada periode ini. Hal ini serupa dengan perubahan karang hidup periode tahun 1990 – 1996, tetapi perubahan luas karang hidup menjadi pecahan karang tidak terlalu luas, yaitu 4,74 ha, untuk perubahan luasan padang lamun tahun 1972 – 1981 dengan resolusi citra 60 m, terjadi perubahan pasir menjadi padang lamun sebesar 0,37 ha dan dari padang lamun menjadi pasir sebesar 3,69 ha, sedangkan periode tahun 1990 – 1996 dengan resolusi 30 m perubahan pasir menjadi padang lamun adalah sebesar 2,96 ha, sedangkan dari padang lamun menjadi tutupan pasir adalah sebesar 0,84 ha. Secara umum pada kedua periode ini, perubahan padang lamun menjadi pasir lebih rendah dibandingkan dengan perubahan pasir menjadi padang lamun. Luasan perubahan terumbu karang di Pulau Godongbali hasil *post classification* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Hasil *post classification* untuk citra resolusi 15 m periode 1990 – 1993 menunjukkan bahwa kelas karang hidup mengalami perubahan menjadi kelas karang mati beralga, pecahan karang, dan *mix bottom* (Tabel 4.5). Perubahan terbesar terjadi pada karang hidup menjadi

pecahan karang seluas 2,25 ha. Perubahan lain terjadi pada kelas padang lamun yang berubah menjadi kelas pasir seluas 0,27 ha. Periode 1993 – 1996 perubahan juga terjadi pada karang hidup dan padang lamun. Periode 1993 – 1996 perubahan kelas karang hidup menjadi pecahan karang mati beralga lebih besar dibandingkan dengan periode 1990 – 1993, sama halnya dengan perubahan pada padang lamun menjadi pasir yang mengalami perubahan seluas 1,17 ha.

Tabel 4.5 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						Total
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	
1990 – 1993							
• Karang Hidup	122,67	0,9	2,25	1,35	-	-	127,17
• Karang Mati Beralga	-	6,57	-		-	-	6,57
• Pecahan Karang	-	-	15,39		-	-	15,39
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir				1,98			1,98
• Pasir	-	-	-		93,87	-	93,87
• Padang Lamun	-	-	-		0,27	94,59	94,86
Total	122,67	7,47	17,64	3,33	94,14	94,59	339,84
1993 – 1996							
• Karang Hidup	117,9	0,54	3,60	0,63	-	-	122,67
• Karang Mati Beralga	-	7,47	-		-	-	7,47
• Pecahan Karang	-	-	17,64		-	-	17,64
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	3,33	-	-	3,33
• Pasir	-	-	-		94,14	-	94,14
• Padang Lamun	-	-	-		1,17	93,42	94,59
Total	117,90	8,01	21,24	3,96	95,31	93,42	339,84



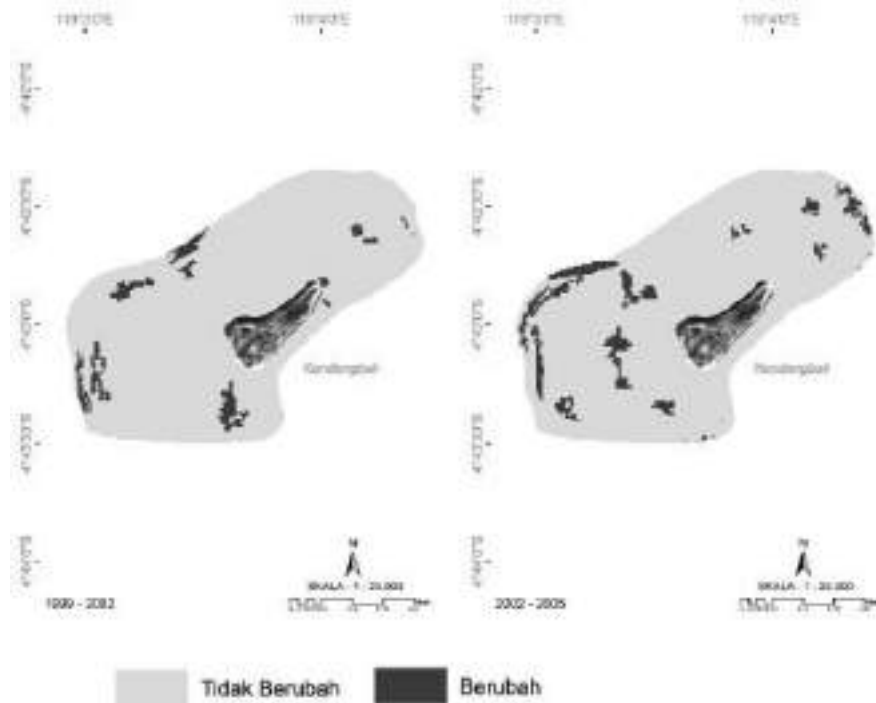
Gambar 4.11 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996

Hasil analisis spasial dengan menggunakan metode *post classification* untuk citra Landsat periode tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 disajikan pada Tabel 4.6. Perubahan luasan terbesar terjadi pada substrat karang hidup menjadi pecahan karang dan karang mati beralga. Perubahan luasan karang hidup menjadi pecahan karang meningkat dari 6,46 ha pada periode 1999 – 2002 menjadi 8,75 ha pada periode 2002 – 2005.

Periode 1999 – 2002 dan 2002 – 2005, substrat karang hidup mengalami perubahan menjadi karang mati beralga, pecahan karang, dan *mix bottom* seperti pada tahun-tahun sebelumnya. Perubahan luasan tertinggi adalah seluas 6,46 ha dari karang hidup menjadi pecahan karang, sedangkan perubahan luasan terendah adalah perubahan karang hidup menjadi *mix bottom*. Perubahan lain juga terjadi pada substrat padang lamun dengan luas perubahan 0,43 ha pada periode 1992 – 2002 dan 2,83 ha pada periode 2002 – 2005.

Tabel 4.6 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali
Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1999 – 2002							
• Karang Hidup	96,25	4,14	6,46	0,25	-	-	107,11
• Karang Mati Beralga	-	16,23	-	-	-	-	16,23
• Pecahan Karang	-	-	21,70	-	-	-	21,70
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga, dan Pasir	-	-	-	4,05	-	-	4,05
• Pasir	-	-	-	-	65,46	-	65,46
• Padang Lamun	-	-	-	-	0,43	120,57	121,00
Total	96,25	20,37	28,15	4,30	65,88	120,57	335,53
2002 – 2005							
• Karang Hidup	79,78	6,69	8,75	1,03	-	-	96,25
• Karang Mati Beralga	-	20,37	-	-	-	-	20,37
• Pecahan Karang	-	-	28,15	-	-	-	28,15
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga, dan Pasir	-	-	-	4,21	0,09	-	4,30
• Pasir	-	-	-	-	60,17	5,72	65,88
• Padang Lamun	-	-	-	-	2,83	122,49	125,33
Total	79,78	27,07	36,90	5,24	63,09	128,21	340,29



Gambar 4.12 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2006

Pada periode 2005 – 2008 dan 2008 – 2011 perubahan luasan substrat perairan dangkal lebih bervariasi pada pecahan karang dan pasir. Berbeda dengan periode-periode sebelumnya, pada dua periode ini, substrat pecahan karang juga mengalami perubahan menjadi pasir dan karang mati beralga (Tabel 4.7). Namun demikian, pada periode ini perubahan luasan tertinggi terjadi pada substrat karang hidup menjadi karang mati beralga, pecahan karang, dan campuran antara pecahan karang, karang mati beralga, dan pasir.

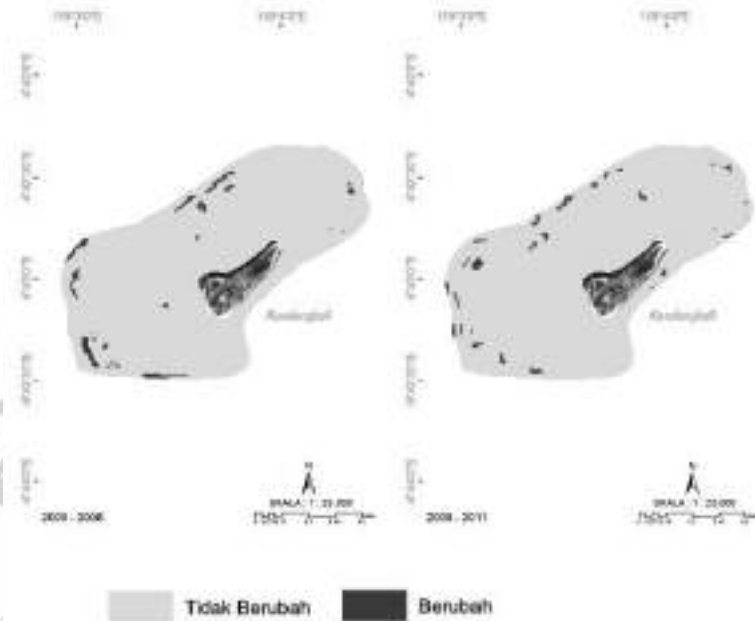
Tabel 4.7 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali
Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
2005 – 2008							
• Karang Hidup	71,94	2,40	5,19	0,25	-	-	79,78
• Karang Mati Beralga	-	27,07	-	-	-	-	27,07
• Pecahan Karang	-	-	36,88	-	0,02	-	36,90
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga, dan Pasir	-	-	-	5,24	-	-	5,24
• Pasir	-	-	0,02	-	62,78	0,29	63,09
• Padang Lamun	-	-	-	-	-	128,21	128,21
Total	71,94	29,47	42,09	5,49	62,80	128,50	340,29
2008 – 2011							
• Karang Hidup	67,03	1,46	3,16	0,29	-	-	71,94
• Karang Mati Beralga	-	29,47	-	-	-	-	29,47
• Pecahan Karang	-	0,91	41,16	-	0,02	-	42,09
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga, dan Pasir	-	-	-	5,49	-	-	5,49
• Pasir	-	-	-	-	62,48	0,31	62,80
• Padang Lamun	-	-	-	-	-	128,50	128,50
Total	67,03	31,83	44,32	5,78	62,51	128,82	340,29

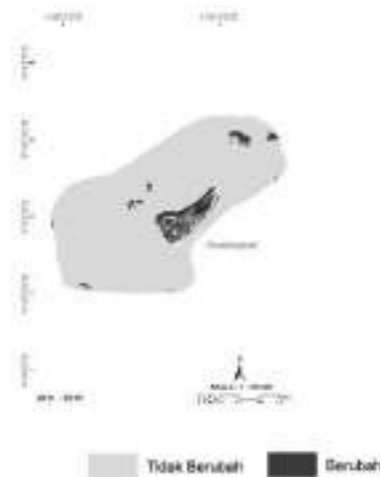
Perubahan pada luasan terumbu karang periode 2011 – 2013, terjadi pada karang hidup, karang mati beralga, pecahan karang, dan padang lamun. Pada periode ini substrat karang hidup hanya berubah menjadi pecahan karang dan *mix bottom*. Perubahan luasan tertinggi pada periode ini terjadi pada substrat pecahan karang menjadi pasir seluas 2,23 ha dan padang lamun menjadi pasir seluas 0,83 ha (Tabel 4.8).

Tabel 4.8 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali
Tahun 2011 – 2013

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
2011 – 2013							
• Karang Hidup	66,40	-	0,54	0,09	-	-	67,03
• Karang Mati Beralga	-	31,83	-	-	-	-	31,83
• Pecahan Karang	-	0,13	41,24	0,72	2,23	-	44,32
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga, dan Pasir	-	-	-	5,78	-	-	5,78
• Pasir	-	-	-	-	62,15	0,36	62,51
• Padang Lamun	-	-	-	-	0,83	127,98	128,82
Total	66,40	31,97	41,78	6,59	65,21	128,34	340,29



Gambar 4.13 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali
Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011



Gambar 4.14 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Gondongbali Tahun 2011 – 2015

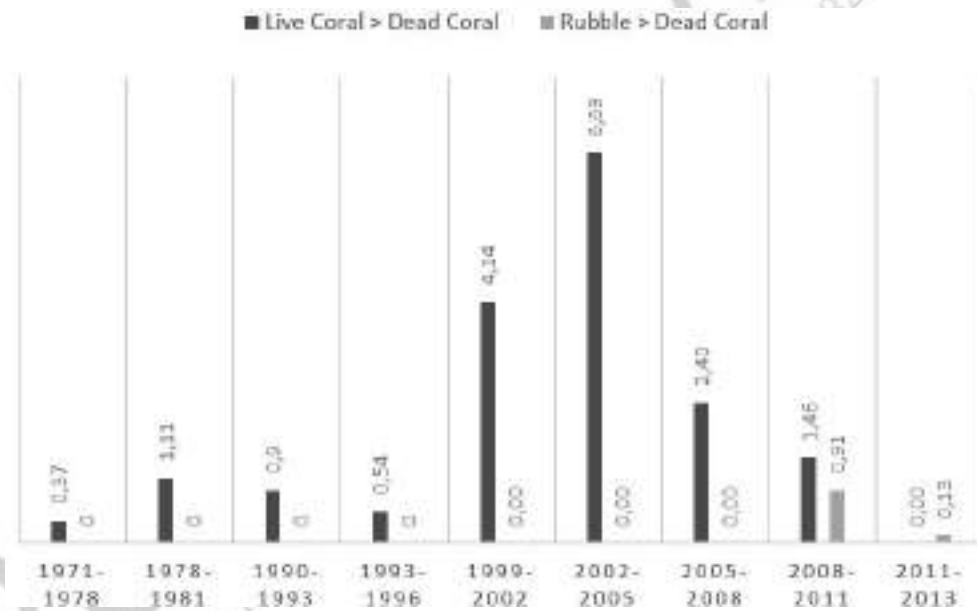
Berdasarkan hasil penjumlahan total perubahan tutupan (*post classification*) tiap-tiap substrat perairan dangkal dalam kurun waktu 41 tahun (1972 – 2013) diperoleh perubahan dari substrat karang hidup menjadi pecahan karang merupakan perubahan luasan paling besar di perairan Pulau Gondongbali dengan luas mencapai 50,25 ha. Perubahan lain terjadi pada tutupan karang hidup menjadi karang mati beralga seluas 17,62 ha dan perubahan kelas padang lamun menjadi pasir seluas 12,55 ha. Untuk lebih jelasnya total perubahan masing-masing kelas dalam 41 tahun disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Luas Total Perubahan Tutupan Perairan Dangkal di Pulau Gondongbali Tahun 1972 – 2013

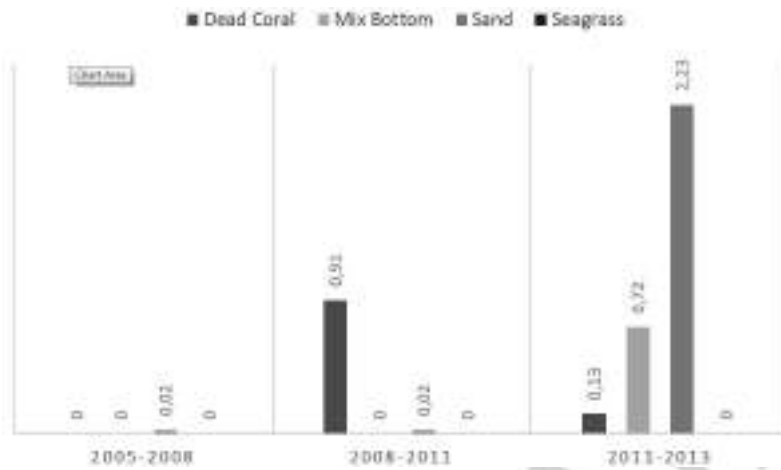
Kelas	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Lamun
• Karang Hidup	922.31	17.62	50.25	8.69	-	-
• Karang Mati Beralga	-	140.86	-	-	-	-
• Pecahan Karang	-	1.04	223.57	0.72	2.27	-
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga, dan Pasir	-	-	-	34.14	0.09	-
• Pasir	-	-	0.02	-	770.03	10.37
• Lamun	-	-	-	-	12.55	857.10

Grafik pada Gambar 4.15 memperlihatkan bahwa perubahan luasan dari karang hidup menjadi karang mati beralga paling tinggi terjadi pada periode tahun 2002 – 2005 dengan luas mencapai 6,69 ha. Hasil analisis *post classification* menunjukkan bahwa pada periode tahun 2011 – 2013 tidak terjadi perubahan substrat dari karang hidup menjadi karang mati beralga. Perubahan lain ditemukan pada kelas pecahan karang pada tahun 2011 dan 2013 berubah menjadi tutupan karang mati beralga.

Perubahan substrat pecahan karang di Pulau Gondongbali bervariasi. Perubahan yang terjadi seperti perubahan luasan karang mati beralga, *mix bottom*, pasir, dan lamun. Sebagaimana ditunjukkan pada grafik Gambar 4.16, pada periode tahun 2011 – 2013, pecahan karang berubah menjadi pasir dengan luas mencapai 2,23 ha. Selanjutnya, pecahan karang yang menjadi karang mati beralga terjadi pada periode 2008 – 2011 seluas 0,91 ha dan periode 2011 – 2013 seluas 0,13 ha. Perubahan pecahan karang menjadi *mix bottom* hanya terjadi pada periode 2011 – 2013 dengan luas perubahannya mencapai 0,72 ha.

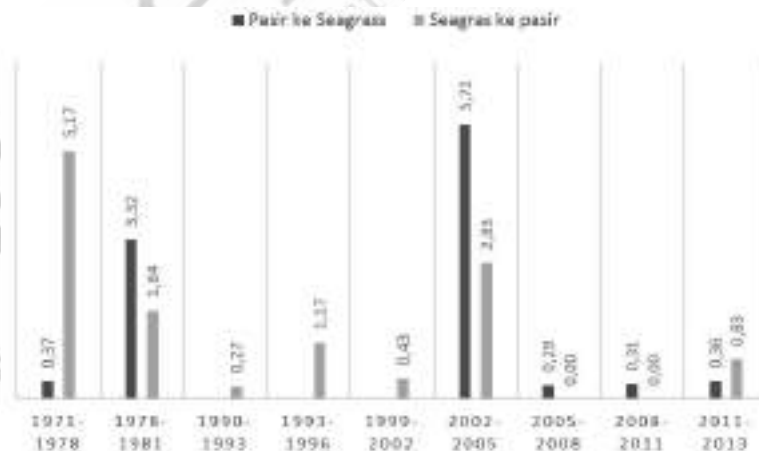


Gambar 4.15 Grafik Perubahan Luasan Substrat Live Coral dan Rubble Menjadi Dead Coral

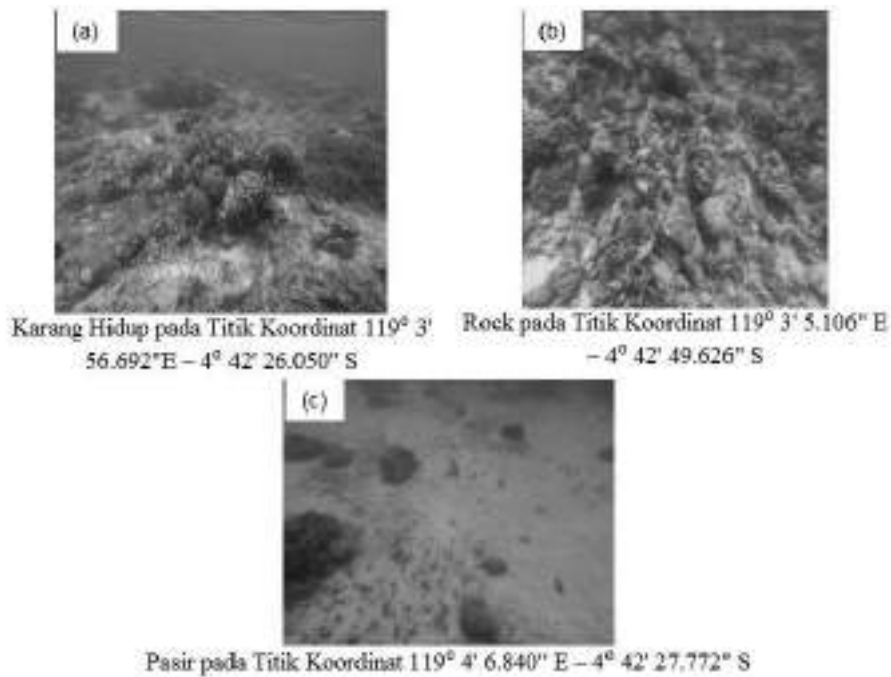


Gambar 4.16 Grafik Perubahan Luasan Substrat Pecahan Karang Menjadi Karang Mati Beralga, *Mix Bottom*, Pasir, dan Lamun

Perubahan substrat pasir ke padang lamun terjadi pada periode 1971 – 1978, 1978 – 1981, 2002 – 2005, 2005 – 2008, 2008 – 2011, dan 2011 – 2013. Perubahan tertinggi terjadi pada periode 2002 – 2005 dimana terjadi perubahan luasan sekitar 5,72 ha menjadi substrat padang lamun (Gambar 4.17). Sementara itu, substrat padang lamun hanya mengalami perubahan menjadi pasir. Perubahan substrat lamun menjadi pasir ditemukan pada semua periode tahun penelitian, kecuali pada periode 2005 – 2008 dan 2008 – 2011. Perubahan lamun menjadi pasir tertinggi terjadi pada periode tahun 1971 – 1978 dengan perubahan luasan mencapai 5,17 ha.

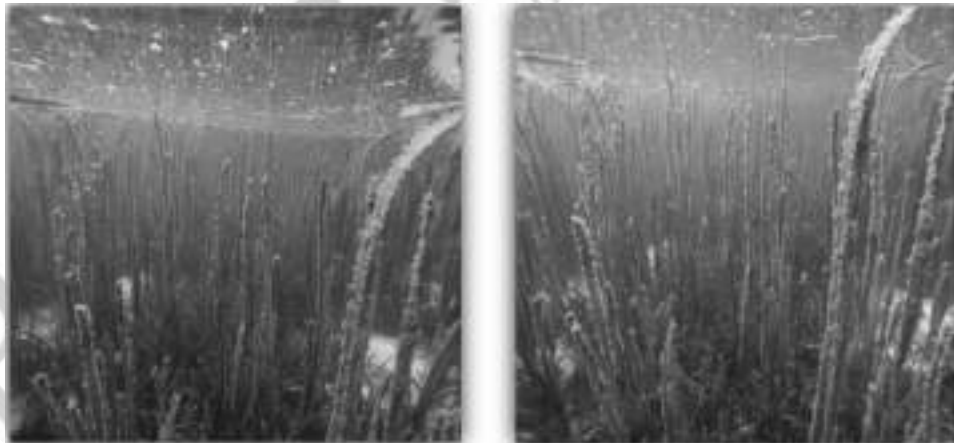


Gambar 4.17 Grafik Perubahan Luasan Substrat Pasir Menjadi Padang Lamun dan Lamun Menjadi Pasir di Pulau Gondongbali



Gambar 4.18 Kondisi Perairan Dangkal di Pulau Gondongbali

Status/kondisi padang lamun di Pulau Gondongbali. Kondisi lamun di perairan Pulau Gondongbali dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Kondisi Tutupan Lamun di Pulau Gondongbali pada Titik Koordinat $119^{\circ} 3' 36.787'' E - 4^{\circ} 42' 57.326'' S$

4.2. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Langkai

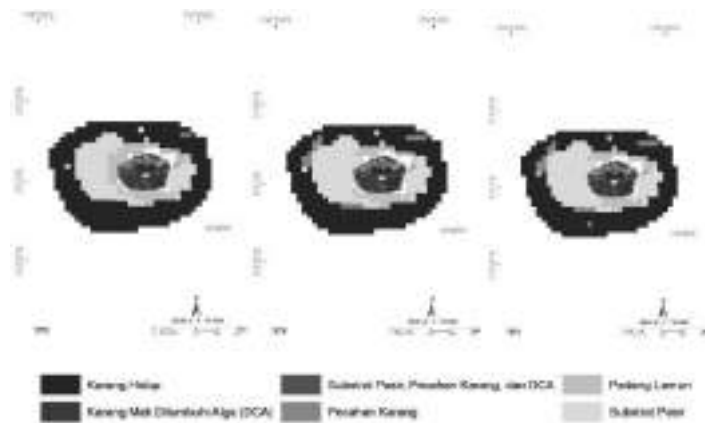
Pulau Langkai terletak di sebelah barat daya Kota Makassar yang berjarak 35,8 km dari kota Makassar dan merupakan pulau terluar dalam wilayah administrasi Kota Makassar. Luas pulau mencapai lebih dari 26,7 ha, dengan rata-rata terumbu yang mengelilinginya seluas 142,2 ha. Penduduk pulau mencapai 430 jiwa (127 KK). Fasilitas yang dimiliki pulau ini adalah instalasi listrik dan fasilitas kesehatan.

Paparan terumbu (*reef flat*) yang luas ke arah selatan, barat, dan utara mengelilingi pulau Langkai, sedangkan sisi timur dari pulau cukup dalam bagi pertumbuhan karang. Distribusi dan kondisi penutupan dasar perairan khususnya terumbu karang di Pulau Langkai dapat diketahui melalui nilai luasan objek dan persentase dari hasil analisis citra satelit.

Tabel 4.10 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Hasil Klasifikasi Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996

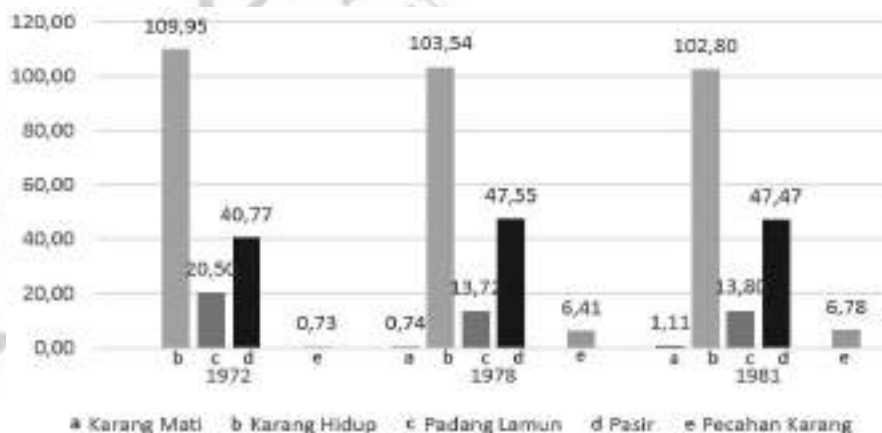
Kelas	Resolusi 60 m			Resolusi 30 m		
	1972	1978	1981	1990	1993	1996
• Karang Hidup	109,95	103,54	102,80	102,23	100,07	96,92
• Karang Mati Beralga	-	0,74	1,11	3,69	4,50	6,30
• Pasir	40,77	47,55	47,47	20,93	21,11	22,32
• Lamun	20,50	13,72	13,80	41,72	41,54	40,33
• Pecahan Karang	0,73	6,41	6,78	2,88	3,78	4,59
• Karang Mati Beralga, Pecahan Karang & Pasir	-	-	-	-	0,45	0,99
Total	171,95	171,95	171,95	171,45	171,45	171,45

Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa secara umum antara tahun 1972 – 1981 (9 tahun) luas tutupan karang hidup di Pulau Langkai mengalami penurunan, dan sebaliknya tutupan karang mati beralga, pasir, dan pecahan karang mengalami peningkatan. Tutupan pecahan karang mengalami peningkatan sekitar 6 ha lebih dengan peningkatan luasan yang signifikan terjadi pada periode 1972 – 1978 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.20. Tutupan pasir meningkat sekitar 6,7 ha sejak tahun 1972. Sementara kategori karang mati beralga mengalami peningkatan sekitar 0,37 ha dari tahun 1978.



Gambar 4.20 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m)

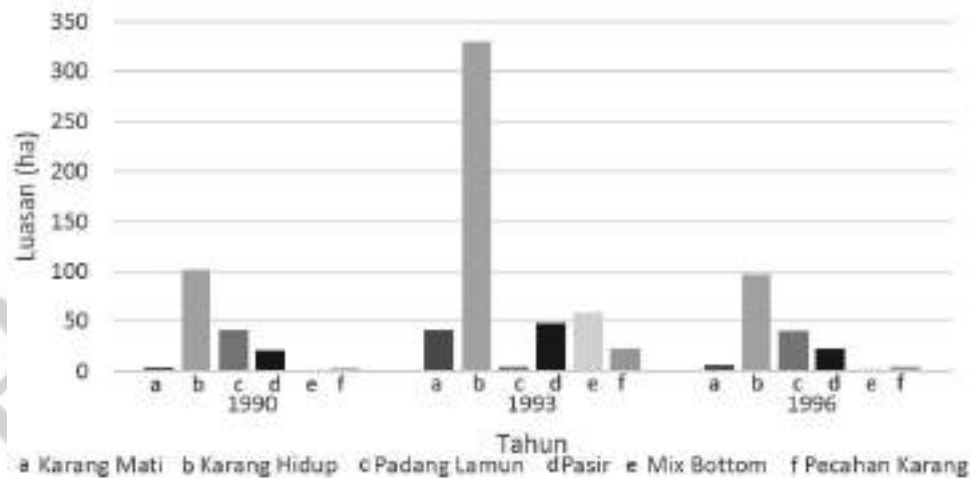
Penurunan luasan terjadi pada beberapa kategori tutupan, yakni karang hidup dan padang lamun. Pada tahun 1972, tutupan karang hidup mencapai 109,95 ha dan mengalami penurunan sekitar 7,15 ha sampai pada tahun 1981. Sementara itu, padang lamun mengalami penurunan luasan sekitar 6,7 ha. Perbedaan luasan yang terjadi selain disebabkan oleh adanya perubahan pada tutupan dasar perairan, juga dipengaruhi oleh perbedaan resolusi spasial pada citra yang digunakan karena setiap *pixel* pada citra dengan resolusi spasial yang berbeda mewakili luas permukaan bumi yang berbeda pula (Tabel 4.10). Meski terus mengalami penurunan luasan, pada periode 1972 – 1981, tutupan perairan dangkal di Pulau Langkai masih didominasi oleh tutupan karang hidup.



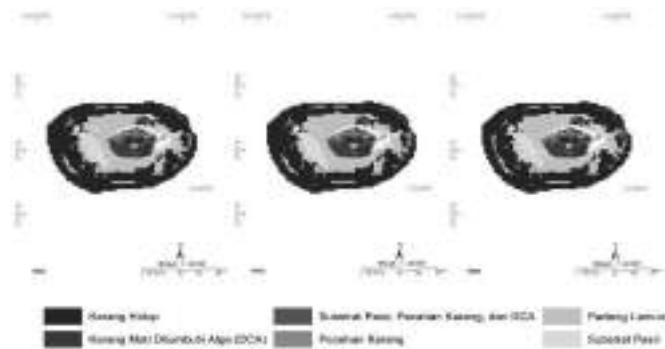
Gambar 4.21 Grafik Luasan Tutupan Perairan Dangkal Pulau Langkai Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m)

Analisis spasial perairan dangkal di Pulau Langkai tahun 1990, 1993, dan 1996 menggunakan citra satelit dengan resolusi spasial 30 m. Hasil klasifikasi citra ini menghasilkan 6 substrat tutupan perairan dangkal Pulau Langkai, yaitu (1) karang hidup, (2) karang mati beralga, (3) pasir, (4) lamun, (5) pecahan karang, serta (6) campuran antara pasir, pecahan karang, dan karang mati beralga (*mix bottom*). Sebagaimana disajikan pada Tabel 4.10, hasil analisis spasial menunjukkan bahwa pada periode tersebut luas wilayah perairan dangkal di Pulau Langkai adalah sekitar 171,45 ha. Luasan ini lebih sedikit 0,50 ha dibandingkan dengan luasan perairan dangkal pada periode 1972 – 1981 yang menggunakan resolusi spasial 60 m.

Grafik pada Gambar 4.22 memperlihatkan bahwa dalam kurun waktu 6 tahun, yakni pada periode 1990 – 1996 perubahan tutupan perairan dangkal di perairan Pulau Langkai bervariasi. Ada kategori tutupan yang mengalami penurunan dan ada yang mengalami kenaikan luasan. Grafik pada Gambar 4.22 menunjukkan bahwa secara umum pada periode 1990 – 1993 kategori tutupan karang hidup di Pulau Langkai mengalami kenaikan maupun penurunan luas tutupan. Pada periode tersebut, tutupan karang hidup mengalami kenaikan luasan sekitar 227,23 ha. Namun pada periode 1993 – 1996, tutupan karang hidup mengalami penurunan drastis sekitar 232,54 ha. Fenomena yang sama juga terjadi pada tutupan karang mati beralga, pasir, *mix bottom*, dan pecahan karang yang mengalami peningkatan luas tutupan pada periode 1990 – 1993, namun mengalami penurunan luasan pada periode 1993–1996.



Gambar 4.22 Grafik Luasan Substrat Tutupan Perairan Dangkal di Pulau Langkai Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)



Gambar 4.23 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)

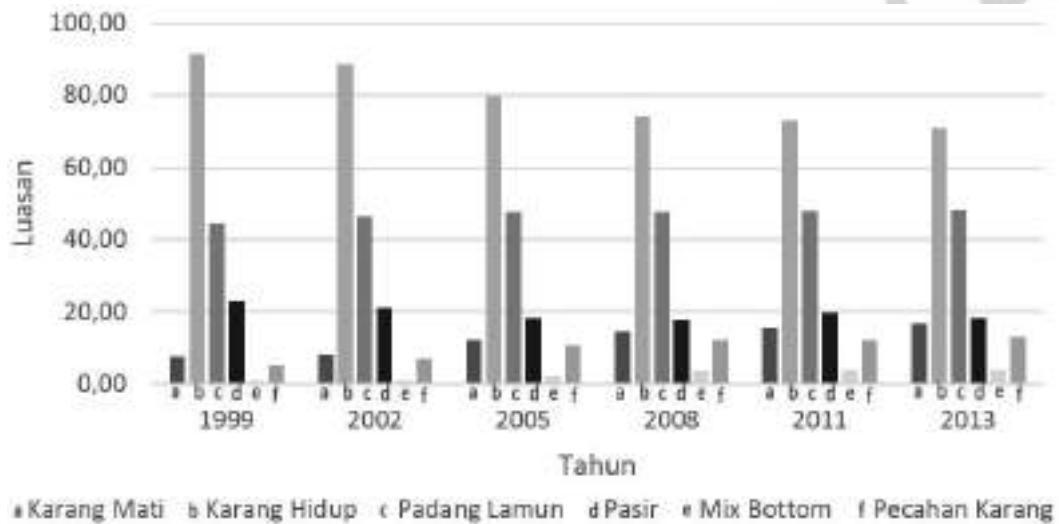
Analisis spasial tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 Pulau Langkai menggunakan resolusi spasial 15 m. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.11, luasan wilayah perairan dangkal dari hasil analisis citra tersebut menghasilkan luasan yang berbeda-beda. Luasan perairan dangkal paling rendah diperoleh pada tahun 2008, yakni sekitar 169,99 ha. Luasan perairan dangkal tahun 2005 dari hasil analisis spasial adalah 170,83 ha, tahun 2011 sekitar 172,41 ha, sedangkan untuk tahun 1999, 2002, dan 2013 memiliki luasan perairan dangkal yang sama. Perbedaan luasan pada beberapa citra ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan akuisisi perekaman citra yang digunakan pada saat kondisi pasang dan surut saat perekaman data citra tersebut berbeda. Perbedaan kondisi pasang surut akan memengaruhi kedalaman perairan sehingga memengaruhi penetrasi cahaya ke kolom perairan yang berpengaruh terhadap luasan perairan dangkal di Pulau Langkai.

Tabel 4.11 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013

Kelas	Luas (ha)					
	1999	2002	2005	2008	2011	2013
• Karang Mati Beralga	7,60	8,23	12,16	14,61	15,47	16,65
• Karang Hidup	91,40	88,72	79,85	74,35	73,12	70,96
• Padang Lamun	44,51	46,56	47,72	47,63	47,86	48,40
• Pasir	22,99	20,95	18,37	17,63	19,82	18,29
• <i>Mix Bottom</i>	0,70	0,81	2,02	3,61	3,83	3,90
• Pecahan Karang	5,02	6,96	10,70	12,16	12,32	13,23
Total	172,24	172,24	170,83	169,99	172,41	171,42

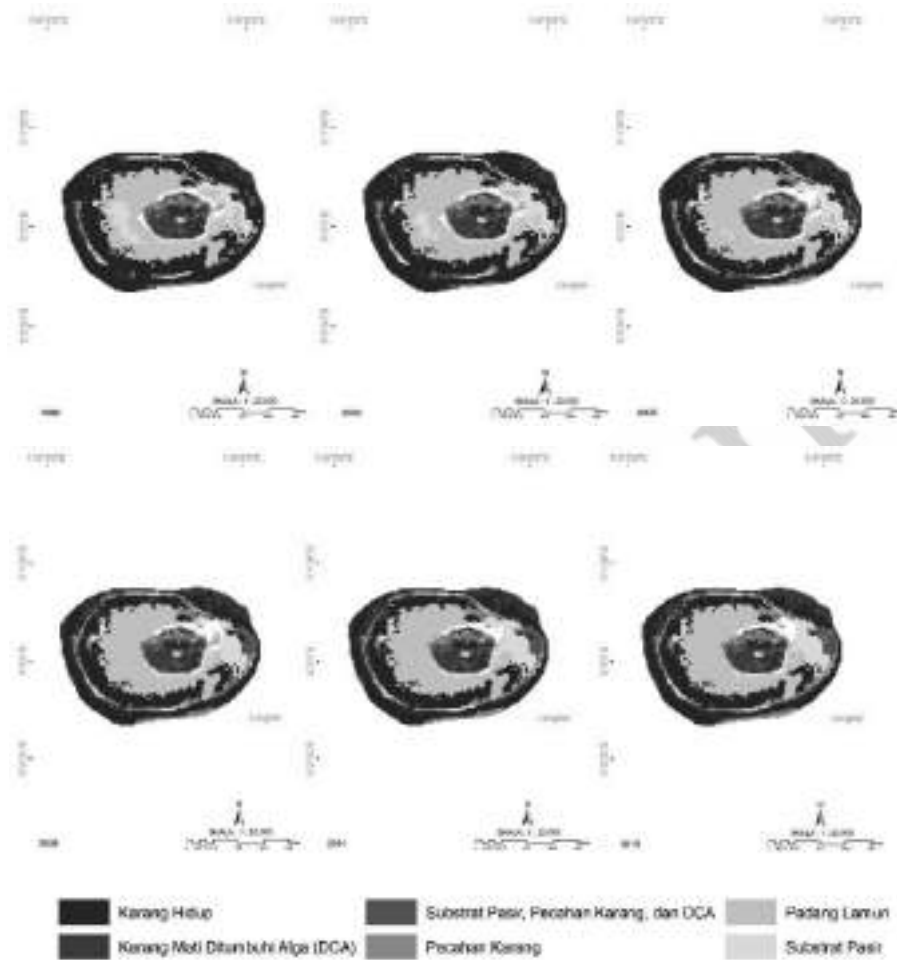
Sumber: Hasil Analisis Citra dan Survei, 2014

Grafik pada Gambar 4.24 memperlihatkan dinamika tutupan perairan dangkal Pulau Langkai menggunakan citra satelit dengan resolusi spasial 15 m, secara umum bahwa pada periode 1999 – 2013 tutupan perairan dangkal Pulau Langkai masih didominasi oleh tutupan karang hidup, padang lamun, dan pasir. Meski demikian, tutupan karang hidup Pulau Langkai mengalami penurunan luasan. Selama periode tersebut telah terjadi penurunan luasan tutupan karang hidup sekitar 20,44 ha. Kondisi ini berbanding terbalik dengan tutupan karang mati beralga, pasir, dan pecahan karang yang terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun.



Gambar 4.24 Grafik Luasan Substrat Tutupan Perairan Dangkal Pulau Langkai Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m)

Hal ini menunjukkan bahwa kondisi karang di Pulau Langkai sudah mengalami kerusakan. Ada beberapa faktor yang memengaruhi kerusakan ekosistem terumbu karang terutama diakibatkan oleh aktivitas manusia, seperti penggunaan bahan peledak, penggunaan sianida untuk menangkap ikan, sedimentasi, dan pencemaran.



Gambar 4.25 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 30 m)

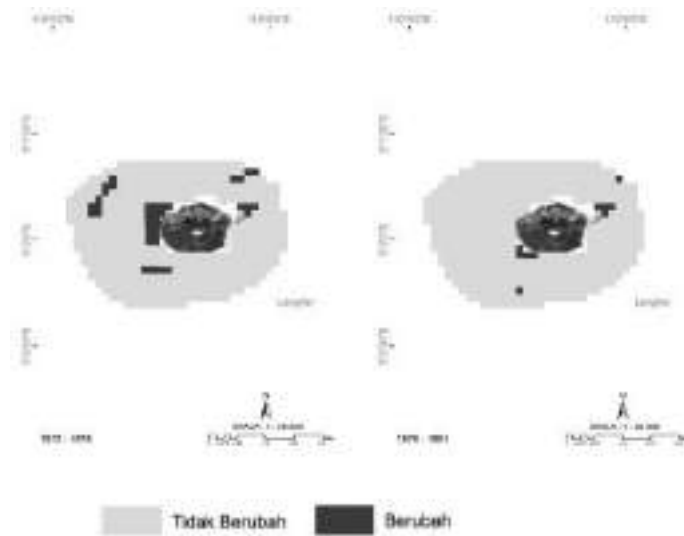
Hasil analisis spasial dengan menggunakan metode *post classification* tutupan substrat perairan dangkal Pulau Langkai pada periode 1972 – 1978 menunjukkan bahwa terjadi perubahan tutupan pada kategori tutupan karang hidup dan lamun. Pada periode ini perubahan tertinggi terjadi pada substrat padang lamun yang berubah menjadi pasir dan perubahan karang hidup menjadi pecahan karang.

Tabel 4.12 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai
Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981

Tahun	Kategori Tutupan Dasar Perairan					
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pasir	Padang Lamun	Total
1972 – 1978						
Karang Hidup	103,54	0,74	5,67	-	-	109,95
Karang Mati Beralga	-	-	-	-	-	-
Pecahan Karang	-	-	-	-	-	0,73
Pasir	-	-	-	40,77	-	40,77
Padang Lamun	-	-	-	6,78	13,72	20,50
Total	103,54	0,74	6,40	47,55	13,72	171,95
1978 – 1981						
Karang Hidup	102,80	0,37	0,37	-	-	103,54
Karang Mati Beralga	-	0,74	-	-	-	0,74
Pecahan Karang	-	-	6,41	-	-	6,41
Pasir	-	-	-	46,12	1,42	47,54
Padang Lamun	-	-	-	1,35	12,37	13,72
Total	102,80	1,11	6,78	47,47	13,79	171,95

Pada periode 1978 – 1981, hasil analisis *post classification* menunjukkan perubahan luasan tutupan pada karang hidup, pasir, dan padang lamun. Perubahan luasan tertinggi pada periode ini terjadi pada substrat pasir yang berubah menjadi padang lamun sekitar 1,42 ha. Perubahan lain terjadi pada tutupan karang hidup menjadi karang mati beralga dan pecahan karang, serta padang lamun menjadi pasir. Untuk lebih jelasnya perubahan substrat hasil *post classification* disajikan pada Tabel 4.12.

Periode 1990 – 1993, perubahan terjadi pada substrat karang hidup dan padang lamun. Variasi perubahan kelas paling banyak pada tutupan karang hidup yang berubah menjadi karang mati beralga, pecahan karang, serta campuran pecahan karang, karang mati beralga, dan pasir (*mix bottom*). Perubahan terluas terjadi pada perubahan karang hidup menjadi pecahan karang seluas 0,9 ha (Tabel 4.13).



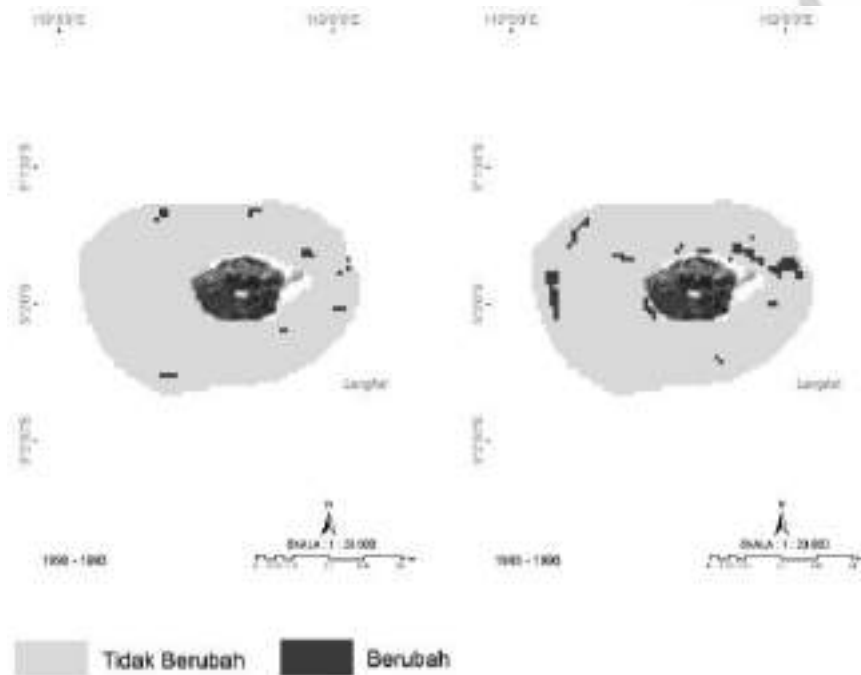
Gambar 4.26 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981

Pada periode 1993 – 1996, perubahan luasan cenderung lebih bervariasi. Perubahan terjadi pada substrat karang hidup, pecahan karang, pasir, dan padang lamun. Perubahan terluas pada periode ini terjadi pada padang lamun menjadi pasir, kemudian karang hidup menjadi pecahan karang dan karang hidup menjadi karang mati beralga. Untuk lebih jelasnya perubahan luasan substrat tutupan perairan dangkal Pulau Langkai periode 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996

Tahun	Kategori Tutupan Dasar Perairan						Total
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	
1990 – 1993							
Karang Hidup	100,79	0,81	0,9	0,45	-	-	102,95
Karang Mati Beralga	-	3,69	-		-	-	3,69
Pecahan Karang	-	-	2,88		-	-	2,88
Pasir	-	-	-		20,93	--	20,93
Padang Lamun	-	-	-		0,18	41,54	41,72
Total	100,79	4,5	3,78	0,45	21,11	41,54	172,17

1993 – 1996							
Karang Hidup	96,92	1,44	1,71	-	-	-	100,07
Karang Mati Beralga	-	4,50	-	-	-	-	4,50
Pecahan Karang	-	0,36	2,88	0,54	-	-	3,78
<i>Mix Bottom</i>	-	0,00	-	0,45	-	-	0,45
Pasir	-	-	-	-	19,80	1,31	21,11
Padang Lamun	-	-	-	-	2,52	39,02	41,54
Total	96,92	6,30	4,59	0,99	22,32	40,33	171,45



Gambar 4.27 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996

Periode 1999 – 2002, perubahan pada substrat karang hidup lebih bervariasi, yakni karang mati beralga, pecahan karang, serta campuran antara pecahan karang, karang mati, dan pasir atau *mix bottom*. Meski demikian perubahan luasan terbesar terjadi pada substrat pasir yang berubah menjadi padang lamun. Perubahan substrat tutupan perairan dangkal hasil *post classification* Pulau Langkai periode 1999 – 2002 disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai
Tahun 1999 – 2002

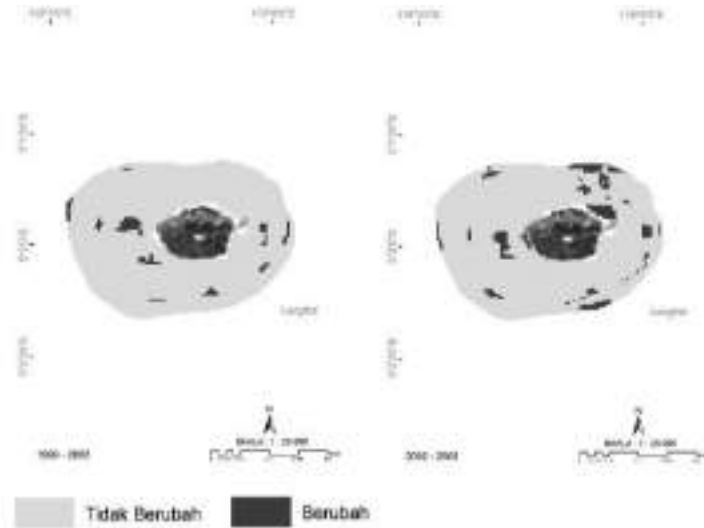
Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1999 – 2002							
• Karang Hidup	88,72	0,63	1,94	0,11	-	-	91,40
• Karang Mati Beralga	-	7,60	-	-	-	-	7,60
• Pecahan Karang	-	-	5,02	-	-	-	5,02
• Pecahan Karang, Karang Mati & Pasir	-	-	-	0,70	-	-	0,70
• Pasir	-	-	-	-	20,30	2,69	22,99
• Padang Lamun	-	-	-	-	0,64	43,87	44,51
Total	88,72	8,23	6,96	0,81	20,95	46,56	172,24

Pada periode 2002 – 2005 perubahan terbesar terjadi pada kelas karang hidup menjadi karang mati beralga dan pecahan karang dengan luas perubahan masing-masing 3,93 ha dan 3,74 ha. Perubahan lain terjadi pada kelas pasir menjadi kelas padang lamun seluas 1,93 ha. Perubahan luasan kelas tutupan perairan dangkal Pulau Langkai untuk lebih jelasnya disajikan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai
Tahun 2002 – 2005

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)							
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Darat	Padang Lamun	Total
2002 – 2005								
• Karang Hidup	79,85	3,93	3,74	1,21	-	-	-	88,72
• Karang Mati Beralga	-	8,23	-	-	-	-	-	8,23
• Pecahan Karang	-	-	6,96	-	-	-	-	6,96
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	0,81	-	-	-	0,81

• Pasir	-	-	-	-	18,37	0,65	1,93	20,95
• Padang Lamun	-	-	-	-	0,00	1,26	45,30	46,56
Total	79,85	12,16	10,70	2,02	18,37	1,91	47,72	172,73



Gambar 4.28 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005

Periode 2005 – 2008 perubahan luasan tertinggi terjadi pada karang hidup menjadi karang mati beralga seluas 2,45 ha. Sedangkan perubahan paling sedikit terjadi pada substrat pasir menjadi padang lamun seluas 0,67 ha. Pada periode ini juga terjadi perubahan tutupan pasir menjadi darat. Fenomena ini dapat terjadi karena daerah yang sebelumnya merupakan wilayah pasir yang terendam air mengalami sedimentasi sehingga menghasilkan daratan baru yang tidak terekspos oleh air, baik pada saat surut maupun pada saat pasang. Fenomena ini dikenal dengan akresi pantai, yaitu perubahan garis pantai menuju laut lepas karena adanya proses sedimentasi dari daratan menuju arah laut.

Periode 2008 – 2011 perubahan terluas terjadi pada substrat karang hidup menjadi karang mati beralga, pecahan karang, dan *mix bottom* dengan luas total sekitar 1,23 ha. Pada periode ini juga terjadi fenomena perubahan daratan menjadi pasir. Kebalikan dari akresi pantai, fenomena perubahan daratan menjadi pasir, yaitu mundurnya garis pantai ke arah darat yang dikenal dengan abrasi pantai. Abrasi pantai dapat terjadi akibat proses alamiah, yakni penggerusan pantai akibat dari hempasan gelombang dan badai dalam jangka waktu lama atau akibat aktivitas manusia seperti penebangan mangrove, pengrusakan terumbu karang, penggalian, penimbunan pasir, dan lain-lain.

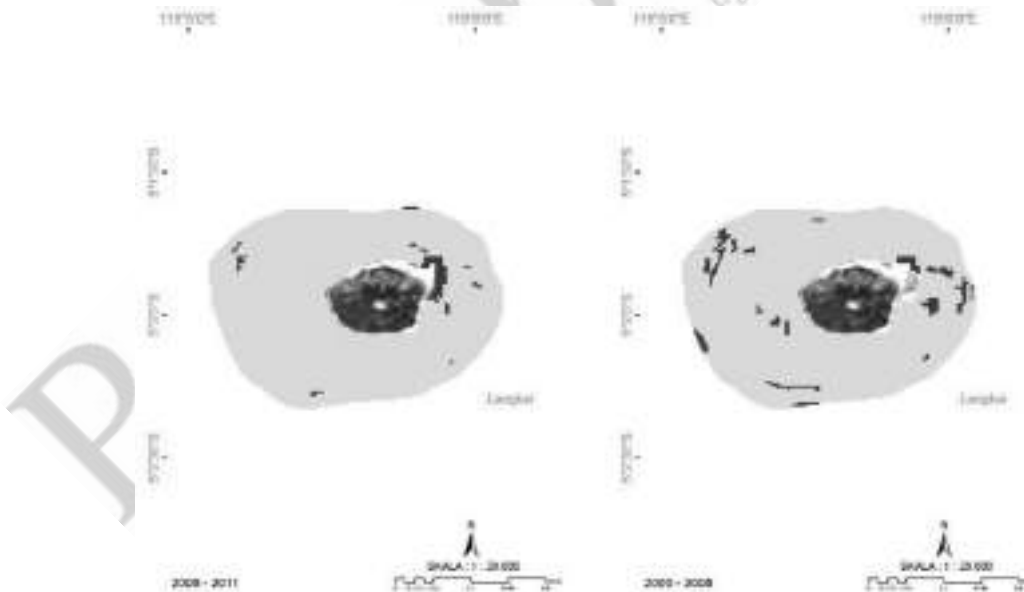
Tabel 4.16 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai
Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011

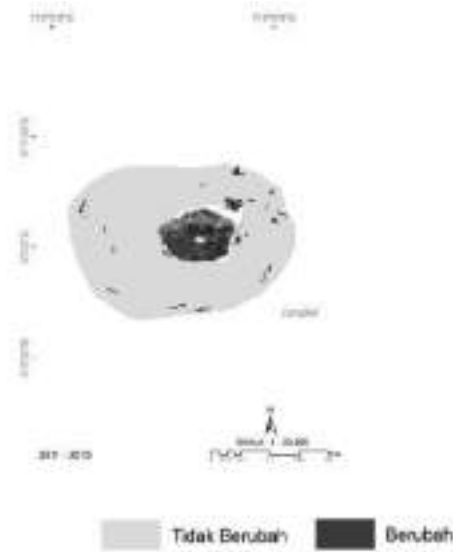
Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)							
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Darat	Padang Lamun	Total
2005 – 2008								
• Karang Hidup	74,35	2,45	1,46	1,58	-	-	-	79,85
• Karang Mati Beralga	-	12,16	-	-	-	-	-	12,16
• Pecahan Karang	-	-	10,70	-	-	-	-	10,70
• Pecahan Karang, Karang Mati & Pasir	-	-	-	2,02	-	-	-	2,02
• Pasir	-	-	-	-	16,87	0,83	0,67	18,37
• Darat							-	-
• Padang Lamun	-	-	-	-	0,76	-	46,97	47,72
Total	74,35	14,61	12,16	3,61	17,63	0,83	47,63	170,83
2008 – 2011								
• Karang Hidup	73,11	0,81	0,20	0,22	-	-	-	74,35
• Karang Mati Beralga	-	14,61	-	-	-	-	-	14,61
• Pecahan Karang	-	0,05	12,12	-	-	-	-	12,16
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	3,60	-	-	-	3,60
• Pasir	-	-	-	-	17,40	-	0,22	17,63
• Darat					2,42		-	
• Padang Lamun	-	-	-	-	-	-	47,63	47,63
Total	73,11	15,47	12,32	3,83	19,82		47,86	169,99

Periode 2011 – 2013 substrat dengan perubahan luasan terbesar adalah karang hidup dengan total perubahannya menjadi karang mati beralga, pecahan karang, dan *mix bottom* seluas 2,22 ha. Pada periode ini juga terjadi fenomena akresi, dengan berubahnya kelas pasir menjadi darat sekitar 0,99 ha.

Tabel 4.17 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai
Tahun 2011 – 2013

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)							
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Darat	Padang Lamun	Total
2011 – 2013								
• Karang Hidup	70,96	1,18	0,91	0,07	-	-	-	73,12
• Karang Mati Beralga	-	15,47	-	-	-	-	-	15,47
• Pecahan Karang	-	-	12,32	-	-	-	-	12,32
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	3,83	-	-	-	3,83
• Pasir	-	-	-	-	18,29	0,99	0,54	19,82
• Darat	-	-	-	-	-	-	-	-
• Padang Lamun	-	-	-	-	-	-	47,86	47,86
Total	70,96	16,65	13,23	3,90	18,29	0,99	48,40	172,41





Gambar 4.29 Peta Sebaran Tutupan Karang dan Padang Lamun di Pulau Langkai Tahun 2008 – 2011, 2005 – 2008, dan 2011 – 2013

4.3. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Papandangang

Pulau Papandangang yang jaraknya dekat dengan Pulau Kapoposang dan merupakan bagian dari Taman Wisata Perairan (TWP). Pulau Kapoposang berada dalam wilayah administratif Kecamatan Liukang Tupabiring Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan (Pangkep), serta memiliki luas pulau ± 13 ha. Keberadaan ekosistem pesisir di pulau ini, yaitu terumbu karang dan padang lamun, menjadikan Pulau Papandangang sebagai salah satu tempat wisata.

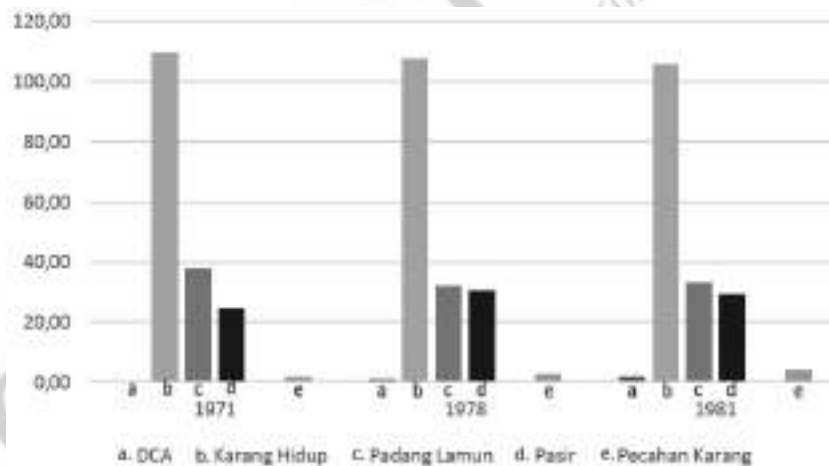
Tingginya tekanan terhadap pemanfaatan sumber daya hayati yang terdapat pada ekosistem terumbu karang oleh nelayan dengan menggunakan alat tangkap yang tidak ramah lingkungan, seperti penggunaan bahan peledak (bom), bahan kimia beracun (*potassium sianida*), dan pengambilan jenis-jenis karang tertentu untuk diperjualbelikan, menjadi penyebab rusaknya ekosistem terumbu karang di Pulau Papandangang.

Hasil analisis spasial di Pulau Papandangang menggunakan citra Landsat dengan resolusi spasial 60 m, diperoleh luasan perairan dangkal sekitar 174,53 ha. Sementara itu, dengan citra resolusi spasial 30 m diperoleh luasan perairan dangkal sekitar 174,42 ha. Berdasarkan hasil klasifikasi, substrat tutupan dasar perairan di Pulau Papandangang pada periode 1972 – 1981 dan 1990 – 1996 terbagi menjadi 5, yakni karang hidup, karang mati beralga, pasir, lamun, dan pecahan karang.

Tabel 4.18 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996

Kelas	Resolusi 60 m			Resolusi 30 m		
	1972	1978	1981	1990	1993	1996
• Karang Hidup	109,59	107,75	105,90	99,45	97,48	92,27
• Karang Mati Beralga	0,37	1,11	1,84	2,43	2,97	3,42
• Pasir	24,72	30,63	29,52	17,28	17,91	22,82
• Lamun	38,01	32,10	33,21	39,92	39,29	34,39
• Pecahan Karang	1,84	2,95	4,06	15,33	16,76	21,53
Total	174,53	174,53	174,53	174,42	174,42	174,42

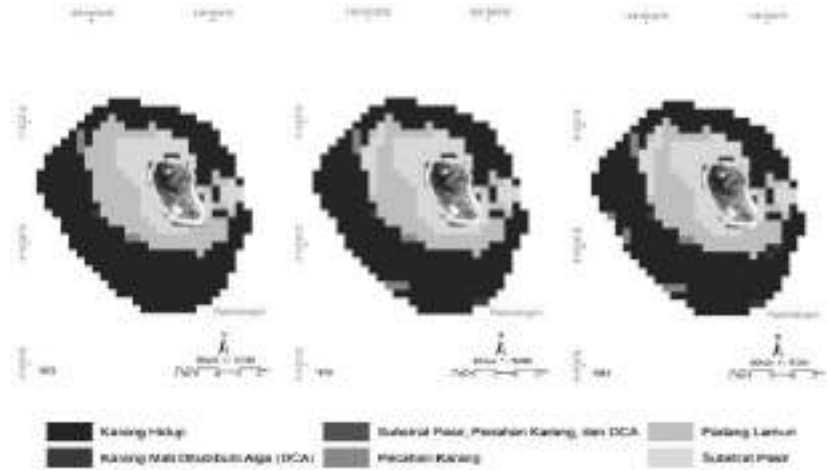
Seperti yang disajikan pada Gambar 4.30 pada periode 1972 – 1981 substrat karang hidup masih mendominasi tutupan perairan dangkal di Pulau Papandayang. Luasan karang hidup pada periode ini berkurang sekitar 3,69 ha. Begitu pula dengan tutupan substrat lamun yang mengalami penurunan luasan sekitar 4,8 ha. Peningkatan luasan terjadi pada substrat karang mati, pasir, dan pecahan karang. Substrat karang mati mengalami peningkatan luasan sebesar 1,47 ha, pasir sebesar 4,8 ha, dan pecahan karang sebesar 2,22 ha.



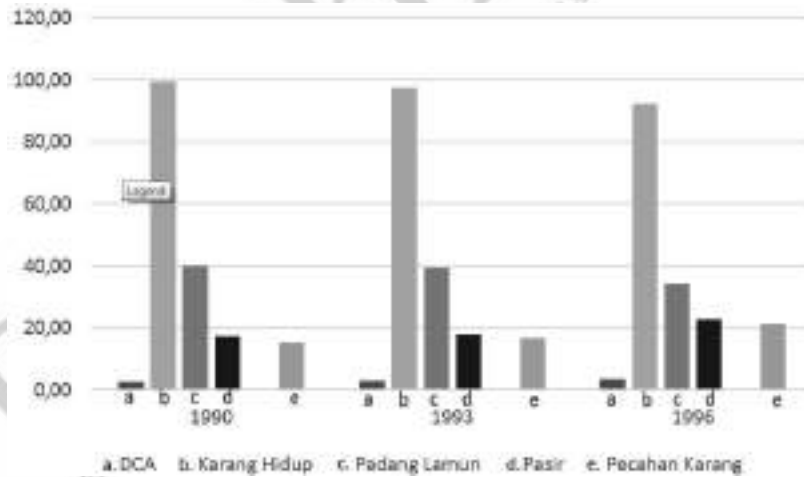
Gambar 4.30 Grafik Luasan Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandayang Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi 60 m)

Periode 1990 – 1996 dengan menggunakan citra Landsat beresolusi spasial 30 m, diperoleh luas wilayah perairan dangkal Pulau Papandayang sebesar 174,42 ha atau lebih kecil sebesar 0,11 ha dibandingkan pada periode 1972 – 1981. Perbedaan resolusi yang dimiliki memengaruhi luasan perairan dangkal, karena pada resolusi 30 m area cakupan menjadi lebih

kecil namun semakin detail, sedangkan pada resolusi 60 m area cakupan lebih besar namun tidak lebih detail dibandingkan dengan resolusi 30 m. Sehingga objek di perairan dangkal akan cenderung lebih homogen terlihat pada citra resolusi rendah dibandingkan pada citra resolusi yang lebih tinggi, sehingga memengaruhi luasan perairan dangkal.



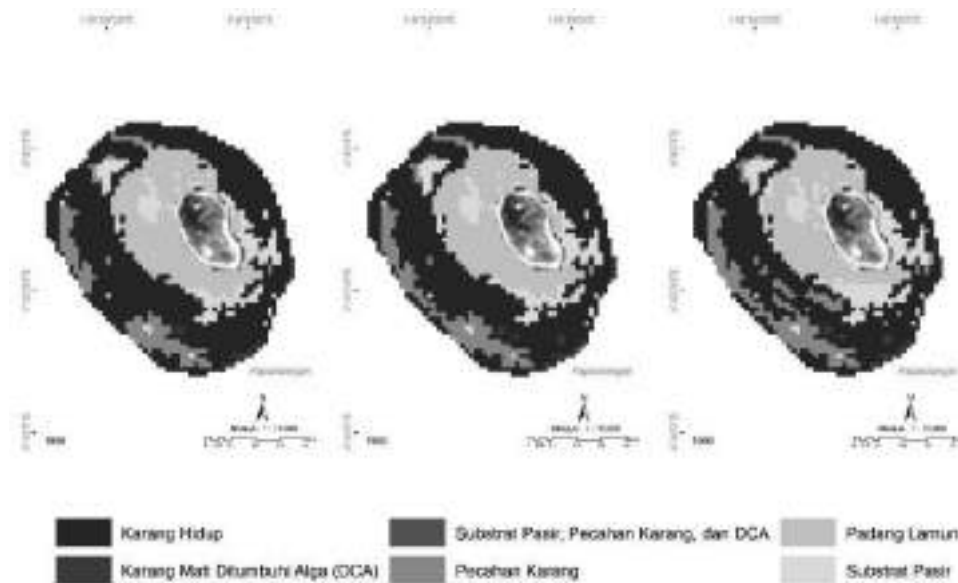
Gambar 4.31 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m)



Gambar 4.32 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandayang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi 30 m)

Sebagaimana disajikan pada Gambar 4.32, substrat karang hidup masih mendominasi tutupan perairan dangkal di Pulau Papandayang, kemudian padang lamun dan pasir. Dalam kurun waktu tersebut, tutupan karang hidup mengalami penurunan luasan sekitar 7,18 ha

dan padang lamun sekitar 5,53 ha. Kelas yang mengalami peningkatan antara lain karang mati sebesar 0,99 ha, pasir sebesar 5,54 ha, dan pecahan karang sebesar 6,2 ha.



Gambar 4.33 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (resolusi spasial 30 m)

Hasil analisis tutupan perairan dangkal di Pulau Papandayang periode 1999 – 2013 menggunakan citra satelit resolusi 15 m. Dari hasil analisis tersebut diperoleh luas wilayah perairan dangkal di Pulau Papandayang sekitar 174,44 ha. Grafik pada Gambar 4.34 memperlihatkan bahwa pada periode 1999 – 2005 tutupan perairan dangkal di Pulau Papandayang masih didominasi oleh substrat karang hidup. Meski demikian terlihat bahwa luas tutupan karang hidup tersebut terus mengalami penurunan luasan. Periode 1999 – 2005 telah terjadi penurunan luasan karang hidup sekitar 29,41 ha, penurunan terluas dibandingkan periode-periode sebelumnya di Pulau Papandayang. Periode 2008 – 2013 penurunan karang hidup meningkat sebesar 6,66 ha.

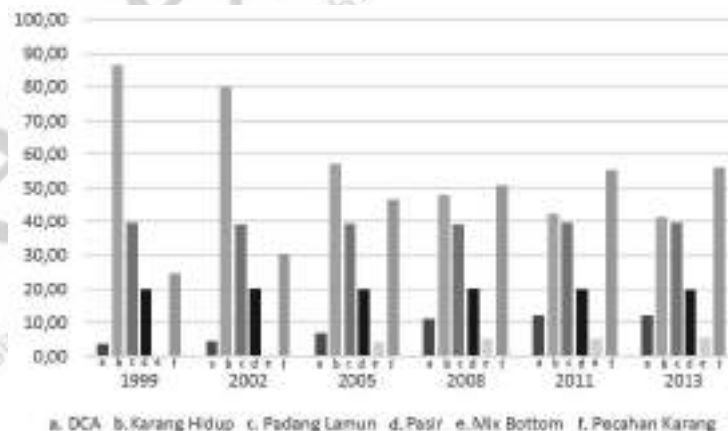
Peningkatan substrat tutupan perairan dangkal Pulau Papandayang terjadi pada karang mati beralga, lamun, pecahan karang, serta kelas campuran antara pasir, pecahan karang, dan karang mati beralga (*mix bottom*). Peningkatan kelas pecahan karang mendominasi tutupan perairan dangkal Pulau Papandayang pada periode 2008 – 2013. Sejak tahun 1999, substrat pecahan karang mengalami peningkatan luasan sebesar 31,33 ha. Hal ini merupakan peningkatan terluas dibandingkan periode-periode sebelumnya di Pulau Papandayang.

Tabel 4.19 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang
Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013

Kelas	Resolusi 15 m					
	1999	2002	2005	2008	2011	2013
• Karang Hidup	86,66	80,06	57,25	47,99	42,39	41,33
• Karang Mati Beralga	3,80	4,53	6,93	10,97	12,12	12,15
• Lamun	39,49	39,15	39,31	39,17	39,46	39,62
• Pasir	19,83	20,16	20,01	20,14	19,85	19,69
• Pecahan Karang	24,67	30,54	46,60	50,95	55,27	56,00
• Pasir, Pecahan Karang & DCA	-	-	4,34	5,22	5,36	5,65
Total	174,44	174,44	174,44	174,44	174,44	174,44

Hal ini menunjukkan bahwa kondisi karang di Pulau Papandayang sudah mengalami kerusakan tiap-tiap periodenya. Dampak terbesar dan paling merusak yang mungkin terjadi pada ekosistem terumbu karang adalah pembangunan pesisir yang pesat akibat pertumbuhan penduduk yang tinggi dan meningkatnya berbagai kebutuhan manusia (permukiman, perikanan, industri, pelabuhan, dan lain-lain). Hal ini akan memicu peningkatan tekanan ekologis terhadap ekosistem dan sumber daya hayati yang terkandung di dalamnya.

Di dasar laut, terumbu karang akan menjadi biota yang paling terancam dampak perubahan iklim karena sifatnya yang sensitif terhadap kenaikan suhu, perbedaan suhu betapa pun kecilnya, misalnya satu hingga dua derajat Celsius, dalam beberapa pekan akan membuat terumbu karang mati.

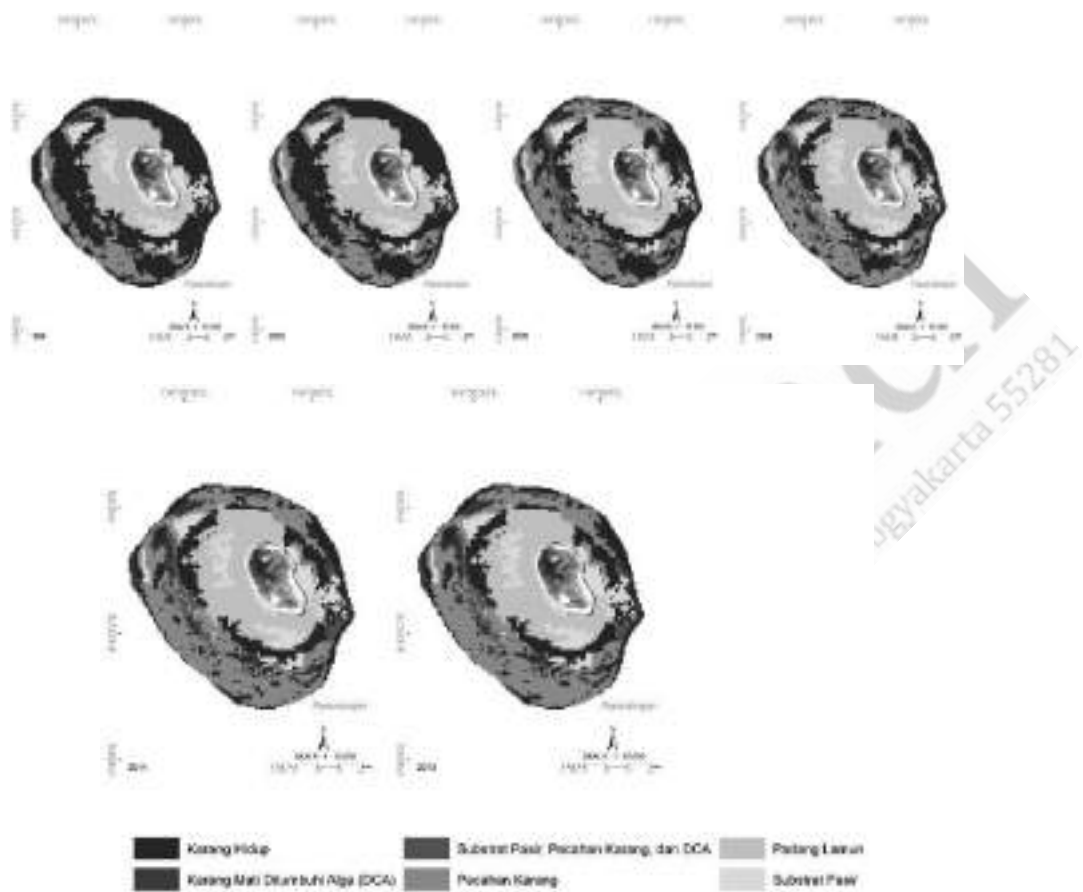


Gambar 4.34 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandayang
Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi 15 m)

Hasil analisis *post classification* Pulau Papandangan dengan menggunakan citra resolusi 60 m, menunjukkan bahwa terjadi perubahan pada substrat karang hidup dan padang lamun. Pada periode 1972 – 1981 perubahan terbesar terjadi pada padang lamun menjadi pasir, kemudian substrat karang hidup menjadi pasir dan karang mati. Sementara itu, pada periode 1978 – 1981 perubahan luasan terbesar terjadi pada pasir menjadi padang lamun dan karang hidup menjadi pecahan karang (Tabel 4.20).

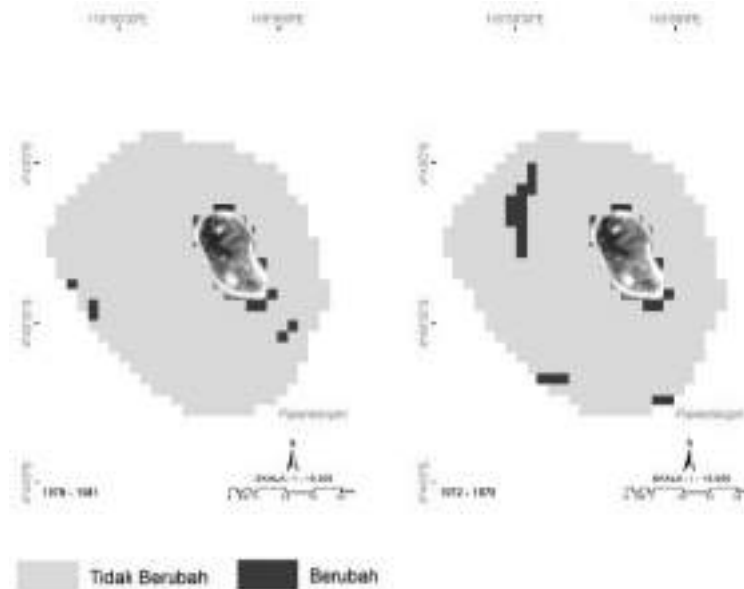
Tabel 4.20 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandangan Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)					
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pasir	Padang Lamun	Total
1972 – 1978						
• Karang Hidup	107,75	0,74	1,11	-	-	109,60
• Karang Mati Beralga	-	0,37	-	-	-	0,37
• Pecahan Karang	-	-	1,84	-	-	1,84
• Pasir	-	-	-	24,72	-	24,72
• Padang Lamun	-	-	-	5,91	32,10	38,01
Total	107,75	1,11	2,95	30,63	32,10	174,54
1978 – 1981						
• Karang Hidup	105,9	0,74	1,11	-	-	107,75
• Karang Mati Beralga	-	1,11	-	-	-	1,11
• Pecahan Karang	-	-	2,95	-	-	2,95
• Pasir	-	-	-	29,52	1,11	30,63
• Padang Lamun	-	-	-	-	32,1	32,1
Total	105,9	1,85	4,06	29,52	33,21	174,54



Gambar 4.35 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m)

Banyak hal yang dapat mengakibatkan kerusakan terumbu karang selain dari aktivitas manusia, salah satunya dari peningkatan suhu permukaan laut yang telah menyebabkan pemutihan karang (*bleaching*) yang lebih parah dan lebih sering. Peristiwa-peristiwa alam seperti *El Nino* dan tsunami juga menyebabkan kerusakan yang serius terhadap kelangsungan hidup terumbu karang.



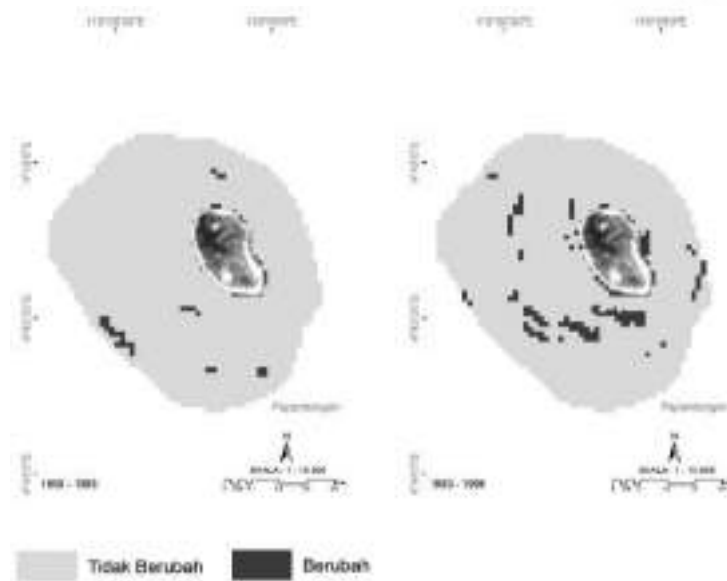
Gambar 4.36 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981 (Resolusi Spasial 60 m)

Periode 1990 – 1993 perubahan hanya terjadi pada substrat karang hidup dan padang lamun. Perubahan terluas terjadi pada substrat karang hidup menjadi pecahan karang sekitar 1,43 ha. Disusul substrat padang lamun menjadi pasir seluas 0,63 ha. Periode 1993 – 1996 perubahan terbesar terjadi pada substrat lamun menjadi pasir seluas 4,91 ha, sementara itu perubahan karang hidup menjadi pecahan karang dan karang mati dengan total 1,97 ha.

Tabel 4.21 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandangan Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)					
	Karang Hidup	Karang Mati	Pecahan Karang	Pasir	Padang Lamun	Total
1990 – 1993						
• Karang Hidup	97,48	0,54	1,43	-	-	99,45
• Karang Mati	-	2,43	-	-	-	2,43
• Pecahan Karang	-	-	15,33	-	-	15,33
• Pasir	-	-	-	17,28	-	17,28
• Padang Lamun	-	-	-	0,63	39,29	39,92

Total	97,48	2,97	16,76	17,91	39,29	174,41
1993 – 1996						
• Karang Hidup	92,27	0,45	4,77	-	-	97,49
• Karang Mati	-	2,97	-	-	-	2,97
• Pecahan Karang	-	-	16,76	-	-	16,76
• Pasir	-	-	-	17,91	-	17,91
• Padang Lamun	-	-	-	4,91	34,39	39,30
Total	92,27	3,42	21,53	22,82	34,39	174,43



Gambar 4.37 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandang Berdasarkan Periode Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 (Resolusi Spasial 30 m)

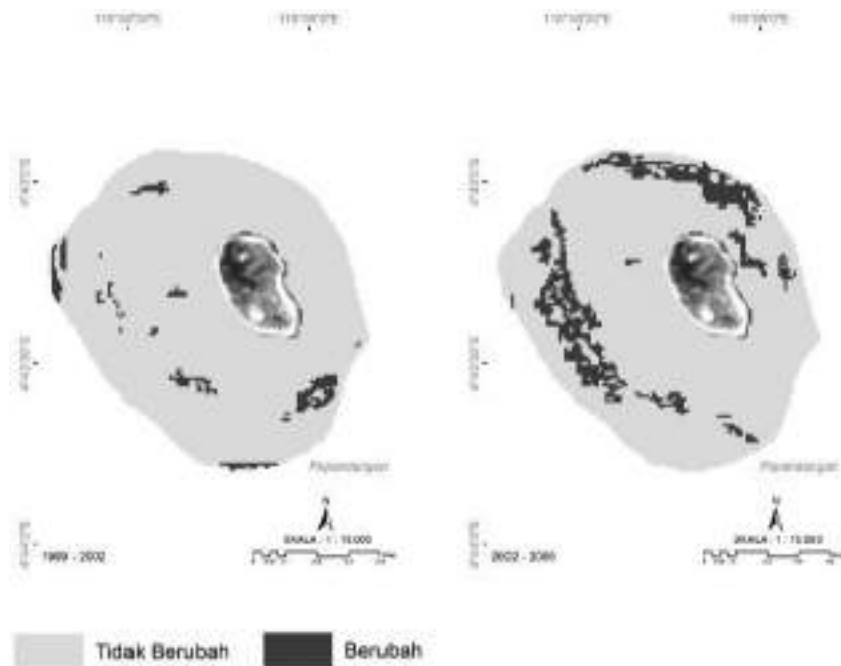
Periode 1999 – 2002 perubahan terbesar terjadi pada substrat karang hidup menjadi pecahan karang. Perubahan substrat lamun menjadi pasir hanya sekitar 0,34 ha. Total perubahan karang hidup menjadi karang mati dan pecahan karang pada periode ini sebesar 6,6 ha. Selanjutnya, periode 2002 – 2005 perubahan tidak hanya terjadi pada substrat karang hidup dan padang lamun, namun juga terjadi pada karang mati. Perubahan substrat karang mati menjadi pecahan karang merupakan perubahan luasan tertinggi dibandingkan periode-periode sebelumnya. Total luasan perubahan karang hidup menjadi karang mati beralga, pecahan karang, serta campuran antara pecahan karang, karang mati, dan pasir sebesar 22,8 ha. Perubahan juga terjadi pada komponen karang mati menjadi pecahan karang sekitar 0,03 ha dan pasir menjadi padang lamun sekitar 0,16 ha.

Tabel 4.22 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 1999 – 2002

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)					
	Karang Hidup	Karang Mati	Pecahan Karang	Pasir	Padang Lamun	Total
1999 – 2002						
• Karang Hidup	80,06	0,73	5,87	-	-	86,66
• Karang Mati Beralga	-	3,80	-	-	-	3,80
• Pecahan Karang	-	-	24,67	-	-	24,67
• Pasir	-	-	-	19,83	-	19,83
• Padang Lamun	-	-	-	0,34	39,15	39,49
Total	80,06	4,53	30,54	20,16	39,15	174,44

Tabel 4.23 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang Tahun 2002 – 2005

Tahun	Karang Hidup	Karang Mati	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Pasir & Karang Mati	Pasir	Padang Lamun	Total
2002 – 2005							
• Karang Hidup	57,25	2,43	16,03	4,34	-	-	80,06
• Karang Mati	-	4,50	0,03	-	-	-	4,53
• Pecahan Karang	-	-	30,54	-	-	-	30,54
• Pecahan Karang, Karang Mati & Pasir	-	-	-	-	-	-	-
• Pasir	-	-	-	-	20,01	0,16	20,16
• Padang Lamun	-	-	-	-	-	39,15	39,15
Total	57,25	6,93	46,60	4,34	20,01	39,31	174,44

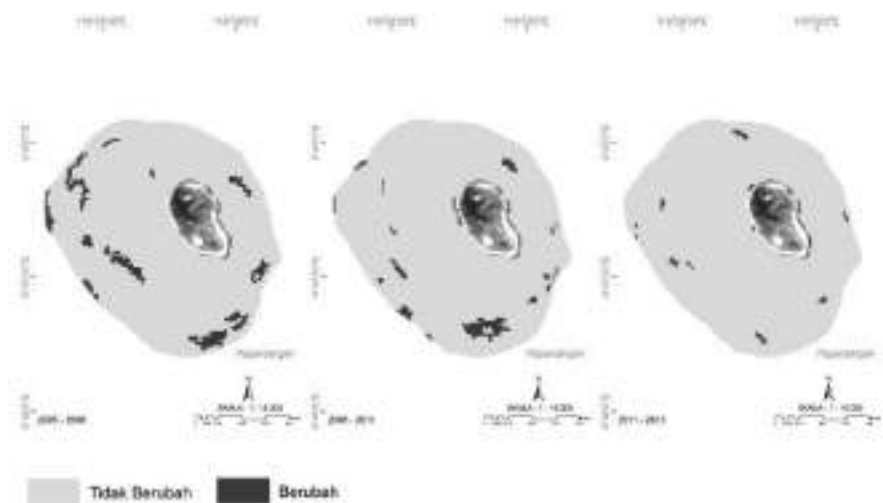


Gambar 4.38 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandayang Berdasarkan Periode Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 (Resolusi Spasial 15 m)

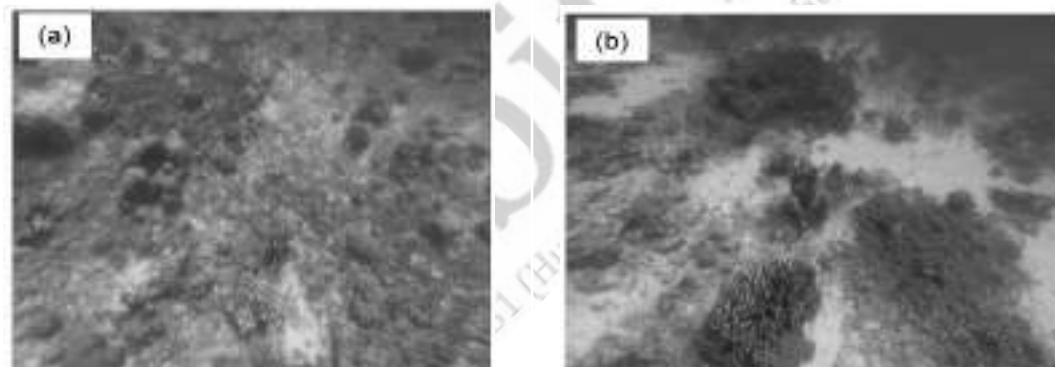
Periode 2005 – 2013 menggunakan citra satelit dengan resolusi spasial 15 m, tutupan perairan dangkal di Pulau Papandayang memiliki perubahan yang lebih bervariasi. Pada periode 2005 – 2008 perubahan terbesar terjadi pada substrat karang hidup menjadi pecahan karang, kemudian karang hidup menjadi karang mati beralga, dan pecahan karang menjadi karang mati beralga. Luas total perubahan substrat karang hidup menjadi karang mati, pecahan karang, dan *mix bottom* sebesar 9,26 ha. Selanjutnya, periode 2008 – 2011 perubahan terbesar juga terjadi pada substrat karang hidup menjadi pecahan karang, demikian pula pada periode 2011 – 2013.

Tabel 4.24 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Papandayang
Tahun 2005 – 2008, 2008 – 2011, dan 2011 – 2013

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
2005 – 2008							
• Karang Hidup	47,99	3,16	5,22	0,88	-	-	57,25
• Karang Mati Beralga	-	6,93	-	-	-	-	6,93
• Pecahan Karang	-	0,88	45,73	-	-	-	46,60
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	4,34	-	-	4,34
• Pasir	-	-	-	-	20,01	-	20,01
• Padang Lamun	-	-	-	-	0,14	39,17	39,31
Total	47,99	10,97	50,95	5,22	20,14	39,17	174,44
2008 – 2011							
• Karang Hidup	42,39	0,97	4,51	0,14	-	-	47,99
• Karang Mati Beralga	-	10,97	-	-	-	-	10,97
• Pecahan Karang	-	0,18	50,77	-	-	-	50,95
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	5,22	-	-	5,22
• Pasir	-	-	-	-	19,85	0,29	20,14
• Padang Lamun	-	-	-	-	-	39,17	39,17
Total	42,39	12,12	55,27	5,36	19,85	39,46	174,44
2011 – 2013							
• Karang Hidup	41,33	0,13	0,83	0,09	-	-	42,39
• Karang Mati Beralga	-	11,92	0,19	-	-	-	12,12
• Pecahan Karang	-	0,09	54,98	0,20	-	-	55,27
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	5,36	19,69	-	5,36
• Pasir	-	-	-	-	-	0,16	19,85
• Padang Lamun	-	-	-	-	-	39,46	39,46
Total	41,33	12,15	56,00	5,65	19,69	39,62	174,44



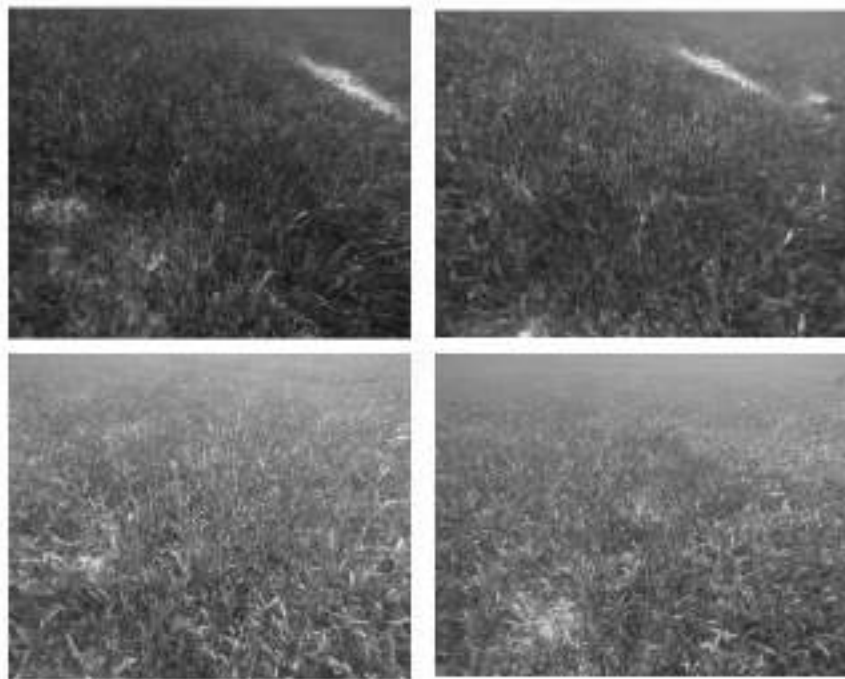
Gambar 4.39 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Papandayang Periode Tahun 2005 – 2008, 2008 – 2011, dan 2011 – 2013 (Resolusi Spasial 15 m)



(a) Pecahan Karang 80%, Rock 10%, Karang Hidup 5% dan Pasir 5% pada Titik Koordinat $118^{\circ}58'21,991''E-4^{\circ}43'19,204''S$

(b) Pasir 50%, Pecahan Karang 10%, Karang Hidup 10% dan Rock 30% pada Titik Koordinat $118^{\circ}58'40,992''E-4^{\circ}43'32,679''S$

Gambar 4.40 Kondisi Perairan Dangkal di Pulau Papandayang



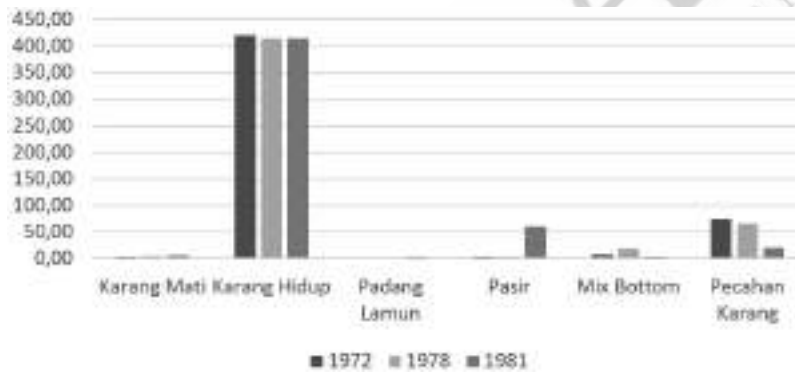
Gambar 4.41 Kondisi Tutupan Lamun di Pulau Papandangang pada Titik Koordinat $118^{\circ}58'57,839''E - 4^{\circ}43'24,924''S$

4.4. Dinamika Spasial Selama 41 Tahun Pulau Lanyukang

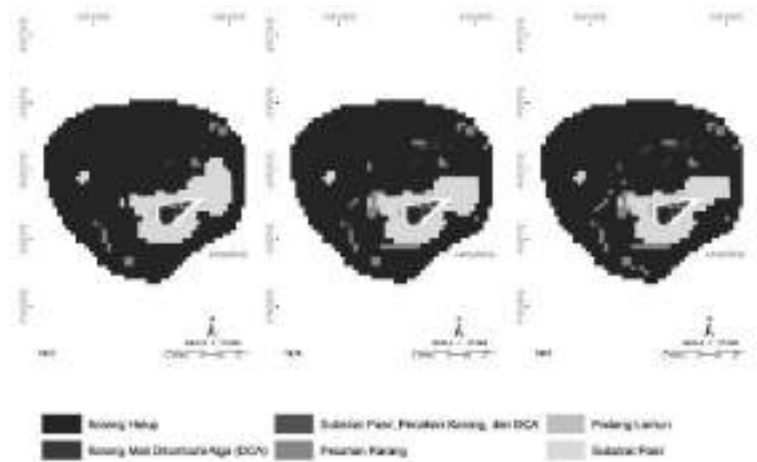
Dinamika spasial tutupan dasar wilayah perairan dangkal Pulau Lanyukang dilakukan dengan menggunakan citra Landsat beresolusi spasial 60 m, 30 m, dan 15 m. Periode 1972–1981, analisis tutupan dasar wilayah perairan dangkal Pulau Lanyukang menggunakan resolusi spasial 60 m dan diperoleh luas tutupan perairan dangkal sebesar 505,52 ha. Dari total luasan tersebut (Gambar 4.42), grafik substrat karang hidup mendominasi tutupan dasar perairan dangkal di Pulau Lanyukang dengan luasan lebih dari 80%. Meski demikian, dapat dilihat bahwa tutupan karang hidup di Pulau Lanyukang pada periode ini mengalami penurunan luasan sekitar 6,08 ha. Penurunan luasan juga terjadi pada tutupan pasir dengan penurunan luasan 13,82 ha. Penurunan luasan karang hidup dan pasir berbanding terbalik dengan kenaikan luasan yang terjadi pada substrat karang mati beralga, lamun, dan pecahan karang. Kenaikan luasan tertinggi terjadi pada substrat pecahan karang sebesar 13,29 ha, kemudian karang mati sebesar 4,06 ha, dan lamun sebesar 1,82 ha. Tutupan dasar *mix bottom* atau campuran antara karang mati beralga, pecahan karang, dan pasir baru ditemukan pada tahun 1981 dengan luas sebesar 0,74 ha.

Tabel 4.25 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang
Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996

Kelas	Resolusi 60 m			Resolusi 30 m		
	1972	1978	1981	1990	1993	1996
• Karang Hidup	420,71	413,98	414,63	345,45	329,46	297,42
• Karang Mati Beralga	2,58	4,80	6,64	35,63	41,96	49,72
• Pasir	74,01	65,63	60,19	48,20	48,02	48,96
• Lamun	0,83	2,28	2,65	4,68	4,86	3,78
• Pecahan Karang	7,38	18,82	20,67	15,30	23,13	33,40
• Karang Mati Beralga, Pecahan Karang & Pasir			0,74	56,81	58,64	72,78
Total	505,52	505,52	505,52	506,07	506,07	506,07

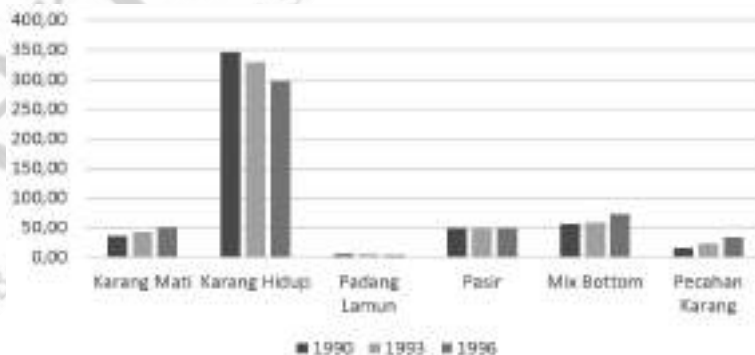


Gambar 4.42 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang
Tahun 1972, 1978, dan 1981 (resolusi 60 m)



Gambar 4.43 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 m)

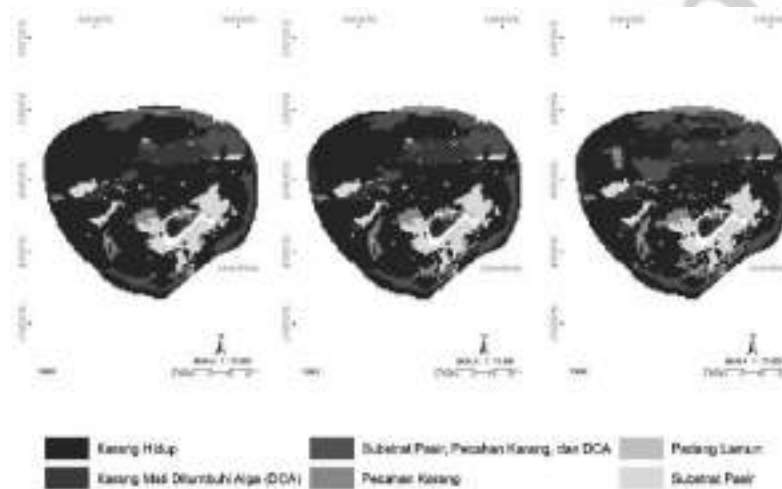
Dengan resolusi spasial 30 m, luas wilayah perairan dangkal di Pulau Lanyukang pada periode 1990 – 1996 sebesar 506,07 ha. Berdasarkan hasil analisis spasial, diperoleh bahwa substrat karang hidup juga masih mendominasi tutupan dasar perairan Pulau Lanyukang, namun mengalami penurunan persentase dibandingkan periode sebelumnya. Pada periode ini, persentase tutupan karang hidup hanya sekitar 58% tahun. Dalam kurun waktu 6 tahun tersebut, telah terjadi penurunan luas tutupan karang hidup sekitar 48,03 ha di Pulau Lanyukang. Seperti pada periode sebelumnya, penambahan luasan juga terjadi pada substrat karang mati, *mix bottom*, pecahan karang, dan berbanding terbalik dengan periode sebelumnya. Pada periode ini substrat lamun mengalami kenaikan luasan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.44.



Gambar 4.44 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi 30 m)

Periode 1999 – 2013, analisis spasial perairan dangkal di Pulau Lanyukang menggunakan citra satelit dengan resolusi spasial 15 m. Dari hasil analisis, diperoleh luas wilayah perairan dangkal yang bervariasi (Tabel 4.26). Tabel 4.26 memperlihatkan dinamika luasan tutupan dasar perairan Pulau Lanyukang pada periode 1999 – 2013.

Tutupan karang hidup mendominasi wilayah perairan dangkal Pulau Lanyukang pada periode 1999 – 2005. Meski demikian, pada tahun 1999 – 2005 telah terjadi penurunan luas tutupan karang hidup sebesar 149,06 ha. Substrat lain yang mengalami penurunan luasan adalah lamun. Pada grafik dapat dilihat substrat karang hidup, tutupan karang mati pecahan karang, dan *mix bottom* terus mengalami peningkatan luasan.

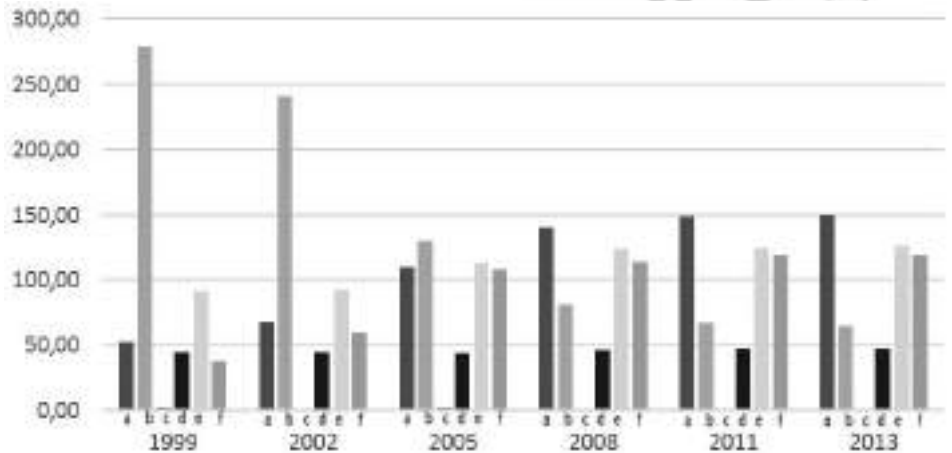


Gambar 4.45 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)

Periode 2008 – 2013 wilayah perairan dangkal Pulau Lanyukang lebih didominasi oleh substrat karang mati beralga, pecahan karang, dan *mix bottom*. Pada periode ini karang mati beralga mengalami kenaikan luasan sebesar 9,06 ha. Sedangkan apabila dihitung sejak tahun 1999 maka peningkatan luasan tutupan karang hidup di Pulau Lanyukang mencapai 97,09 ha dalam kurun waktu 14 tahun. Untuk substrat pecahan karang dan *mix bottom*, peningkatan luasan masing-masing sejak tahun 1999 – 2013 sebesar 81,78 ha dan 34,48 ha.

Tabel 4.26 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang
Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013

Kelas	Resolusi 15 m					
	1999	2002	2005	2008	2011	2013
• Karang Hidup	278,54	240,85	129,48	81,05	67,28	64,18
• Karang Mati Beralga	52,61	68,12	109,66	140,64	148,83	149,70
• Lamun	1,60	1,44	1,53	0,78	0,85	0,87
• Pasir	44,55	44,75	43,95	46,43	47,30	47,31
• Pecahan Karang	37,70	59,00	107,94	114,33	119,01	119,48
• Pasir, Pecahan Karang & Karang Mati Beralga	91,84	92,71	113,60	123,97	124,74	126,32
Total	506,83	506,88	506,17	507,19	508,01	507,87



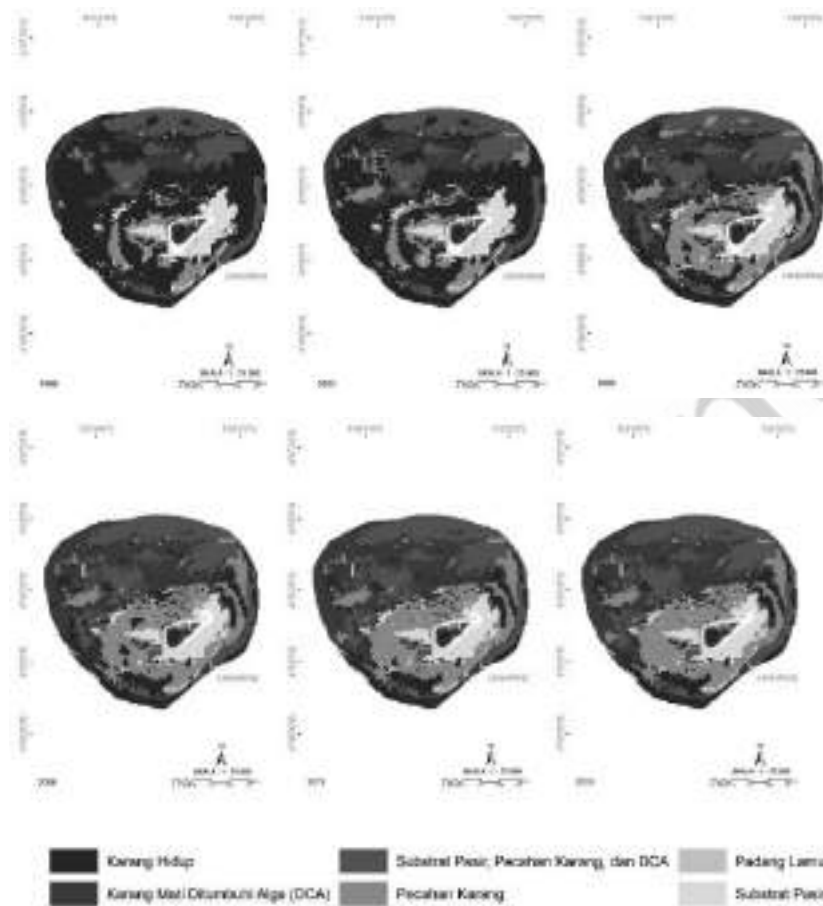
a. Karang Mati b. Karang Hidup c. Padang Lamun d. Pasir e. Mix Bottom f. Pecahan Karang

Gambar 4.46 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang
Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi 15 m)

Periode 1978 – 1981 perubahan juga terjadi pada tutupan karang hidup dan pasir. Perubahan luasan terbesar terjadi pada substrat karang hidup menjadi pecahan karang sebesar 2,58 ha dan menjadi karang mati sebesar 1,84 ha. Pada periode ini juga terjadi perubahan kelas pecahan karang menjadi *mix bottom* dengan perubahan luasan sebesar 0,37 ha. Untuk lebih jelasnya, perubahan luasan tutupan dasar perairan Pulau Lanyukang periode 1972 – 1978 dan 1978 – 1981 dapat dilihat pada Tabel 4.27.

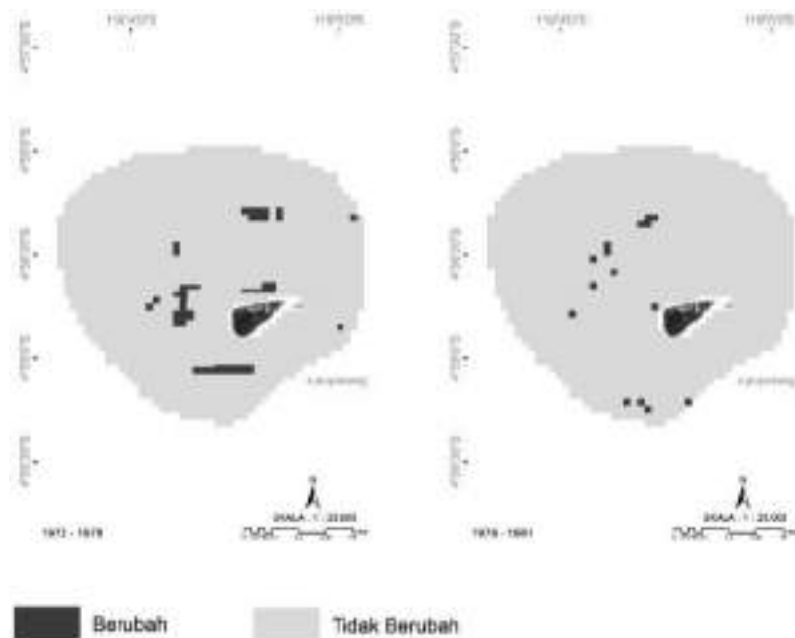
Tabel 4.27 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang
Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1972 – 1978							
• Karang Hidup	407,05	2,21	11,44	-	-	-	420,70
• Karang Mati Beralga	-	2,58	-	-	-	-	2,58
• Pecahan Karang	-	-	7,38	-	-	-	7,38
• Pasir	6,93	-	-	-	65,63	1,45	74,01
• Padang Lamun	-	-	-	-	-	0,83	0,83
Total	413,98	4,79	18,82	0,00	65,63	2,28	505,50
1978 – 1981							
• Karang Hidup	409,55	1,84	2,58	-	-	-	413,97
• Karang Mati Beralga	-	4,8	-	-	-	-	4,80
• Pecahan Karang	-	-	18,09	0,74	-	-	18,82
• Pasir	5,07	-	-	-	60,19	0,37	65,63
• Padang Lamun	-	-	-	-	-	2,28	2,28
Total	414,63	6,64	20,67	0,74	60,19	2,65	505,51

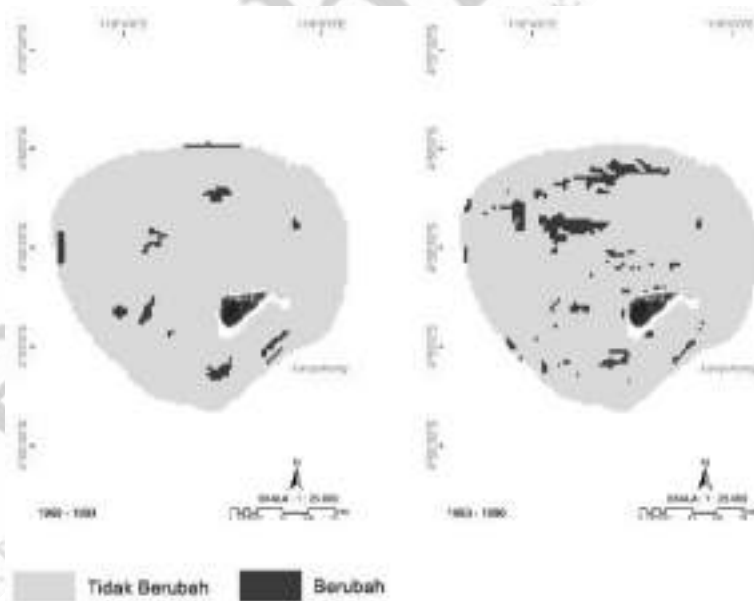


Gambar 4.47 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 m)

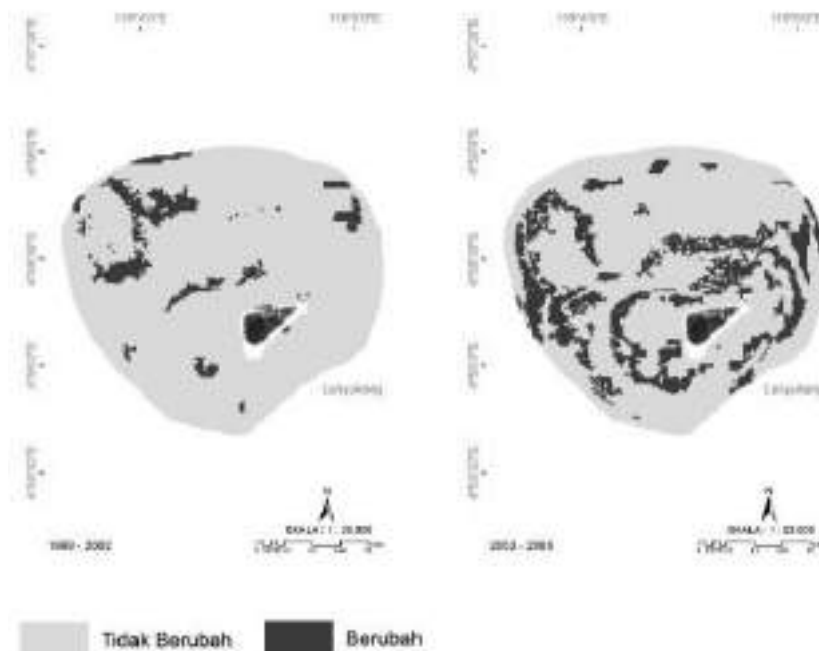
Hasil analisis spasial dengan menggunakan metode *post classification*, tutupan dasar wilayah perairan dangkal Pulau Lanyukang periode 1972 – 1978 menunjukkan terjadinya perubahan tutupan karang hidup menjadi karang mati beralga dan pecahan karang dengan luas total perubahan sebesar 13,65 ha. Perubahan juga terjadi pada substrat pasir menjadi lamun sebesar 1,45 ha.



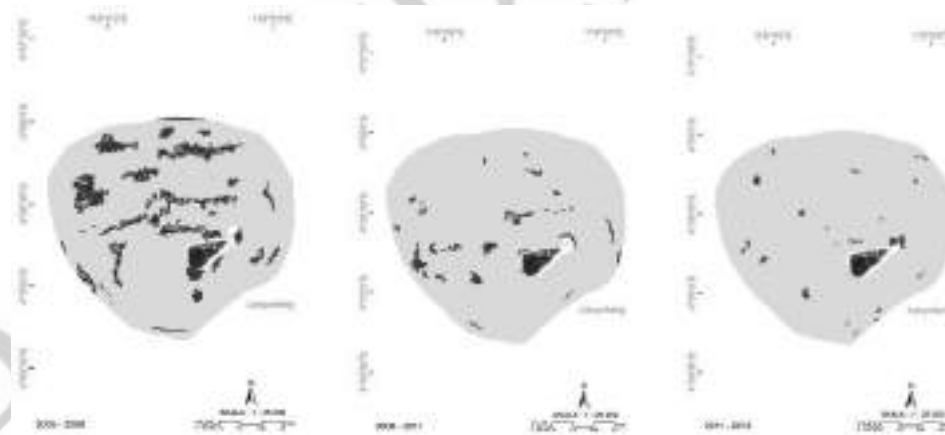
Gambar 4.48 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Periode Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981 (Resolusi Spasial 60 m)



Gambar 4.49 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang Periode Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 (Resolusi Spasial 30 m)



Gambar 4.50 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang Periode Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 (Resolusi Spasial 15 m)



Gambar 4.51 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Lanyukang Periode Tahun 2005 – 2008, 2008 – 2011, dan 2011 – 2013 (Resolusi Spasial 15 m)

Periode 1990 – 1996 dengan menggunakan citra beresolusi spasial 30 m, perubahan tutupan dasar perairan dangkal di Pulau Lanyukang lebih bervariasi. Pada periode ini, perubahan terjadi pada karang hidup menjadi karang mati, pecahan karang, dan *mix bottom*.

Perubahan terbesar pada periode ini terjadi pada tutupan karang hidup menjadi pecahan karang seluas 7,83 ha. Perubahan dengan luasan terkecil terjadi pada tutupan pasir menjadi padang lamun seluas 0,18 ha.

Periode 1993 – 1996 perubahan terjadi pada substrat karang hidup, karang mati, *mix bottom*, pasir, dan padang lamun. Perubahan terluas terjadi pada karang hidup menjadi *mix bottom*, sedangkan perubahan luasan terkecil terjadi pada kelas *mix bottom* menjadi pasir. Total perubahan tutupan karang hidup menjadi karang mati beralga, pecahan karang, dan *mix bottom* sebesar 32,03 ha. Lebih luas dibandingkan periode 1990 – 1993 yang hanya sekitar 15,99 ha. Pada periode ini perubahan juga terjadi pada substrat lamun menjadi pasir dan substrat pasir menjadi *mix bottom*. Untuk lebih jelasnya perubahan luasan tutupan perairan dangkal pada periode 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 disajikan pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1990 – 1993							
• Karang Hidup	329,46	6,33	7,83	1,83	-	-	345,46
• Karang Mati Beralga	-	35,63	-	-	-	-	35,63
• Pecahan Karang	-	-	15,30	-	-	-	15,30
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	56,81	-	-	56,81
• Pasir	-	-	-	-	48,02	0,18	48,20
• Padang Lamun	-	-	-	-	-	4,5	4,50
Total	329,46	41,96	23,13	58,64	48,02	4,68	505,89
1993 – 1996							
• Karang Hidup	297,42	7,76	10,26	14,01	-	-	329,45
• Karang Mati Beralga	-	41,96	-	-	4,58	-	46,54
• Pecahan Karang	-	-	23,13	-	-	-	23,13

• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	58,37	0,27	-	58,64
• Pasir	0,57	-	-	0,41	47,61	-	48,59
• Padang Lamun	-	-	-	-	1,08	3,78	4,86
Total	297,99	49,72	33,40	72,78	53,54	3,78	511,22

Hasil analisis spasial dengan metode *post classification* di Pulau Lanyukang periode 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 juga menunjukkan fenomena-fenomena yang sama seperti periode-periode sebelumnya, yakni perubahan terluas terjadi pada tutupan karang hidup dan perubahan-perubahan lain yang terjadi pada substrat karang mati, pecahan karang, *mix bottom*, pasir, serta lamun. Pada kedua periode ini terjadi fenomena akresi ditandai dengan perubahan tutupan substrat pasir menjadi daratan dari tahun 1999 – 2005 sebesar 0,78 ha.

Tabel 4.29 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)							
	Karang Hidup	Karang Mati beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati beralga & Pasir	Pasir	Darat	Padang Lamun	Total
1999 – 2002								
• Karang Hidup	240,85	16,25	20,88	0,56	-	-	-	278,54
• Karang Mati Beralga	-	51,88	0,73	-	-	-	-	52,61
• Pecahan Karang	-	-	37,39	0,31	-	-	-	37,70
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	91,84	-	-	-	91,84
• Pasir	-	-	-	0,00	44,28	0,06	0,20	44,55
• Darat					0,12			
• Padang Lamun	-	-	-		0,36		1,24	1,60
Total	240,85	68,12	59,00	92,71	44,75	0,06	1,44	506,83
2002 – 2005								
• Karang Hidup	129,48	40,97	51,34	19,05	-	-	-	240,85
• Karang Mati Beralga	-	68,12	-	-	-	-	-	68,12

• Pecahan Karang	-	0,57	56,28	2,15	-	-	-	59,00
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	0,32	92,40	-	-	-	92,71
• Pasir	-	-	-	-	43,95	0,72	0,09	44,75
• Darat					-			
• Padang Lamun	-	-	-		-		1,44	1,44
Total	129,48	109,66	107,94	113,60	43,95	0,72	1,53	506,87

Periode tahun 2005 – 2008, tutupan dasar perairan yang mengalami perubahan terluas adalah karang hidup. Pada periode ini perubahan karang hidup menjadi karang mati mencapai 30,75 ha, terluas dibandingkan periode-periode sebelumnya. Pecahan karang juga mengalami perubahan menjadi karang mati, *mix bottom*, dan pasir. Luas pecahan karang yang mengalami perubahan pada periode ini adalah sekitar 6,7 ha, terluas dibandingkan perubahan-perubahan pecahan karang yang terjadi pada periode sebelumnya. Pada periode ini juga terjadi fenomena akresi yang ditandai dengan perubahan pasir menjadi daratan seluas 1,07 ha.

Selanjutnya, periode 2008 – 2011 perubahan luasan terluas juga masih terjadi pada tutupan karang hidup dengan total perubahan menjadi karang mati, pecahan karang, dan *mix bottom* seluas 13,76 ha. Perubahan lain juga terjadi pada substrat pecahan karang dan pasir. Perubahan lain terjadi pada substrat pasir menjadi tutupan lamun seluas 0,07 ha. Untuk lebih jelasnya, perubahan luasan substrat tutupan dasar perairan pada periode 2005 – 2008 dan 2008 – 2011 dapat disajikan pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)							
	Karang Hidup	Karang Mati	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati & Pasir	Pasir	Darat	Padang Lamun	Total
2005 – 2008								
• Karang Hidup	81,05	30,75	13,09	4,60	-		-	129,48
• Karang Mati Beralga	-	109,57	0,09	-	-		-	109,66
• Pecahan Karang	-	0,31	101,24	5,68	0,71		-	107,94

• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	113,60	-	-	-	113,60
• Pasir	-	-	-	-	42,88	1,07	-	43,95
• Darat					2,09			
• Padang Lamun	-	-	-		0,75		0,78	1,53
Total	81,05	140,64	114,42	123,88	46,43	1,07	0,78	506,17
2008 – 2011								
• Karang Hidup	67,28	8,09	4,91	0,76	-		-	81,05
• Karang Mati Beralga	-	140,63	-	-	-		-	140,63
• Pecahan Karang	-	0,11	114,10	-	0,12		-	114,33
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	123,97	-	-	-	123,97
• Pasir	-	-	-	-	46,36	-	0,07	46,43
• Darat					0,83			
• Padang Lamun	-	-	-		-		0,78	0,78
Total	67,28	148,83	119,01	124,73	47,30		0,85	507,18

Periode 2011 – 2013, perubahan terluas terjadi pada karang hidup seluas 3,11 ha. Sementara itu, substrat pecahan karang mengalami perubahan menjadi karang mati beralga dan pasir seluas 0,49 ha, karang mati menjadi *mix bottom* seluas 0,90 ha. Pada periode ini juga terjadi fenomena akresi ditandai dengan perubahan pasir menjadi daratan seluas 0,81 ha. Dengan demikian sejak 1999 – 2013 perubahan substrat pasir menjadi daratan di Pulau Lanyukang sebesar 2,66 ha.

Tabel 4.31 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Lanyukang
Tahun 2011 – 2013

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)							
	Karang Hidup	Karang Mati	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Darat	Padang Lamun	Total
2011 – 2013								
• Karang Hidup	64,18	1,46	1,30	0,35	-	-	-	67,28
• Karang Mati Beralga	-	147,93	-	0,90	-	-	-	148,83
• Pecahan Karang	-	0,31	118,18	0,33	0,18	-	-	119,01
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga, dan Pasir	-	-	-	124,74	-	-	-	124,74
• Pasir	-	-	-	-	46,47	0,81	0,02	47,30
• Darat					0,66			
• Padang Lamun	-	-	-	-	-		0,85	0,85
Total	64,18	149,70	119,48	126,32	47,31	0,81	0,87	508,01

4.5. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Kapoposang

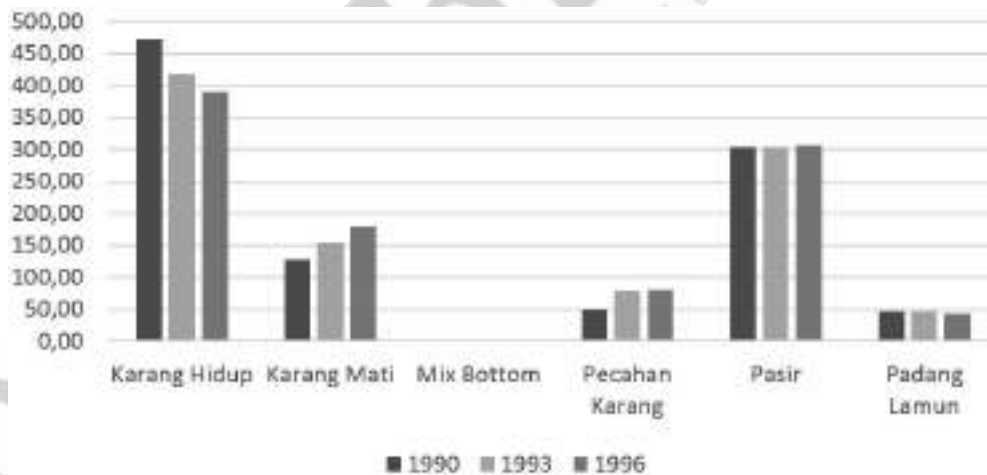
Hasil analisis citra Landsat dengan resolusi spasial 30 m tahun 1990, 1993, dan 1996 untuk Pulau Kapoposang diperoleh luas wilayah perairan dangkalnya sekitar 1.000,35 ha. Luasan ini dapat dilihat pada Tabel 4.32, bahwa komponen tutupan dasar perairan dangkal di Pulau Kapoposang terdiri dari karang hidup, karang mati beralga, pasir, lamun, pecahan karang, dan *mix bottom* (campuran antara karang mati beralga, pecahan karang, dan pasir).

Tabel 4.32 Tabel Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Kapoposang
Tahun 1990, 1993, dan 1996

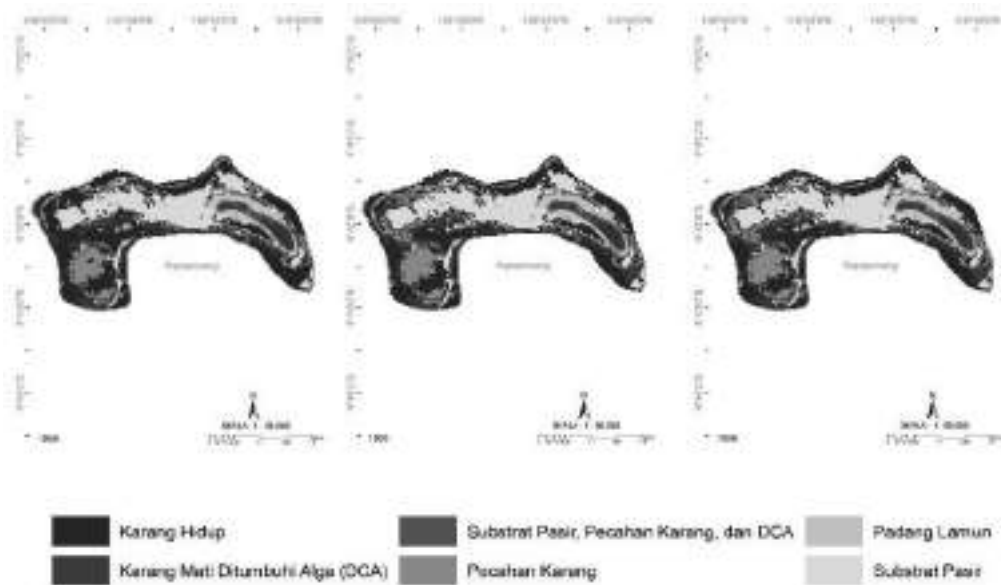
Kelas	Resolusi 30 m		
	1990	1993	1996
• Karang Hidup	471,98	417,15	389,43
• Karang Mati Beralga	128,79	154,17	179,28
• Pasir	303,03	303,03	306,36

• Lamun	46,35	46,35	43,02
• Pecahan Karang	50,20	78,12	80,64
• Karang Mati Beralga, Pecahan Karang & Pasir		1,53	1,62
Total	1000,35	1000,35	1000,35

Pada Gambar 4.52, terlihat bahwa grafik tutupan perairan dangkal di Pulau Kapoposang pada periode 1990 – 1996 masih di dominasi oleh tutupan karang hidup, kemudian pasir, karang mati beralga, pecahan karang, padang lamun, dan *mix bottom*. Tutupan karang hidup mendominasi tutupan dasar wilayah perairan dangkal sekitar 38,92% pada tahun 1996. Meski demikian, dibandingkan dengan tahun 1990 tutupan substrat karang hidup di Pulau Kapoposang masih mendominasi sekitar 47,18%. Dengan demikian, dalam kurun waktu 6 tahun tersebut telah terjadi degradasi tutupan karang hidup di Pulau Kapoposang sekitar 82,55 ha atau menurun sekitar 8,22% dari luasan awal. Berbanding terbalik dengan karang hidup, substrat karang mati beralga dan pecahan karang terus mengalami kenaikan. Kenaikan tutupan karang mati beralga mencapai 50,49 ha sedangkan pecahan karang sekitar 30,44 ha. Selain karang hidup, padang lamun juga mengalami penurunan luasan sebesar 3,3 ha.



Gambar 4.52 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Kapoposang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)

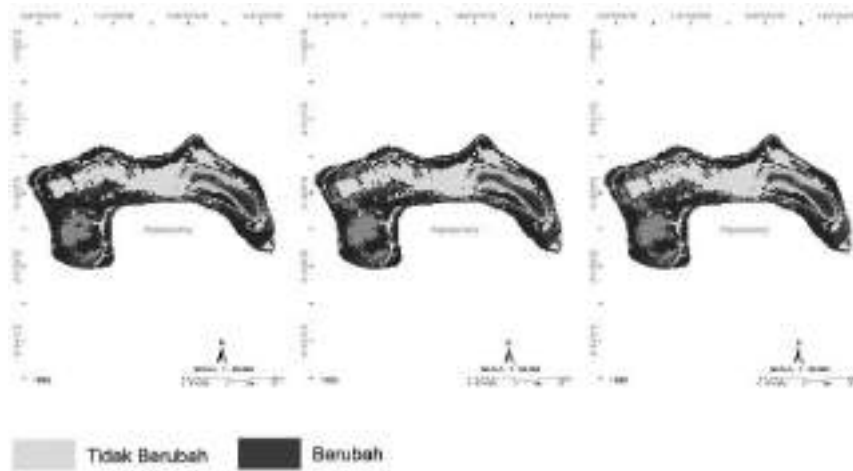


Gambar 4.53 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Kapoposang Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)

Hasil analisis spasial dengan metode *post classification* di Pulau Kapoposang menunjukkan bahwa pada periode tahun 1990 – 1993 telah terjadi perubahan tutupan karang hidup menjadi karang mati, pecahan karang, dan *mix bottom* dengan total luas perubahan sebesar 54,83 ha. Perubahan juga terjadi pada substrat pasir yang berubah menjadi padang lamun sebesar 1,98 ha. Selanjutnya, periode 1993 – 1996 luas perubahan tutupan karang hidup sebesar 27,81 ha dengan perubahan terluas terjadi pada substrat karang hidup menjadi karang mati sebesar 22,68 ha. Perubahan lain juga terjadi pada substrat pecahan karang menjadi karang mati dan padang lamun menjadi pasir. Untuk lebih jelasnya perubahan tutupan dasar perairan dangkal di Pulau Kapoposang periode 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 disajikan pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Kapoposang
Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1990 – 1993							
• Karang Hidup	417,15	25,38	27,92	1,53	-	-	471,98
• Karang Mati Beralga	-	128,79	-		-	-	128,79
• Pecahan Karang	-	-	50,2		-	-	50,20
• Pasir	-	-	-		303,03	1,98	305,01
• Padang Lamun	-	-	-		-	44,37	44,37
Total	417,15	154,17	78,12	1,53	303,03	46,35	1000,35
1993 – 1996							
• Karang Hidup	389,43	22,68	4,95	0,09	0,09	-	417,24
• Karang Mati Beralga	-	154,17	-	-	-	-	154,17
• Pecahan Karang	-	2,43	75,69	-	-	-	78,12
• Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	1,53	-	-	1,53
• Pasir	-	-	-	-	303,03	-	303,03
• Padang Lamun	-	-	-	-	3,33	43,02	46,35
Total	389,43	179,28	80,64	1,62	306,45	43,02	1000,44



Gambar 4.54 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Kapoposang Periode Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 m)



BAB V EKOSISTEM PERAIRAN DANGKAL PULAU TERLUAR TIDAK BERPENGHUNI KEPULAUAN SPERMONDE

5.1. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Pamanggangan

Pulau Pamanggangan merupakan bagian dari Taman Wisata Perairan (TWP) Pulau Kapoposang yang berada dalam wilayah administratif Kecamatan Liukang Tupabiring Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan (Pangkep) serta memiliki luas pulau ± 5 ha. Keberadaan ekosistem pesisir, yaitu terumbu karang dan padang lamun menjadikan Pulau Pamanggangan sebagai salah satu tempat wisata.

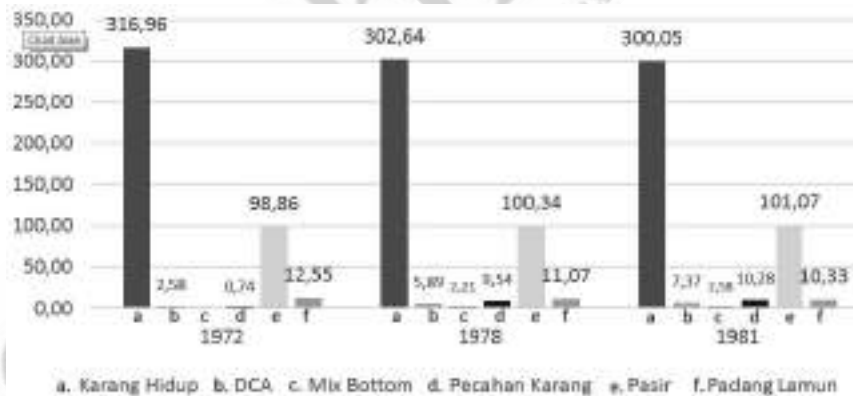
Distribusi dan kondisi penutupan dasar perairan khususnya terumbu karang di Pulau Pamanggangan dapat diketahui melalui nilai luasan objek dan persentase penutupannya dari hasil analisis citra satelit. Berdasarkan hasil analisis citra satelit dengan resolusi 60 meter (tahun 1972, 1978, dan 1981), luas perairan dangkal di Pulau Pamanggangan adalah 431,69 ha. Dari luasan total ini, kelas karang hidup mendominasi sekitar 300 ha lebih perairan dangkal di Pulau Pamanggangan. Meski demikian, luas tutupan karang hidup tersebut pada periode 1978 – 1981 mengalami penurunan luasan sekitar 16,91 ha. Tutupan perairan dangkal lainnya yang mengalami penurunan luasan adalah lamun.

Peningkatan luasan terjadi pada substrat karang mati beralga, pasir, pecahan karang, dan campuran antara pasir, pecahan karang, serta karang mati beralga (*mix bottom*). Sebagaimana disajikan pada Gambar 5.1, tutupan perairan dangkal Pulau Pamanggangan pada periode 1972 – 1981 didominasi oleh karang hidup dan pasir.

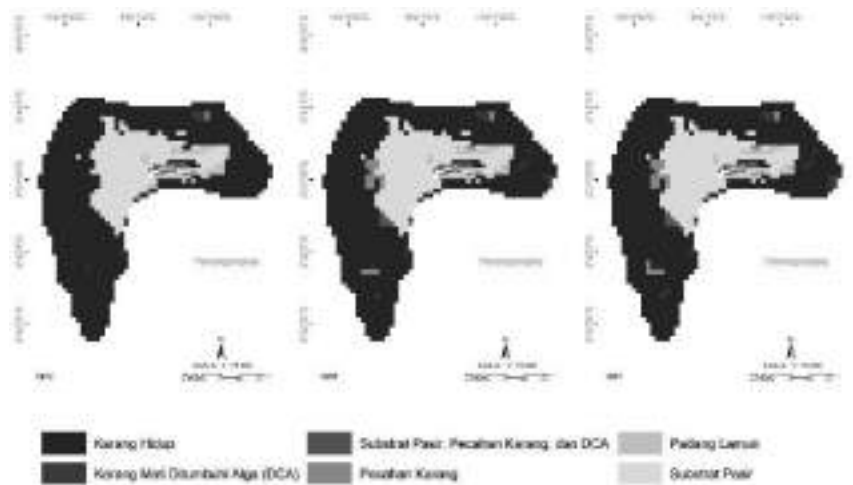
Tabel 5.1 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996

Kelas	Resolusi 60 meter			Resolusi 30 meter		
	1972	1978	1981	1990	1993	1996
Karang Hidup	316,96	302,64	300,05	345,45	234,82	229,51
Karang Mati Beralga	2,58	5,89	7,37	35,63	33,56	36,98
Pasir	98,86	100,34	101,07	48,20	127,50	128,31
Lamun	12,55	11,07	10,33	4,68	17,82	17,01
Pecahan Karang	0,74	9,54	10,28	15,30	15,94	17,56
Karang Mati Beralga, Pecahan Karang & Pasir		2,21	2,58	56,81	8,94	9,21
Total	431,69	431,69	431,69	438,57	438,57	438,57

Perbedaan luasan yang terjadi selain disebabkan oleh adanya perubahan pada tutupan dasar perairan, juga dipengaruhi oleh perbedaan resolusi spasial pada citra yang digunakan karena setiap piksel pada citra dengan resolusi yang berbeda mewakili luas permukaan bumi yang berbeda pula (Tabel 5.1).

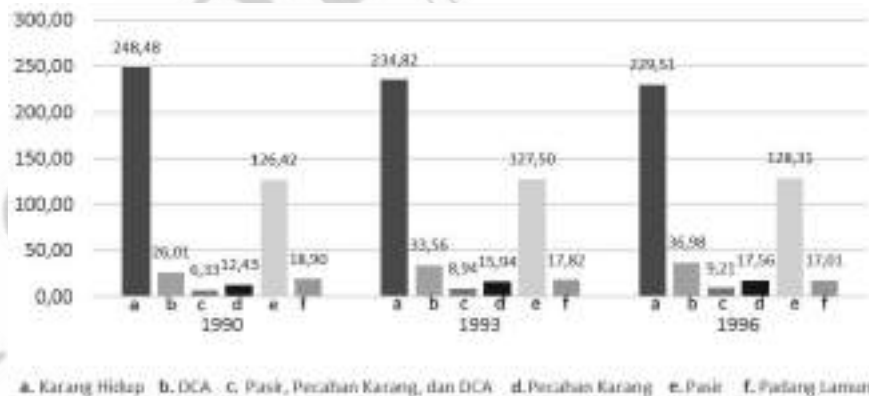


Gambar 5.1 Grafik Luasan Substrat Tutupan Perairan Dangkal Pulau Pamanggangan Berdasarkan Hasil Klasifikasi Citra Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)

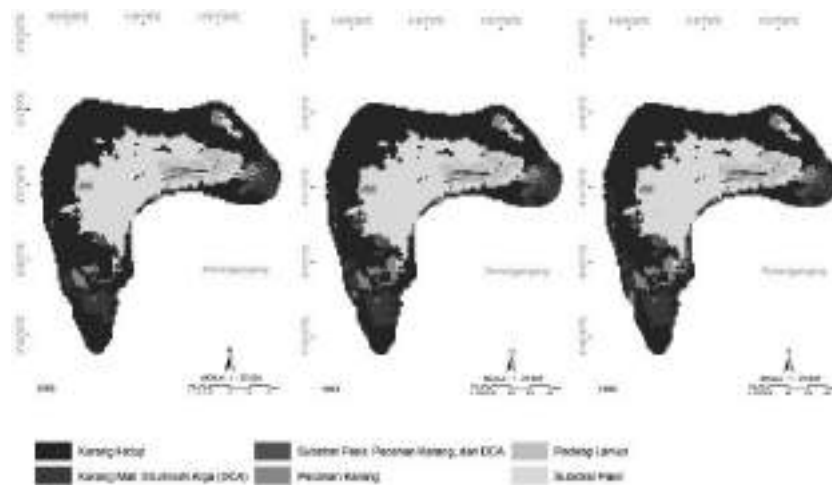


Gambar 5.2 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)

Hasil analisis citra Landsat di Pulau Pamanggangan tahun 1990, 1993, dan 1996 menggunakan citra dengan resolusi 30 meter. Dengan resolusi ini luas wilayah perairan dangkal di Pulau Pamanggangan adalah 438,57 ha. Pada Gambar 5.1 grafik menunjukkan bahwa periode 1972 – 1981 perairan dangkal di Pulau Pamanggangan masih didominasi oleh tutupan karang hidup dan pasir, karang mati beralga, dan padang lamun. Substrat yang mengalami penurunan pada periode ini antara lain karang hidup dan lamun, sedangkan yang mengalami peningkatan adalah karang mati beralga, *mix bottom*, pecahan karang, dan pasir.



Gambar 5.3 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Pamanggangan Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)

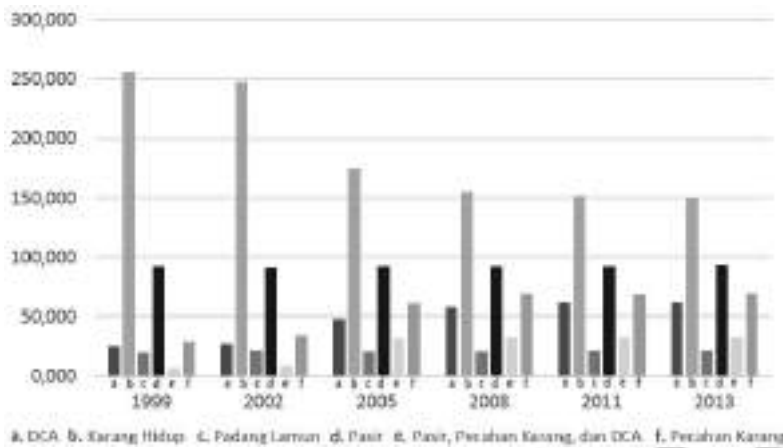


Gambar 5.4 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)

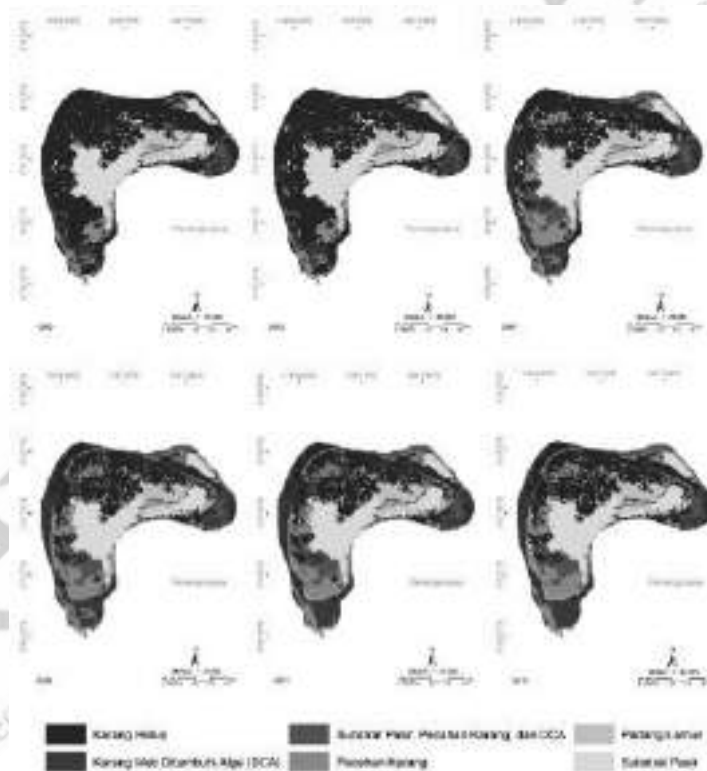
Hasil analisis citra tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 dengan resolusi 15 m diperoleh luas wilayah perairan dangkal Pulau Pamanggangan adalah sekitar 428,92 ha. Sebagaimana disajikan pada Gambar 5.5, tutupan perairan dangkal di Pulau Pamanggangan masih didominasi oleh tutupan karang hidup. Meski demikian pada periode 1999 – 2013 telah terjadi penurunan luas tutupan karang hidup sekitar 105,07 ha. Hal ini berbanding terbalik dengan beberapa substrat yang mengalami kenaikan luasan, yakni substrat karang mati beralga yang mengalami kenaikan luasan sekitar 36,96 ha, substrat pecahan karang sekitar 41,06 ha, dan kelas mix bottom sekitar 25,89 ha.

Tabel 5.2 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013

Kelas	Luasan (ha)					
	1999	2002	2005	2008	2011	2013
Karang Hidup	255,84	247,16	175,02	155,58	151,87	150,05
Karang Mati Beralga	24,96	26,68	48,06	58,28	61,90	61,92
Lamun	20,16	21,38	20,68	20,88	21,15	21,33
Pasir	92,67	91,45	92,16	91,96	92,68	93,38
Pecahan Karang	28,58	34,20	61,26	69,88	68,77	69,64
Pasir, Pecahan Karang & Karang Mati Beralga	6,70	8,03	31,73	32,34	32,54	32,59
Total	428,92	428,92	428,92	428,92	428,92	428,92



Gambar 5.5 Grafik Luasan Tutupan Perairan Dangkal Pulau Pamanggang Berdasarkan Hasil Klasifikasi Citra Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 meter)



Gambar 5.6 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggang Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 meter)

Hasil analisis spasial dengan menggunakan metode *post classification* di Pulau Pamanggangan pada periode tahun 1972 – 1981 menunjukkan bahwa perubahan substrat terluas terjadi pada karang hidup menjadi pecahan karang seluas 8,8 ha. Selain itu, karang hidup juga mengalami perubahan menjadi karang mati beralga dan pecahan karang. Perubahan lain terjadi pada kelas padang lamun menjadi pasir seluas 1,48 ha.

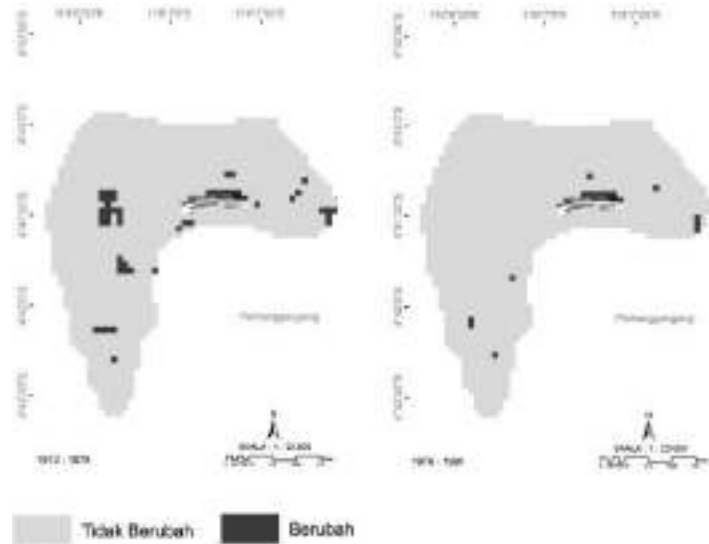
Pada periode 1978 – 1981 perubahan terluas juga terjadi pada substrat karang hidup, dimana perubahannya menjadi karang mati, pecahan karang, dan *mix bottom* mencapai 2,59 ha. Perubahan lain terjadi pada substrat pasir menjadi padang lamun seluas 1,48 ha, sama halnya dengan perubahan substrat karang hidup menjadi karang mati.

Tabel 5.3 Luasan Perubahan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1972 – 1978							
Karang Hidup	302,64	3,31	8,80	2,21	-	-	316,97
Karang Mati Beralga	-	2,58	-		-	-	2,58
Pecahan Karang	-	-	0,74		-	-	0,74
Pasir	-	-	-		98,86	-	98,86
Padang Lamun	-	-	-		1,48	11,07	12,55
Total	302,64	5,89	9,54	2,21	100,34	11,07	431,70
1978 – 1981							
Karang Hidup	300,05	1,48	0,74	0,37	-	-	302,64
Karang Mati Beralga	-	5,89	-	-	-	-	5,89
Pecahan Karang	-	-	9,54	-	-	-	9,54
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	2,21	-	-	2,21
Pasir	-	-	-	-	98,86	1,48	100,34
Padang Lamun	-	-	-	-	-	11,07	11,07
Total	300,05	7,37	10,28	2,58	98,86	12,55	431,69

Sumber: Hasil Analisis Citra dan Survei, 2014

Selanjutnya pada periode 1990 – 1993 substrat yang mengalami perubahan luasan pada karang hidup dan padang lamun. Substrat karang hidup mengalami perubahan luasan lebih besar pada periode ini, yakni 13,67 ha. Perubahan luasan tertinggi terjadi pada substrat karang hidup menjadi karang mati, seluas 7,55 ha (Tabel 5.4).



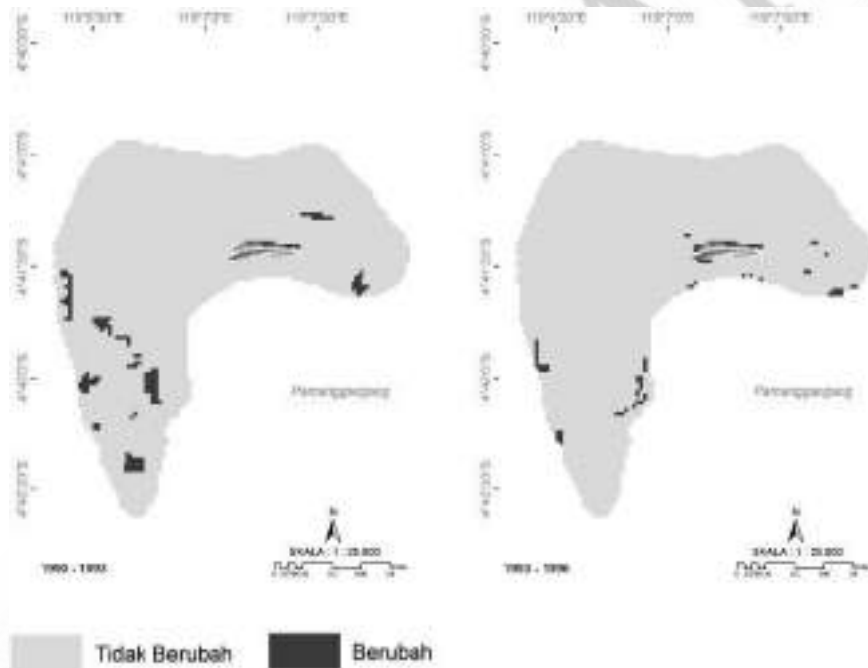
Gambar 5.7 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Periode Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)

Pada periode 1993 – 1996, selain pada substrat karang hidup dan padang lamun, perubahan juga terjadi pada pecahan karang menjadi karang mati seluas 0,27 ha. Pada periode ini, perubahan luasan terbesar, yakni kelas karang hidup dengan luas total perubahan 5,31 ha.

Tabel 5.4 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1990 – 1993							
Karang Hidup	234,82	7,55	3,51	2,61	-	-	248,49
Karang Mati Beralga	-	26,01	-		-	-	26,01
Pecahan Karang	-	-	12,43		-	-	12,43
<i>Mix Bottom</i>				6,33			6,33

Pasir	-	-	-		126,42	-	126,42
Padang Lamun	-	-	-		1,08	17,82	18,90
Total	234,82	33,56	15,94	8,94	127,50	17,82	438,58
1993 – 1996							
Karang Hidup	229,51	3,15	1,89	0,27	-	-	234,82
Karang Mati Beralga	-	33,56	-		-	-	33,56
Pecahan Karang	-	0,27	15,67		-	-	15,94
<i>Mix Bottom</i>				8,94			8,94
Pasir	-	-	-		127,50	-	127,50
Padang Lamun	-	-	-		0,81	17,01	17,82
Total	229,51	36,98	17,56	9,21	128,31	17,01	438,57



Gambar 5.8 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggang Periode Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)

Pada periode 1999 – 2002 substrat karang hidup mengalami perubahan menjadi karang mati, pecahan karang, dan *mix bottom* dengan total luas perubahannya adalah 8,67 ha. Pada periode ini juga terjadi perubahan luasan pada substrat pasir menjadi padang lamun seluas 1,67 ha dan sebaliknya padang lamun berubah menjadi pasir seluas 0,45 ha.

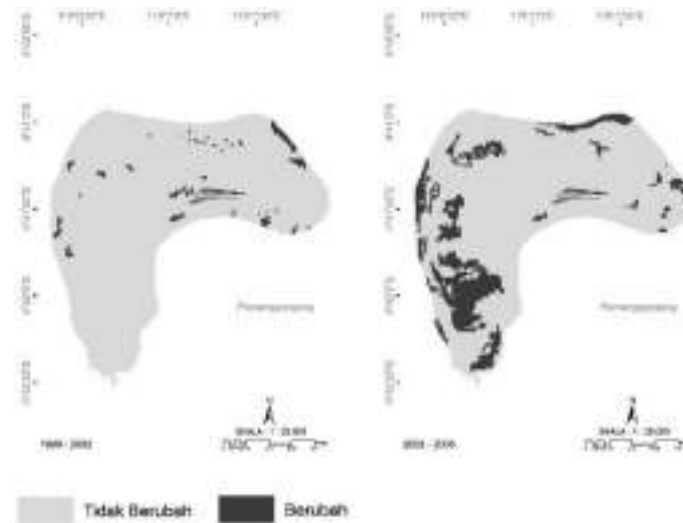
Pada periode 2002 – 2005 substrat yang mengalami perubahan adalah karang hidup, padang lamun, dan campuran pecahan karang, karang mati dan pasir menjadi pecahan karang. Perubahan karang hidup pada periode ini merupakan perubahan yang paling signifikan luasannya dibandingkan pada periode-periode sebelumnya. Total perubahan kelas karang hidup menjadi kelas karang mati beralga, pecahan karang, dan *mix bottom* mencapai 72,13 ha.

Tabel 5.5 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangang Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1999 – 2002							
Karang Hidup	247,16	1,72	5,62	1,33	-	-	255,84
Karang Mati Beralga	-	24,96	-		-	-	24,96
Pecahan Karang	-	-	28,58		-	-	28,58
Pecahan Karang, Karang Mati dan Pasir				6,70			6,70
Pasir	-	-	-		90,99	1,67	92,67
Padang Lamun	-	-	-		0,45	19,71	20,16
Total	247,16	26,68	34,20	8,03	91,45	21,38	428,92
2002 – 2005							
Karang Hidup	175,02	21,38	27,12	23,63	-	-	247,15
Karang Mati	-	26,68	-		-	-	26,68
Pecahan Karang	-	-	34,14		-	-	34,14
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir			0,07	8,03			8,10
Pasir	-	-	-		91,44	-	91,44
Padang Lamun	-	-	-		0,71	20,68	21,38
Total	175,02	48,06	61,33	31,67	92,15	20,68	428,90

Pada periode 2005 – 2008 perubahan luasan substrat tertinggi di Pulau Pamanggangang masih didominasi oleh karang hidup. Perubahan tertinggi terjadi pada substrat karang hidup menjadi karang mati seluas 9,7 ha dan pecahan karang seluas 9,39 (Tabel 5.6). Perubahan

lain pada periode ini juga terjadi pada pecahan karang menjadi karang mati beralga dan *mix bottom*, *mix bottom* menjadi kelas pecahan karang serta kelas pasir menjadi padang lamun.



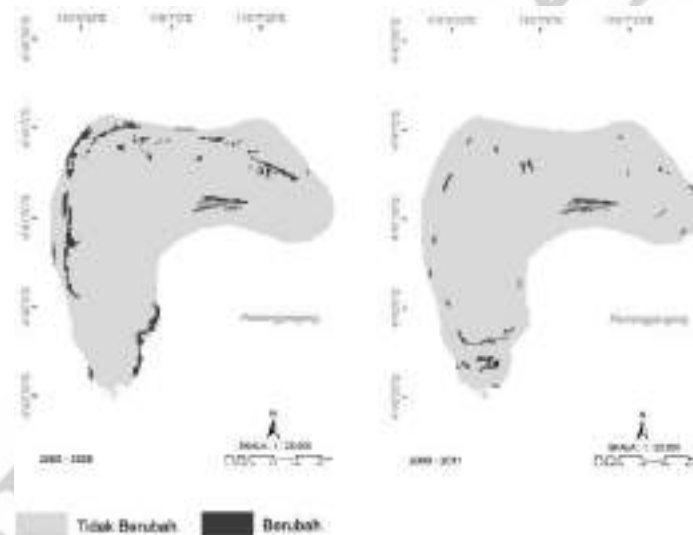
Gambar 5.9 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Periode Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 (Resolusi Spasial 15 meter)

Pada periode 2008 – 2011 perubahan luasan tertinggi terjadi pada substrat pecahan karang yang berubah menjadi karang mati. Meski demikian, karang hidup tetap mendominasi dengan total luas perubahannya menjadi karang mati beralga, pecahan karang, dan *mix bottom* sekitar 3,71 ha.

Tabel 5.6 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
2005 – 2008							
Karang Hidup	155,58	9,70	9,39	0,36	-	-	175,02
Karang Mati Beralga	-	48,06	-		-	-	48,06
Pecahan Karang	-	0,52	60,43	0,32	-	-	61,26
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir			0,07	31,67			31,73

Pasir	-	-	-		91,96	0,20	92,16
Padang Lamun	-	-	-		-	20,68	20,68
Total	155,58	58,28	69,88	32,34	91,96	20,88	428,92
2008 – 2011							
Karang Hidup	151,87	1,44	2,11	0,16	-	-	155,58
Karang Mati Beralga	-	58,28	-		-	-	58,28
Pecahan Karang	-	2,19	66,66	-	1,04	-	69,88
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir			-	32,34			32,34
Pasir	-	-	-	0,05	91,64	0,27	91,96
Padang Lamun	-	-	-		-	20,88	20,88
Total	151,87	61,90	68,77	32,54	92,68	21,15	428,92

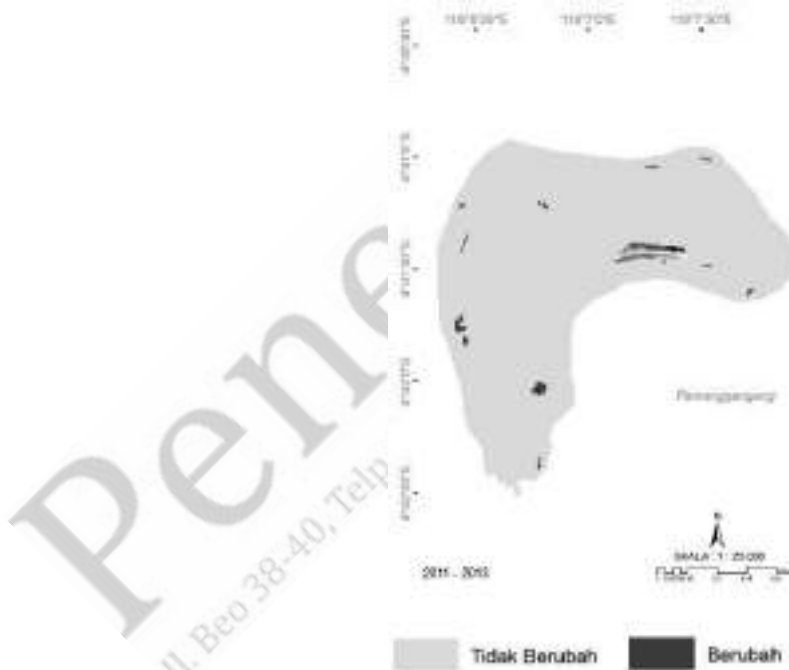


Gambar 5.10 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggang Periode Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011 (Resolusi Spasial 15 meter)

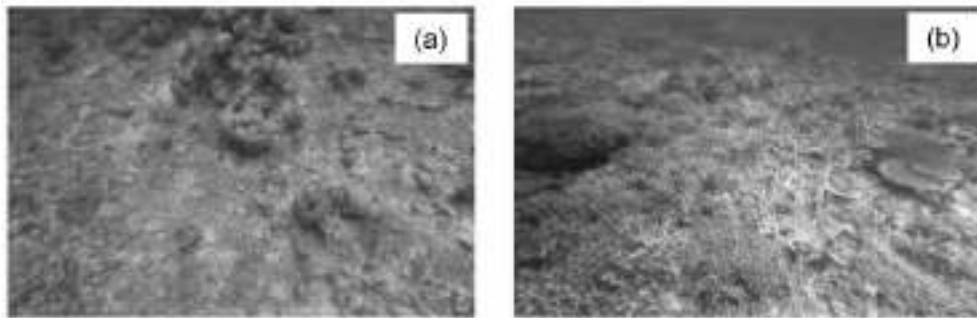
Pada periode 2011 – 2013 perubahan luasan terjadi pada substrat karang hidup menjadi karang mati dan pecahan karang, substrat karang mati beralga menjadi *mix bottom*, pecahan karang menjadi karang mati beralga dan pasir, substrat *mix bottom* menjadi pasir, serta pasir menjadi padang lamun. Perubahan terluas adalah karang hidup menjadi pecahan karang, kemudian pecahan karang menjadi pasir.

Tabel 5.7 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Tahun 2011 – 2013

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
2011 – 2013							
Karang Hidup	150,05	0,11	1,71	-	-	-	151,87
Karang Mati Beralga	-	61,63	-	0,27	-	-	61,90
Pecahan Karang	-	0,18	67,94	-	0,65	-	68,77
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir			-	32,41	0,13		32,54
Pasir	-	-	-	-	92,50	0,18	92,68
Padang Lamun	-	-	-	-	-	21,15	21,15
Total	150,05	61,92	69,64	32,68	93,29	21,33	428,92



Gambar 5.11 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Pamanggangan Periode Tahun 2011 – 2013 (Resolusi Spasial 15 meter)



Gambar 5.12 Kondisi Perairan Dangkal di Pulau Pamanggangan

(a) Pecahan karang, karang hidup (massive), dan pasir pada titik koordinat $119^{\circ}6'26,589''E - 4^{\circ}41'533''S$, (b) Karang hidup, pecahan karang, dan pasir pada titik koordinat $119^{\circ}7'2,983''E - 4^{\circ}41'5,714''S$

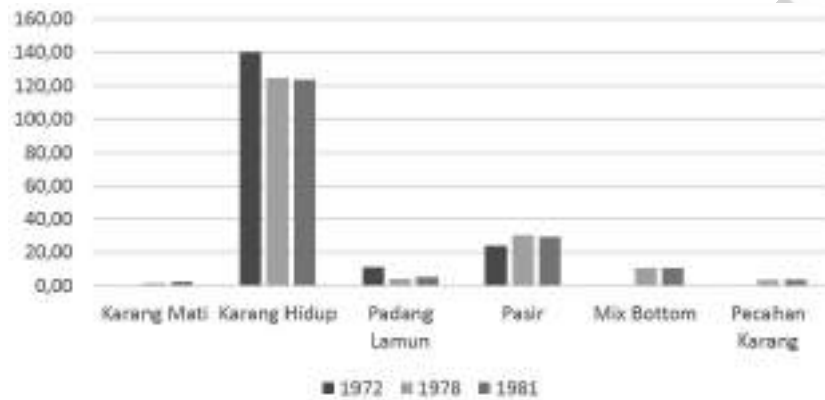
5.2. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Tambakulu

Kondisi penutupan dasar perairan khususnya terumbu karang di Pulau Tambakulu dapat diketahui melalui nilai luasan objek dan persentase penutupannya dari hasil analisis spasial. Pada tahun 1972, 1978, dan 1981 berdasarkan analisis spasial diperoleh luas wilayah perairan dangkal di Pulau Tambakulu sebesar 175,64 ha. Wilayah perairan dangkal ini terbagi menjadi 6 substrat tutupan, yakni karang hidup, karang mati beralga, pasir, lamun, pecahan karang serta campuran antara karang mati, pecahan karang, dan pasir (*mix bottom*). Sebagaimana disajikan pada Gambar 5.13 grafik menunjukkan bahwa wilayah perairan dangkal Pulau Tambakulu sebagian besar masih didominasi oleh karang hidup. Meski demikian, substrat karang hidup di Pulau Tambakulu terus mengalami penurunan. Luas total penurunan karang hidup pada periode 1972 – 1981 adalah 14,92 ha. Sebaliknya karang mati dan pecahan karang terus mengalami peningkatan luasan.

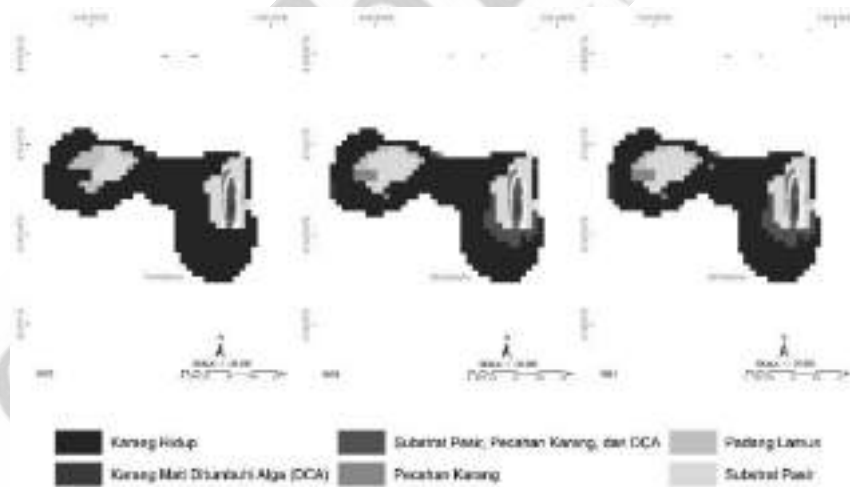
Tabel 5.8 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996

Kelas	Resolusi 60 meter			Resolusi 30 meter		
	1972	1978	1981	1990	1993	1996
Karang Hidup	140,22	125,08	123,61	133,65	132,47	131,63
Karang Mati Beralga	0,74	1,85	2,95	2,25	2,52	3,06
Pasir	23,98	30,47	29,36	17,20	17,82	19,52

Lamun	10,70	4,22	5,33	11,33	10,71	9,82
Pecahan Karang		3,69	4,06	5,22	6,04	6,34
Karang Mati Beralga, Pecahan Karang & Pasir		10,33	10,33	4,77	4,86	4,05
Total	175,64	175,64	175,64	174,42	174,42	174,42



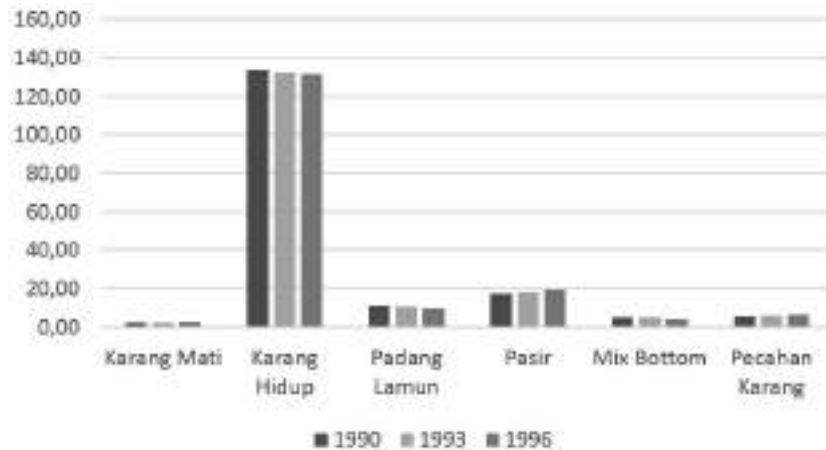
Gambar 5.13 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi 60 meter)



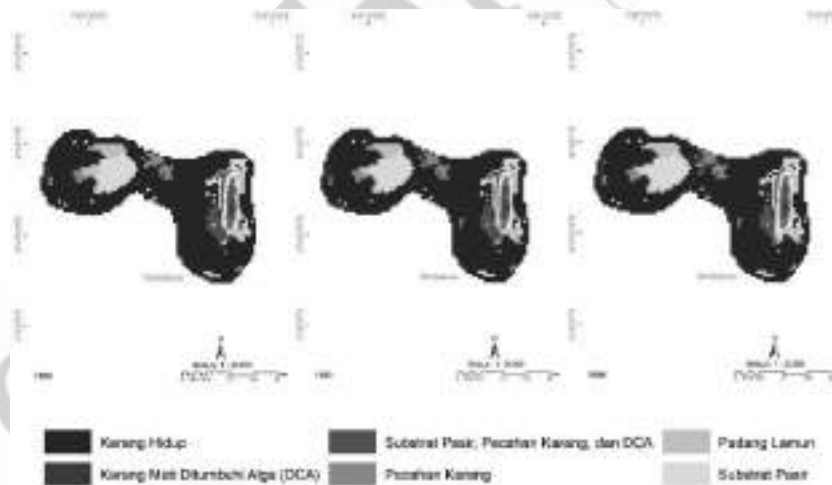
Gambar 5.14 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)

Pada periode 1990 – 1996 menggunakan citra satelit dengan resolusi spasial 30 meter, luas wilayah perairan dangkal di Pulau Tambakulu sebesar 174,42 ha. Dari luas tersebut, masih terlihat bahwa substrat karang hidup masih mendominasi tutupan dasar wilayah perairan

dangkal Pulau Tambakulu. Karang mati dan pasir merupakan kategori yang terus mengalami peningkatan luasan pada periode ini. Peningkatan luasan tertinggi pada periode ini terjadi pada substrat pasir yang meningkat sebesar 2,32 ha. Substrat lain yang mengalami penurunan luasan adalah lamun sebesar 1,51 ha.



Gambar 5.15 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi 30 meter)



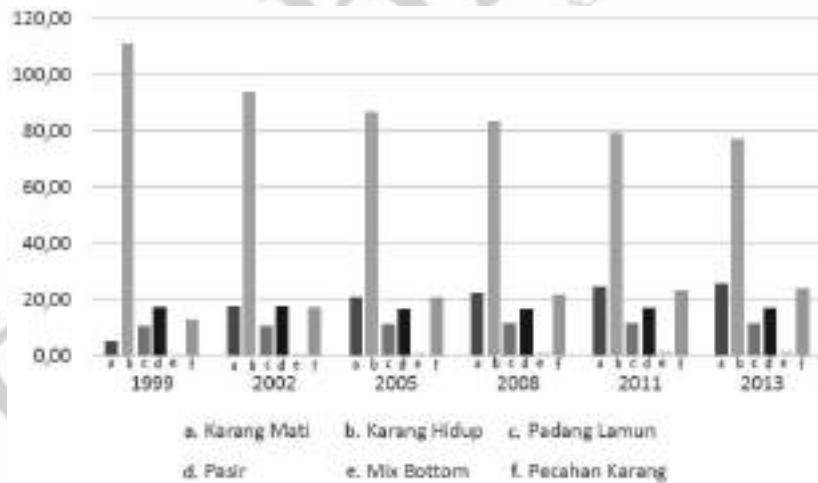
Gambar 5.16 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)

Penggunaan citra satelit beresolusi spasial 15 meter akan diperoleh hasil luas wilayah perairan dangkal Pulau Tambakulu sebesar 157,85 ha. Pada Gambar 5.17, grafik tutupan dasar perairan dangkal di Pulau Tambakulu masih didominasi oleh karang hidup meskipun

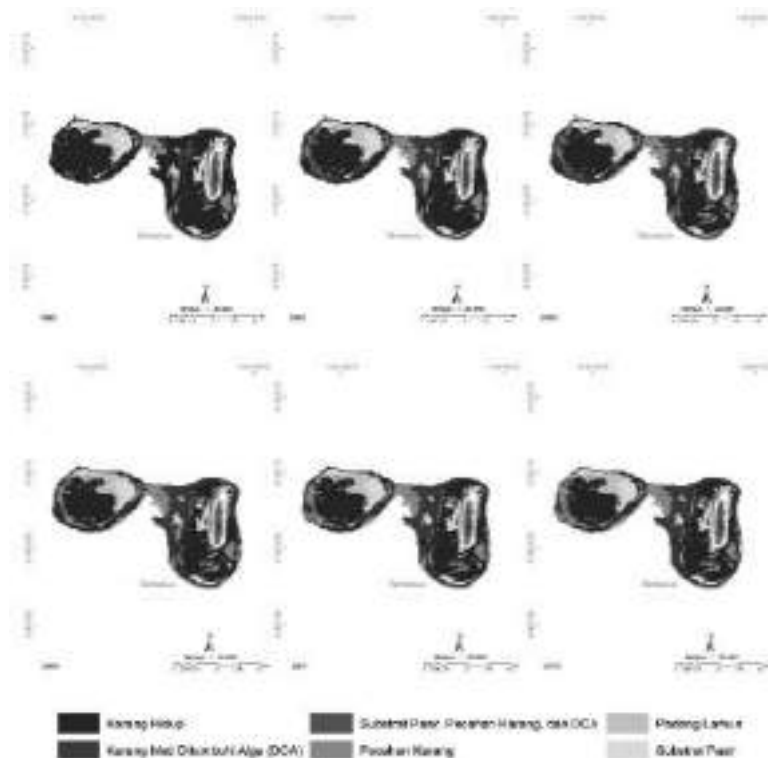
setiap tahunnya terus mengalami penurunan luasan. Sejak tahun 1999 – 2013 telah terjadi penurunan luasan karang hidup sekitar 33,42 ha. Hal ini berbanding terbalik dengan substrat karang mati, pecahan karang, dan *mix bottom* yang terus mengalami peningkatan luasan. Peningkatan luasan kelas karang mati di Pulau Tambakulu sejak tahun 1999 – 2013 sebesar 19,74 ha, kemudian pecahan karang sebesar 11,1 ha, dan *mix bottom* sebesar 1,47 ha.

Tabel 5.9 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013

Kelas	Resolusi 30 meter					
	1999	2002	2005	2008	2011	2013
Karang Hidup	110,94	93,95	86,70	83,59	79,35	77,52
Karang Mati Beralga	5,43	17,84	20,92	22,70	24,81	25,71
Lamun	10,63	10,77	11,45	11,59	11,68	11,75
Pasir	17,43	17,86	16,65	16,52	16,95	16,88
Pecahan Karang	12,82	17,19	20,87	22,08	23,16	23,92
Pasir, Pecahan Karang & Karang Mati Beralga	0,61	0,81	1,26	1,37	1,90	2,08
Total	157,85	158,42	157,85	157,85	157,85	157,85



Gambar 5.17 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi 15 meter)



Gambar 5.18 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 meter)

Keberadaan lamun pada suatu perairan tidak terlepas dari gangguan atau ancaman-ancaman terhadap kelangsungan hidupnya baik berupa ancaman alami maupun ancaman dari aktivitas manusia. Dalam kurun waktu 1999 – 2013 telah terjadi peningkatan luas lamun sekitar 1,12 ha. Peningkatan luas lamun ini berbanding terbalik dengan substrat pasir yang telah mengalami penurunan luasan sekitar 0,55 ha.

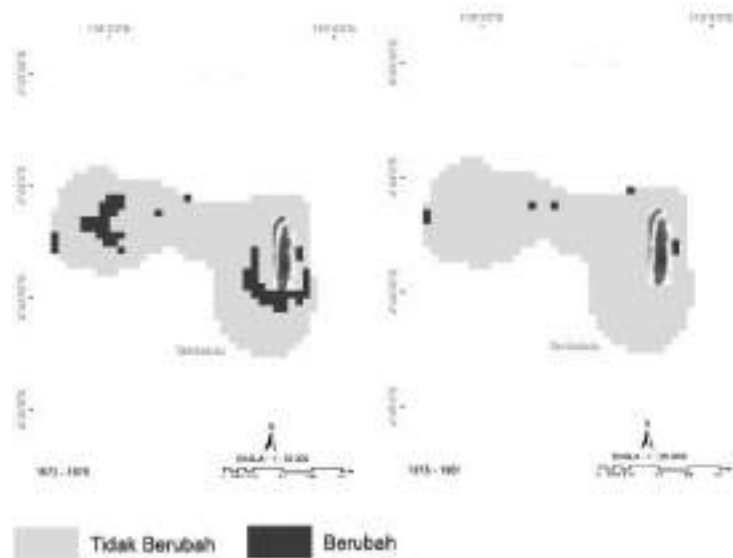
Kerusakan yang terjadi pada padang lamun dapat disebabkan oleh *natural stress* dan *anthropogenic stress*. *Natural stress* bisa disebabkan oleh gunung meletus, tsunami, kompetisi, dan predasi, sedangkan *anthropogenic stress* bisa disebabkan oleh perubahan fungsi pantai untuk pelabuhan atau dermaga. Selain itu juga limbah pertanian, industri, dan rumah tangga yang dibuang ke laut, pengerukan, lumpur, lalu lintas perahu yang padat, serta kegiatan manusia lainnya yang dapat memengaruhi kerusakan lamun.

Dinamika spasial karang pada periode tahun 1972 – 1978 dan periode tahun 1978–1981, memperlihatkan adanya perubahan substrat karang hidup menjadi karang mati,

pecahan karang, dan *mix bottom*. Perubahan juga terjadi pada substrat padang lamun dan pasir. Perubahan karang hidup menjadi *mix bottom* pada periode 1972 – 1978 mencapai 10,33 ha, kemudian substrat padang lamun yang berubah menjadi pasir sebesar 6,48 ha. Total luasan perubahan karang hidup menjadi komponen karang mati, pecahan karang, dan *mix bottom* mencapai 15,33 ha. Periode 1978 – 1981, perubahan substrat tutupan dasar perairan cenderung lebih berkurang daripada periode sebelumnya. Pada periode ini, perubahan luasan terbesar terjadi pada substrat karang hidup menjadi karang mati dan substrat pasir menjadi padang lamun masing-masing seluas 1,1 ha.

Tabel 5.10 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1972 – 1978							
Karang Hidup	125,08	1,11	3,69	10,33	-	-	140,21
Karang Mati Beralga	-	0,74	-	-	-	-	0,74
Pecahan Karang	-	-	-	-	-	-	-
Pasir	-	-	-	-	23,98	-	23,98
Padang Lamun	-	-	-	-	6,48	4,22	10,70
Total	125,08	1,85	3,69	10,33	30,46	4,22	175,63
1978 – 1981							
Karang Hidup	123,61	1,1	0,37	-	-	-	125,08
Karang Mati Beralga	-	1,85	-	-	-	-	1,85
Pecahan Karang	-	-	3,69	-	-	-	3,69
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	10,33	-	-	10,33
Pasir	-	-	-	-	29,36	1,11	30,47
Padang Lamun	-	-	-	-	-	4,22	4,22
Total	123,61	2,95	4,06	10,33	29,36	5,33	175,64



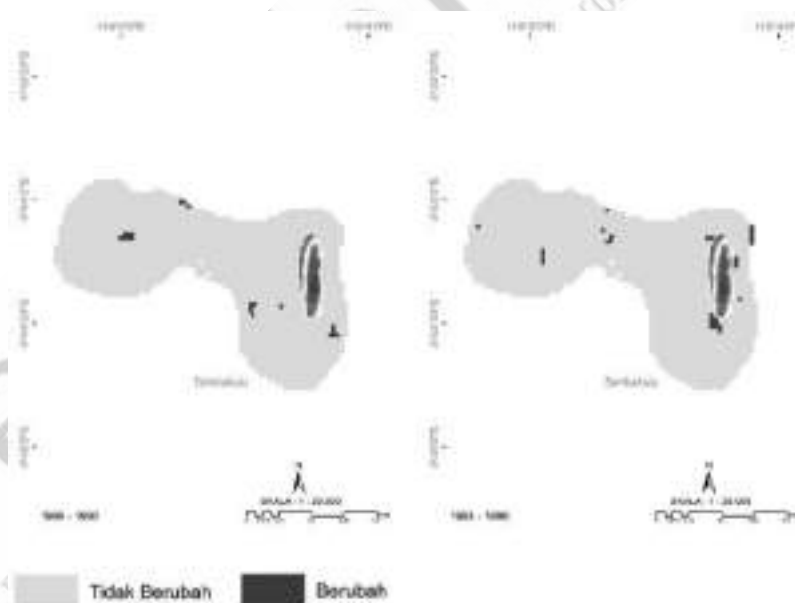
Gambar 5.19 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Periode Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)

Pada periode 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 analisis spasial dilakukan pada citra satelit dengan resolusi spasial 30 meter. Substrat tutupan karang yang banyak mengalami perubahan pada kedua periode ini adalah karang hidup. Pada periode 1990 – 1993 perubahan terbesar terjadi pada tutupan karang hidup dengan luas total perubahan sebesar 1,18 ha. Periode 1993–1996 perubahan tidak hanya terjadi pada karang hidup dan padang lamun, namun juga terjadi pada pecahan karang dan *mix bottom*.

Tabel 5.11 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1990 – 1993							
Karang Hidup	132,47	0,27	0,82	0,09	-	-	133,65
Karang Mati Beralga	-	2,25	-		-	-	2,25
Pecahan Karang	-	-	5,22		-	-	5,22

Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir				4,77			4,77
Pasir	-	-	-		17,20	-	17,20
Padang Lamun	-	-	-		0,61	10,71	11,32
Total	132,47	2,52	6,04	4,86	17,81	10,71	174,41
1993 – 1996							
Karang Hidup	131,63	0,45	0,39	-	-	-	132,47
Karang Mati Beralga	-	2,52	-	-	-	-	2,52
Pecahan Karang	-	0,09	5,95	-	-	-	6,04
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	4,05	0,81	-	4,86
Pasir	-	-	-	-	17,82	-	17,82
Padang Lamun	-	-	-	-	0,90	9,82	10,72
Total	131,63	3,06	6,34	4,05	19,53	9,82	174,43



Gambar 5.20 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Periode Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)

Pada periode 1999 – 2002 perubahan terluas terjadi pada substrat karang hidup. Perubahan substrat karang hidup menjadi karang mati mencapai 12,41 ha. Ini merupakan perubahan terbesar karang hidup menjadi karang mati dibandingkan dengan periode-periode sebelumnya. Perubahan juga terjadi pada daratan menjadi substrat pasir yang menunjukkan bahwa pada periode ini di Pulau Tambakulu terjadi fenomena abrasi seluas 0,57 ha. Perubahan lain juga terjadi pada substrat pasir menjadi padang lamun seluas 0,29 ha dan sebaliknya substrat padang lamun menjadi pasir seluas 0,15.

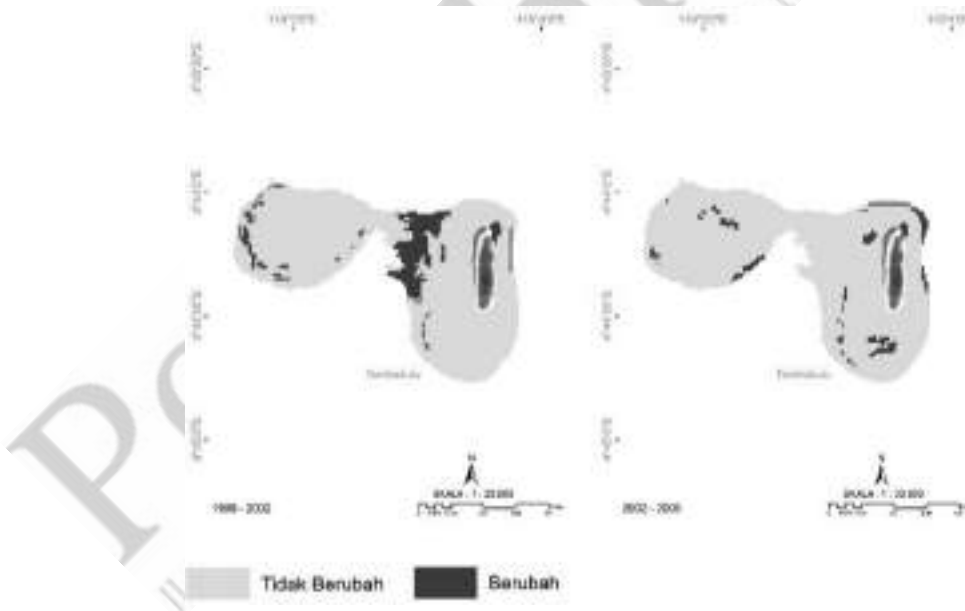
Tabel 5.12 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 1999 – 2002

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1999 – 2002							
Karang Hidup	93,95	12,41	4,38	0,20	-	-	110,94
Karang Mati Beralga	-	5,43	-	-	-	-	5,43
Pecahan Karang	-	-	12,82	-	-	-	12,82
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	0,61	-	-	0,61
Pasir	-	-	-	-	17,14	0,29	17,43
Darat	-	-	-	-	0,57	-	-
Padang Lamun	-	-	-	-	0,15	10,48	10,63
Total	93,95	17,84	17,19	0,81	17,86	10,77	157,85

Apabila pada periode 1999 – 2002 terjadi fenomena abrasi, yang ditandai dengan perubahan daratan menjadi pasir, maka pada periode 2002 – 2005 terjadi fenomena akresi, yakni penambahan garis pantai akibat sedimentasi di wilayah pesisir. Perubahan terbesar terjadi pada karang hidup menjadi pecahan karang. Total perubahan karang hidup menjadi komponen lain pada periode ini sebesar 7,25 ha. Perubahan juga terjadi pada pecahan karang menjadi pasir dan substrat pasir menjadi padang lamun.

Tabel 5.13 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 2002 – 2005

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)							
	Karang Hidup	Karang Mati	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati & Pasir	Pasir	Darat	Padang Lamun	Total
2002 – 2005								
Karang Hidup	86.70	3.08	3.72	0.45	-	-	-	93.95
Karang Mati	-	17.84	-	-	-	-	-	17.84
Pecahan Karang	-	-	17.15	-	0.05	-	-	17.19
Pecahan Karang, Karang Mati dan Pasir	-	-	-	0.81	-	-	-	0.81
Pasir	-	-	-	-	16.61	0.57	0.68	17.86
Darat	-	-	-	-	-	-	-	-
Padang Lamun	-	-	-	-	-	-	10.77	10.77
Total	86.70	20.92	20.87	1.26	16.65	0.57	11.45	158.42



Gambar 5.21 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Periode Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 (Resolusi Spasial 15 meter)

Tabel 5.14 Hasil Analisis Perubahan Luas Karang Hidup, Karang Mati dan Lamun di Pulau Tambakulu Tahun 2005-2011

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)							
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Darat	Padang Lamun	Total
2005 – 2008								
Karang Hidup	83,59	1,78	1,33	-	-	-	-	86,70
Karang Mati Beralga	-	20,92	-	-	-	-	-	20,92
Pecahan Karang	-	-	20,75	0,11	-	-	-	20,87
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	1,26	-	-	-	1,26
Pasir	-	-	-	-	16,52	-	0,13	16,65
Darat					-		-	
Padang Lamun	-	-	-	-	-		11,45	11,45
Total	83,59	22,70	22,08	1,37	16,52		11,59	157,8
2008 – 2011								
Karang Hidup	79,35	0,54	2,85	0,85	-	-	-	83,59
Karang Mati Beralga	-	22,70	-	-	-	-	-	22,70
Pecahan Karang	-	1,57	20,31	0,13	0,07		-	22,08
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	0,92	0,45		-	1,37
Pasir	-	-	-	-	16,43	-	0,09	16,52
Darat					-		-	
Padang Lamun	-	-	-	-	-		11,59	11,59
Total	79,35	24,81	23,16	1,90	16,95		11,68	157,8

Hasil analisis *post classification* di Pulau Tambakulu pada periode 2005 – 2008 dan 2008–2011 menunjukkan bahwa perubahan terbesar terjadi pada substrat karang hidup. Luas perubahan total karang hidup pada periode 2005 – 2008 sebesar 3,11 ha, sementara itu pada periode 2008 – 2011 sebesar 4,24 ha. Perubahan lain terjadi pada substrat pecahan karang menjadi *mix bottom* dan substrat pasir menjadi padang lamun.

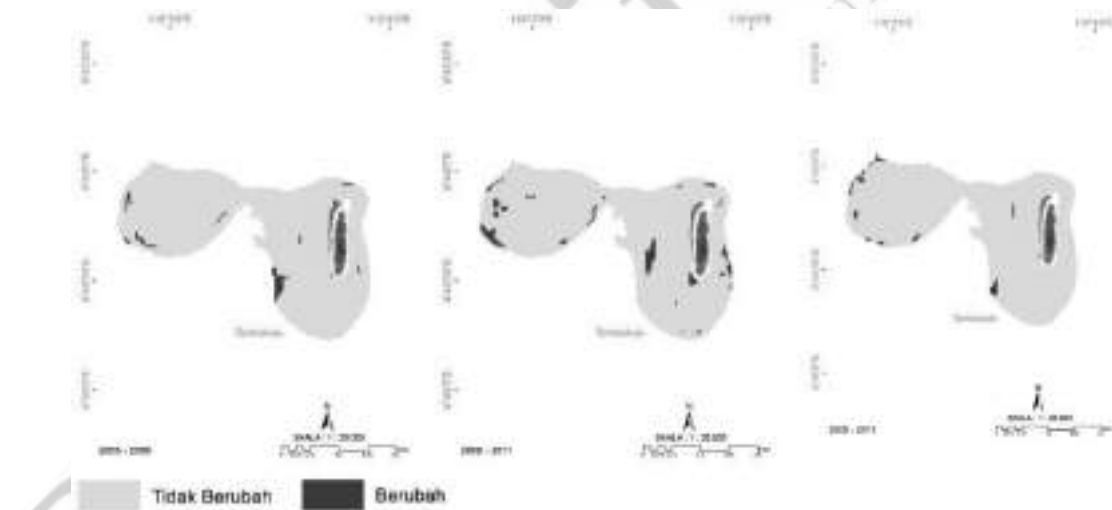
Tabel 5.15 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu
Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)							
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Darat	Padang Lamun	Total
2005 – 2008								
Karang Hidup	83,59	1,78	1,33	-	-	-	-	86,70
Karang Mati Beralga	-	20,92	-	-	-	-	-	20,92
Pecahan Karang	-	-	20,75	0,11	-	-	-	20,87
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	1,26	-	-	-	1,26
Pasir	-	-	-	-	16,52	-	0,13	16,65
Darat					-		-	
Padang Lamun	-	-	-	-	-		11,45	11,45
Total	83,59	22,70	22,08	1,37	16,52		11,59	157,8
2008 – 2011								
Karang Hidup	79,35	0,54	2,85	0,85	-	-	-	83,59
Karang Mati Beralga	-	22,70	-	-	-	-	-	22,70
Pecahan Karang	-	1,57	20,31	0,13	0,07		-	22,08
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	-	-	-	0,92	0,45		-	1,37
Pasir	-	-	-	-	16,43	-	0,09	16,52
Darat					-		-	
Padang Lamun	-	-	-	-	-		11,59	11,59
Total	79,35	24,81	23,16	1,90	16,95		11,68	157,8

Pada periode 2011 – 2013 perubahan terjadi pada substrat karang hidup, pecahan karang, dan padang lamun. Substrat dengan perubahan terbesar adalah karang hidup menjadi pecahan karang seluas 1,51 ha.

Tabel 5.16 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Tambakulu 2011 – 2013

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
2011 – 2013							
Karang Hidup	77,52	0,23	1,51	0,10	-	-	79,35
Karang Mati Beralga	-	24,81	-	-	-	-	24,81
Pecahan Karang	-	0,68	22,41	0,08	-	-	23,16
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	1,90	-	-	1,90
Pasir	-	-	-	-	16,88	0,07	16,95
Padang Lamun	-	-	-	-	-	11,68	11,68
Total	77,52	25,71	23,92	2,08	16,88	11,75	157,85



Gambar 5.22 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Tambakulu Periode Tahun 2005 – 2008, 2008 – 2011, dan 2011 – 2013 (Resolusi Spasial 15 meter)

5.3. Ekosistem Perairan Dangkal Pulau Suranti

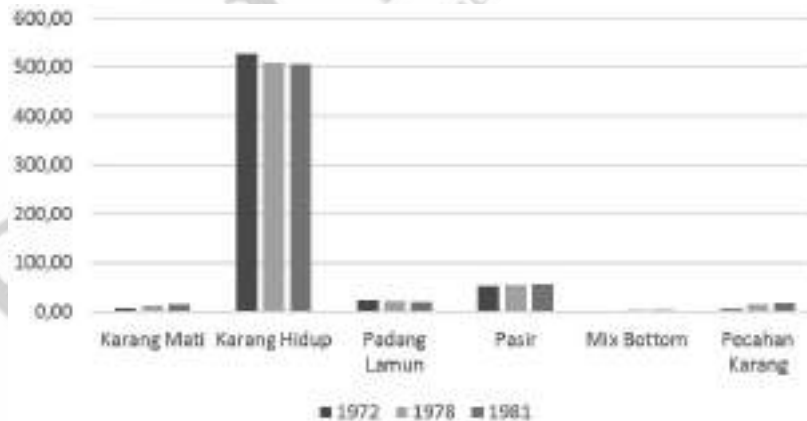
Hasil analisis spasial menggunakan citra Landsat dengan resolusi spasial 60 meter, diperoleh luas wilayah perairan dangkal Pulau Suranti sebesar 618,80 ha. Pada Gambar 5.23 memperlihatkan grafik luasan substrat karang hidup di Pulau Suranti hingga tahun

1981 mencapai 500 ha atau sekitar 81,69%. Wilayah perairan dangkal Pulau Suranti masih didominasi oleh tutupan karang hidup. Meski demikian kelas karang hidup pada periode tersebut terus mengalami penurunan luasan. Dalam kurun waktu 9 tahun substrat karang hidup di Pulau Suranti mengalami penurunan sekitar 22,15 ha.

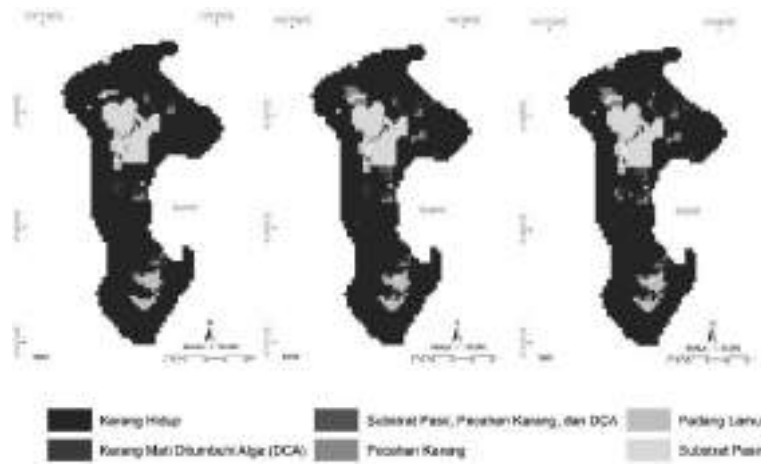
Tabel 5.17 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1972, 1978, 1981, 1990, 1993, dan 1996

Kelas	Resolusi 60 meter			Resolusi 30 meter		
	1972	1978	1981	1990	1993	1996
Karang Hidup	527,66	508,83	505,51	402,14	334,06	324,94
Karang Mati Beralga	8,49	13,65	14,76	52,95	74,69	81,91
Pasir	53,87	56,09	57,19	66,77	65,34	65,79
Lamun	22,88	20,66	19,56	23,78	23,60	23,15
Pecahan Karang	5,53	15,82	17,67	54,56	78,94	80,38
Karang Mati Beralga, Pecahan Karang & Pasir		3,37	3,74	21,78	45,36	45,81
Total	618,80	618,80	618,80	621,99	621,99	621,99

Substrat lain yang mengalami peningkatan luasan, yakni karang mati sebesar 6,27 ha, pasir sebesar 3,32 ha, pecahan karang sebesar 12,14 ha, dan *mix bottom* sebesar 0,37 ha. Selain karang hidup, lamun juga mengalami penurunan luasan sebesar 3,32 ha.

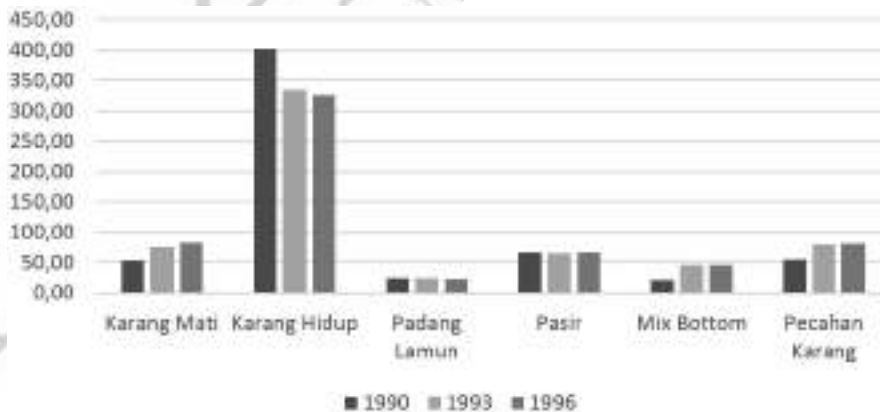


Gambar 5.23 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Suranti Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi 60 meter)

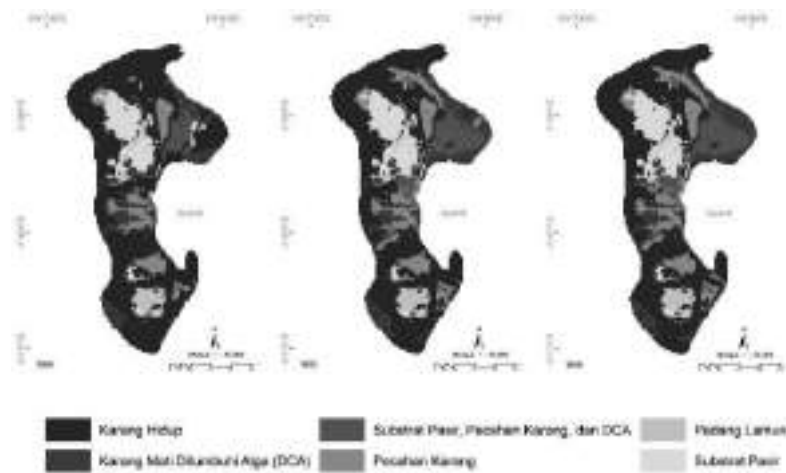


Gambar 5.24 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1972, 1978, dan 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)

Pada periode 1990 – 1996 menggunakan citra satelit dengan resolusi spasial 30 meter, luas wilayah perairan dangkal di Pulau Suranti sebesar 621,99 ha. Berdasarkan Gambar 5.25, grafik tutupan dasar perairan dangkal di Pulau Suranti masih didominasi oleh substrat karang hidup. Meski demikian substrat karang hidup di Pulau Suranti telah mengalami penurunan luasan sebesar 99,7 ha. Substrat lamun juga mengalami penurunan luasan sebesar 0,63 ha. Sebaliknya, substrat lain seperti karang mati beralga, pasir, pecahan karang, dan *mix bottom* mengalami kenaikan luasan. Karang mati beralga mengalami kenaikan luasan sebesar 28,96 ha, pasir sebesar 0,98 ha, pecahan karang sebesar 25,82 ha, dan *mix bottom* sebesar 24,03 ha.



Gambar 5.25 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Suranti Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi 30 meter)



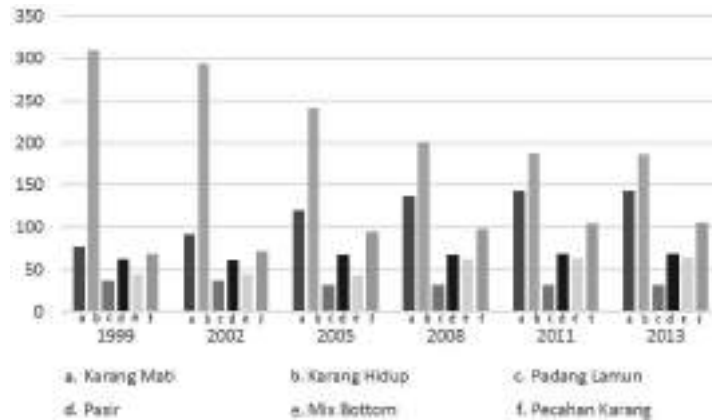
Gambar 5.26 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1990, 1993, dan 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)

Dengan menggunakan citra satelit beresolusi spasial 15 meter, luas wilayah perairan dangkal di Pulau Suranti sebesar 597,85 ha. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.27, grafik tutupan karang hidup masih mendominasi perairan dangkal di Pulau Suranti. Pada tahun 1999 karang hidup mendominasi sebesar 51,8% wilayah perairan dangkal di Pulau Suranti. Namun sebagaimana yang terlihat pada grafik, luasan substrat karang hidup di Pulau Suranti terus mengalami penurunan dan berbanding terbalik dengan kelas karang mati beralga dan pecahan karang yang terus mengalami kenaikan. Pada tahun 2013, substrat karang hidup hanya sebesar 31,07% wilayah perairan dangkal di Pulau Suranti. Hal tersebut berarti dalam kurun waktu 14 tahun telah terjadi penurunan luas tutupan karang hidup sebesar 20,73% atau 123,74 ha. Sementara itu, untuk substrat yang mengalami kenaikan luasan terjadi pada karang mati beralga sebesar 65,36 ha, pecahan karang sebesar 36,82 ha, pasir sebesar 6,3 ha, dan *mix bottom* sebesar 20,18 ha.

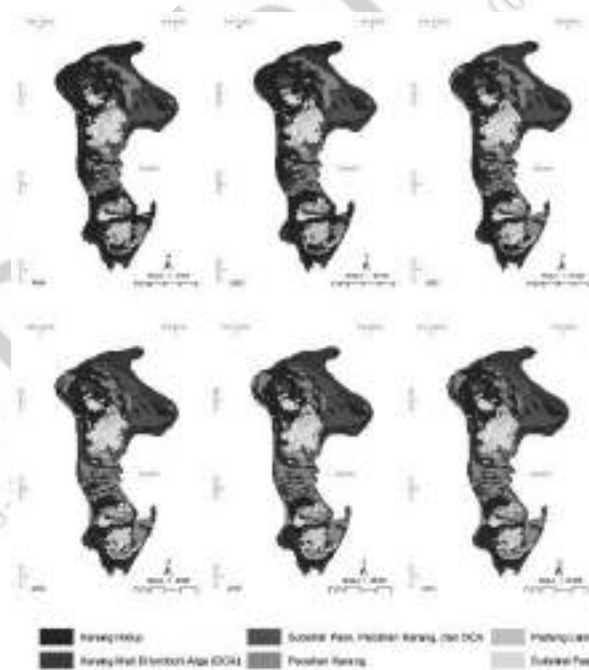
Tabel 5.18 Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013

Kelas	Resolusi 30 meter					
	1999	2002	2005	2008	2011	2013
Karang Hidup	309,52	293,07	240,73	201,16	187,07	185,78
Karang Mati Beralga	77,62	91,88	120,39	136,76	143,04	142,98
Lamun	36,31	37,20	31,94	31,69	31,60	31,33
Pasir	62,00	61,14	67,48	67,73	67,82	68,35

Pecahan Karang	68,70	70,79	46,60	98,07	105,21	105,52
Pasir, Pecahan Karang & Karang Mati Beralga	43,70	43,77	42,87	62,44	63,12	63,88
Total	597,85	597,85	597,85	597,85	597,85	597,85



Gambar 5.27 Grafik Luasan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Suranti Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi 15 meter)



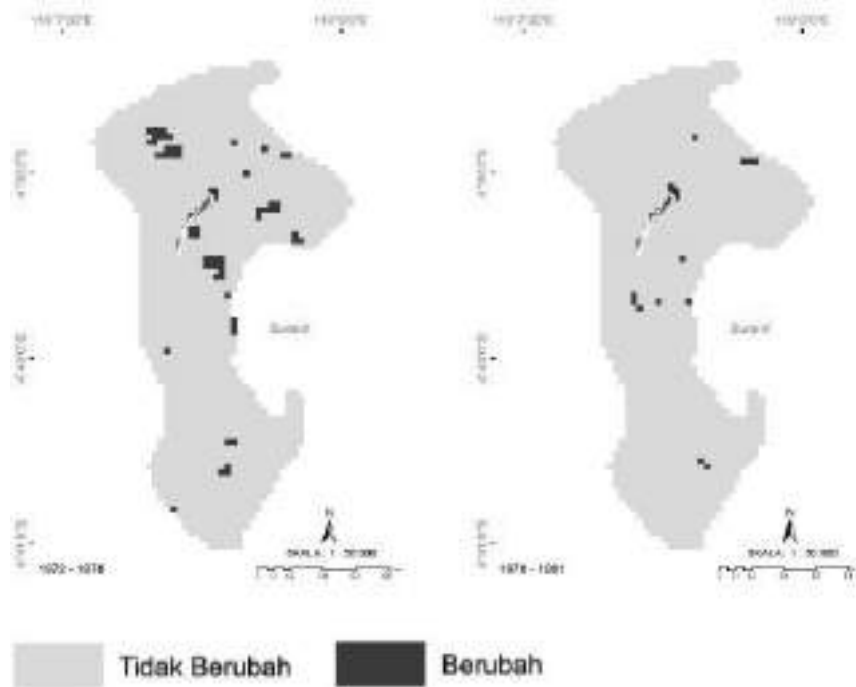
Gambar 5.28 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, dan 2013 (Resolusi Spasial 15 meter)

Hasil *post classification*, perubahan tutupan dasar perairan Pulau Suranti dengan menggunakan citra resolusi 60 meter menunjukkan bahwa pada periode 1972 – 1978 terjadi perubahan pada substrat karang hidup menjadi karang mati, pecahan karang, dan *mix bottom*. Total perubahan karang hidup sebesar 18,83 ha. Selain substrat karang hidup, perubahan juga terjadi pada substrat padang lamun yang berubah menjadi pasir dengan luas sebesar 2,21 ha.

Pada periode 1978 – 1981 masih dengan menggunakan citra beresolusi spasial 60 meter, selain pada substrat karang hidup, perubahan juga terjadi pada pecahan karang dan pasir. Luas total perubahan karang hidup menjadi karang mati dan pecahan karang pada periode ini sebesar 3,32 ha. Lebih sedikit dibandingkan periode sebelumnya.

Tabel 5.19 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1972 – 1978							
Karang Hidup	508,83	5,17	10,29	3,37	-	-	527,66
Karang Mati Beralga	-	8,49	-	-	-	-	8,49
Pecahan Karang	-	-	5,53	-	-	-	5,53
Pasir	-	-	-	-	53,87	-	53,87
Padang Lamun	-	-	-	-	2,21	20,66	22,87
Total	508,83	13,66	15,82	3,37	56,08	20,66	618,42
1978 – 1981							
Karang Hidup	505,51	1,11	2,21	-	-	-	508,83
Karang Mati Beralga	-	13,65	-	-	-	-	13,65
Pecahan Karang	-	-	15,45	0,37	-	-	15,82
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	3,37	-	-	3,37
Pasir	-	-	-	-	53,87	2,21	56,08
Padang Lamun	-	-	-	-	-	20,66	20,66
Total	505,51	14,76	17,66	3,74	53,87	22,87	618,42

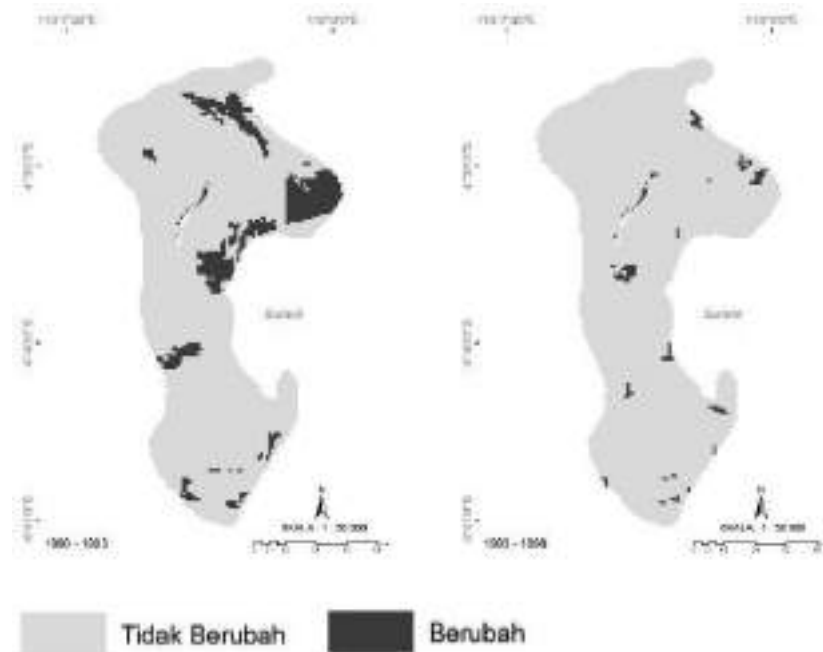


Gambar 5.29 Peta Sebaran Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Periode Tahun 1972 – 1978 dan 1978 – 1981 (Resolusi Spasial 60 meter)

Pada periode 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 dari analisis *post classification* dilakukan dengan menggunakan citra beresolusi spasial 30 meter. Periode 1990 – 1993 menunjukkan bahwa perubahan terluas terjadi pada tutupan karang hidup menjadi pecahan karang sebesar 24,38 ha, sedangkan perubahan luasan terkecil terjadi pada substrat pasir menjadi padang lamun dengan luas perubahan sebesar 0,18 ha. Luas total perubahan karang hidup menjadi karang mati beralga, pecahan karang, dan *mix bottom* sebesar 68,08 ha. Selanjutnya pada periode 1993 – 1996, perubahan terluas terjadi pada substrat karang hidup sebesar 9,12 ha. Selain karang hidup, perubahan juga terjadi pada substrat pecahan karang dan padang lamun dengan luasan perubahan dapat dilihat secara lengkap pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti
Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1990 – 1993							
Karang Hidup	334,06	21,73	24,38	21,97	-	-	402,14
Karang Mati Beralga	-	52,95	-		-	-	52,95
Pecahan Karang	-	-	54,56		-	-	54,56
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir				20,25	1,53		21,78
Pasir	-	-	-	3,14	63,63	0,18	66,95
Padang Lamun	-	-	-		-	23,60	23,60
Total	334,06	74,68	78,94	45,36	65,16	23,78	621,99
1993 – 1996							
Karang Hidup	324,94	4,98	3,69	0,45	-	-	334,06
Karang Mati Beralga	-	74,69	-	-	-	-	74,69
Pecahan Karang	-	2,25	76,69	-	-	-	78,94
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	45,36	-	-	45,36
Pasir	-	-	-	-	65,34	-	65,34
Padang Lamun	-	-	-	-	0,45	23,15	23,60
Total	324,94	81,92	80,38	45,81	65,79	23,15	621,99

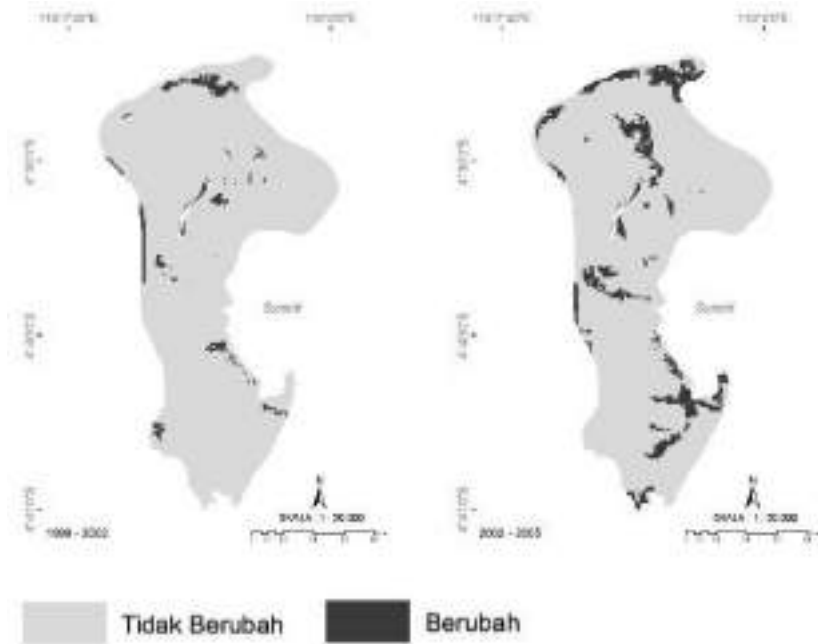


Gambar 5.30 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Suranti Periode Tahun 1990 – 1993 dan 1993 – 1996 (Resolusi Spasial 30 meter)

Pada periode 1999 – 2013, analisis spasial di Pulau Suranti dilakukan dengan menggunakan citra beresolusi spasial 15 meter. Dari hasil analisis *post classification* diperoleh bahwa perubahan terjadi pada substrat karang hidup, *mix bottom*, pasir, dan padang lamun. Perubahan terbesar terjadi pada substrat karang hidup dengan total perubahan sebesar 16,44 ha, sedangkan perubahan terkecil terjadi pada substrat *mix bottom* menjadi pasir. Hal serupa juga terjadi pada periode 2002 – 2005, dimana karang hidup mengalami perubahan luasan terbesar sedangkan *mix bottom* mengalami perubahan dengan luasan terkecil. Untuk lebih jelasnya luas perubahan masing-masing kelas tutupan dasar wilayah perairan dangkal di Pulau Suranti pada periode 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 disajikan pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti
Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
1999 – 2002							
Karang Hidup	293,07	14,26	2,09	0,09	-	-	309,52
Karang Mati Beralga	-	77,62	-	-	-	-	77,62
Pecahan Karang	-	-	68,70	-	-	-	68,70
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	43,68	0,02	-	43,70
Pasir	-	-	-	-	60,68	1,32	62,00
Padang Lamun	-	-	-	-	0,44	35,88	36,31
Total	293,07	91,88	70,79	43,77	61,14	37,20	597,85
2002 – 2005							
Karang Hidup	240,73	28,51	23,65	0,18	-	-	293,07
Karang Mati Beralga	-	91,88	-	-	-	-	91,88
Pecahan Karang	-	-	70,79	-	-	-	70,79
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	42,69	1,08	-	43,77
Pasir	-	-	-	-	60,73	0,40	61,14
Padang Lamun	-	-	-	-	5,67	31,53	37,20
Total	240,73	120,39	94,44	42,87	67,48	31,94	597,85



Gambar 5.31 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan Dangkal Pulau Suranti Periode Tahun 1999 – 2002 dan 2002 – 2005 (Resolusi Spasial 15 meter)

Perubahan tutupan dasar perairan pada periode 2005 – 2008 dan 2008 – 2011, yakni perubahan terbesar terjadi pada substrat karang hidup. Total perubahan substrat karang hidup menjadi karang mati beralga, pecahan karang, dan *mix bottom* pada periode 2005 – 2008 sebesar 39,57 ha dan 14,1 ha pada periode 2008 – 2011. Perubahan pada kedua periode ini juga terjadi pada substrat pecahan karang dan padang lamun. Untuk lebih jelasnya luas perubahan pada masing-masing tutupan dasar perairan Pulau Suranti periode 2005 – 2008 dan 2008 – 2011 disajikan pada Tabel 5.22.

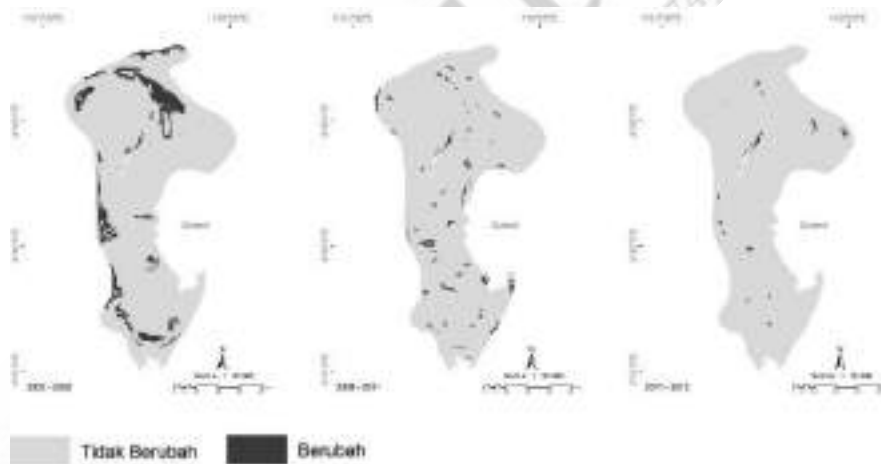
Tabel 5.22 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti
Tahun 2005 – 2008 dan 2008 – 2011

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
2005 – 2008							
Karang Hidup	201,16	16,37	22,66	0,54	-	-	240,73
Karang Mati Beralga	-	120,39	-	-	-	-	120,39
Pecahan Karang	-	-	75,41	19,03	-	-	94,44
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	42,87	-	-	42,87
Pasir	-	-	-	-	67,48	-	67,48
Padang Lamun	-	-	-	-	0,25	31,69	31,94
Total	201,16	136,76	98,07	62,44	67,73	31,69	597,85
2008 – 2011							
Karang Hidup	187,07	6,12	7,30	0,68	-	-	201,16
Karang Mati Beralga	-	136,76	-	-	-	-	136,76
Pecahan Karang	-	0,16	97,91	-	-	-	98,07
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	62,44	-	-	62,44
Pasir	-	-	-	-	67,73	-	67,73
Padang Lamun	-	-	-	-	0,09	31,60	31,69
Total	187,07	143,04	105,21	63,12	67,82	31,60	597,85

Pada periode 2011 – 2013 tidak terjadi perubahan substrat karang hidup menjadi karang mati. Meski demikian karang hidup tetap mengalami perubahan menjadi pecahan karang dan *mix bottom*. Perubahan lain pada periode ini juga terjadi pada kelas karang mati beralga, *mix bottom*, dan padang lamun, dengan luasan masing-masing perubahan seperti yang disajikan pada Tabel 5.23.

Tabel 5.23 Perubahan Luasan Terumbu Karang dan Padang Lamun di Pulau Suranti Tahun 2011 – 2013

Tahun	Perubahan Luas Karang (Ha)						
	Karang Hidup	Karang Mati Beralga	Pecahan Karang	Pecahan Karang, Karang Mati Beralga & Pasir	Pasir	Padang Lamun	Total
2011 – 2013							
Karang Hidup	185,78	-	0,99	0,29	-	-	187,07
Karang Mati Beralga	-	142,30	-	0,74	-	-	143,04
Pecahan Karang	-	0,68	104,53	-	-	-	105,21
Pecahan Karang, Karang Mati Beralga dan Pasir	-	-	-	63,07	0,04	-	63,12
Pasir	-	-	-	-	67,82	-	67,82
Padang Lamun	-	-	-	-	0,27	31,33	31,60
Total	185,78	142,98	105,52	64,10	68,13	31,33	597,85



Gambar 5.32 Peta Perubahan Kelas Tutupan Perairan dangkal Pulau Suranti Periode Tahun 2005 – 2008, 2008 – 2011, dan 2011 – 2013 (Resolusi Spasial 15 meter)






DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, J. B., and Wynne, R. H. 2011. *Introduction to Remote Sensing*, 5th Edition. New York: The Guilford Press.
- Danoedoro, P. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Holden, H. Derksen, C., and LeDrew, E. 2001. *Coral Reef Ecosystem Change Detection Based on Spatial Autocorrelation of Multispectral Satellite Data, Remote Sensing of Environment*.
- Horning, N., Robinson, J. A., Sterling, E. J., Turner, W., and Spector, S. 2010. *Remote Sensing for Ecology and Conservation*. New York: Oxford University Press Inc.
- In search for Mineral Wealth of the Mother Earth from Space-Satellite Remote Sensing, ERSDAC, pp,7.
- Iqbal, M. 1983. *An Introduction to Solar Radiation*. Canada: Academic Press.
- Kirk, John. T. O. 1994. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystem*, 2nd Edition. Cambridge, UK ; Melbourne: Cambridge University Press.
- Lindenlaub, John. C. 1976. *The Physical Basis of Remote Sensing, Purdue Research Foundation*, pp,4.
- Mather, P. M., and Koch, M. 2011. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images, An Introduction*, 4th Edition. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Meaden, J. G., and James. M. Kapetsky. 1991. *Geographical Information System and Remote Sensing in Inland Fisheries and Aquaculture*. UK: FAO Fisheries Department.
- Nurdin, N., et al. 2014. *Geospatial Dynamic of Seagrass in outer zone, Spermonde Archipelago, Indoensia using Landsat Data from 1972-2013*. Proceedings Volume 9261, Ocean Remote Sensing and Monitoring from Space; 92610N (2014); doi: 10.1117/12.2062898, SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, 2014, Beijing, China.

- Nurdin, N., et al. 2012. "Hyperspectral Response: Key for Mapping Coral Rubble, Live and Dead Coral". *Journal of Shipping and Ocean Engineering*. Vol 2, Number 3, March 2012.
- Nurdin, N., et al. 2014. "Spectral Clustering of Coral Reefs on the Small Islands, Spermonde Archipelago, Indonesia". *Physical Science International Journal*, 5(1); 1-11, 2015 ISSN: 2348-0130.
- Nurdin, N., et al. 2012. *Spectral Response of The Coral Rubble, Living Corals, and Dead Corals: Study Case on The Spermonde Archipelago, Indonesia*. Proceedings Volume 8525, Remote Sensing of the Marine Environment II; 85251A (2012); doi: 10.1117/12.999306, SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, 2012, Kyoto, Japan.
- Oracknell, A. P., Phill, D. 1980. *Remote Sensing in Meteorology, Oceanography, and Hydrology*. New York: Ellis Horwood Limited.
- Richards, J. A., and Jia, X. 2006. *Remote Sensing Digital Image Analysis, an Introduction*, 4th Edition. New York: Springer Berlin Heidelberg.
- Republik Indonesia. 2011. *Undang-Undang Republik Indonesia No. 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial*. Badan Informasi Geospasial (BIG). Sekretariat Negara. Jakarta.
- Sawayama, Shuhei., et al. 2015. *Introduction of Geospatial Perspective to The Ecology of Fish-habitat Relationships in Indonesian Coral Reefs: A Remote Sensing Approach*. June 2015, Volume 50, Issue 2, pp 343-352.
- Soenarmo, S. H. 2009. *Penginderaan Jauh dan Pengenalan Sistem Informasi Geografis untuk Bidang Ilmu Kebumihan*. Bandung: Penerbit IT.
- Thekaekara, Matthew. P. 1974. *Extraterrestrial Solar Spectrum, 3000–6100 Å at 1-Å Intervals*. *Applied Optics*, Vol. 13, p. 518 – 522.
- Ward S and Spazio Symbios. 2012. *The Earth Observation Handbook*. ESA Communications. Special Edition for Rio+20.
- Weng, Q. 2011. *Advances in Environmental Remote Sensing, Sensors, Algorithms, and Applications*. New York: CRC Press.



GLOSARIUM

Benda hitam

(bahasa Inggris *black body*) adalah objek yang menyerap seluruh radiasi elektromagnetik yang jatuh kepadanya. Tidak ada radiasi yang dapat keluar atau dipantulkannya. Namun, dalam fisika klasik, secara teori benda hitam haruslah juga memancarkan seluruh panjang gelombang energi yang mungkin terjadi karena hanya dari sinilah energi benda itu dapat diukur.

Cahaya

adalah energi berbentuk gelombang elektromagnetik yang kasat mata dengan panjang gelombang sekitar 380 – 750 nm^[1]. Pada bidang fisika, cahaya adalah radiasi elektromagnetik, baik dengan panjang gelombang kasat mata maupun yang tidak.

Data Geospasial

yang selanjutnya disingkat DG adalah data tentang lokasi geografis, dimensi atau ukuran, dan/atau karakteristik objek alam buatan manusia yang berada di bawah atau di atas permukaan bumi.

Geospasial

atau ruang kebumihan adalah aspek keruangan yang menunjukkan lokasi, letak, dan posisi suatu objek atau kejadian yang berada di bawah atau di atas permukaan bumi yang dinyatakan dalam sistem koordinat tertentu.

Informasi Geospasial

yang selanjutnya disingkat IG adalah DG yang sudah diolah sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu dalam perumusan kebijakan, pengambilan keputusan, dan/atau pelaksanaan kegiatan yang berhubungan dengan ruang kebumihan.

Informasi Geospasial Dasar	yang selanjutnya disingkat IGD adalah IG yang berisi tentang objek yang dapat dilihat secara langsung atau diukur dari ketampakan fisik di muka bumi dan yang tidak berubah dalam waktu yang relatif lama.
Informasi Geospasial Tematik	yang selanjutnya disingkat IGT adalah IG yang menggambarkan satu atau lebih tema tertentu yang dibuat mengacu pada IGD.
Jaring Kontrol Gaya Berat Nasional	yang selanjutnya disingkat JKGN adalah sebaran titik kontrol geodesi gaya berat yang terhubung satu sama lain dalam satu kerangka referensi.
Jaring Kontrol Horizontal Nasional	yang selanjutnya disingkat JKHN adalah sebaran titik kontrol geodesi horizontal yang terhubung satu sama lain dalam satu kerangka referensi.
Jaring Kontrol Vertikal Nasional	yang selanjutnya disingkat JKVN adalah sebaran titik kontrol geodesi vertikal yang terhubung satu sama lain dalam satu kerangka referensi.
Optik	adalah cabang fisika yang menggambarkan kelakuan dan sifat cahaya dan interaksi cahaya dengan materi.
Padang lamun	adalah ekosistem khas laut dangkal di perairan hangat dengan dasar pasir dan di dominasi tumbuhan lamun, sekelompok tumbuhan anggota bangsa Alismatales yang beradaptasi di air asin.
Pesisir	merupakan daerah pertemuan antara darat dan laut; ke arah darat meliputi bagian daratan, baik kering maupun terendam air, yang masih dipengaruhi oleh pengaruh darat dan laut.
Peta Lingkungan Laut Nasional	adalah peta dasar yang memberikan informasi secara khusus untuk wilayah laut.
Peta Lingkungan Pantai Indonesia	adalah peta dasar yang memberikan informasi secara khusus untuk wilayah pesisir.

Peta Rupa Bumi Indonesia	adalah peta dasar yang memberikan informasi secara khusus untuk wilayah darat.
Skala	adalah angka perbandingan antara jarak dalam suatu IG dengan jarak sebenarnya di muka bumi.
Skala	adalah angka yang menunjukkan perbandingan jarak di peta dengan jarak sebenarnya.
Spasial	adalah aspek keruangan suatu objek atau kejadian yang mencakup lokasi, letak, dan posisinya.
Spektral	adalah hasil interaksi antara energi elektromagnetik (EM) dengan suatu objek.
Spektrum	merujuk pada rentang warna yang teramati ketika cahaya putih terdispersi oleh sebuah prisma. Istilah tersebut merujuk pada plot intensitas cahaya sebagai fungsi dari frekuensi atau panjang gelombang.
Terumbu karang	adalah sekumpulan hewan karang yang bersimbiosis dengan sejenis tumbuhan alga yang disebut <i>Zooxanthellae</i> .
Titik Kontrol Geodesi	adalah posisi di muka bumi yang ditandai dengan bentuk fisik tertentu yang dijadikan sebagai kerangka acuan posisi untuk IG.





Nurjannah Nurdin lahir di Pare-Pare pada tahun 1969. Beliau tercatat sebagai mahasiswa angkatan pertama pada Program Studi Teknologi Kelautan di Universitas Hasanuddin pada tahun 1988. Menyelesaikan studi program master Teknologi Kelautan pada tahun 1998 dan meraih gelar Doktor pada bidang Penginderaan Jauh pada tahun 2006 di Institut Pertanian Bogor. Mengikuti Program Post Doctoral pada Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo pada tahun 2009 – 2011. Putri berdarah Bugis ini diterima sebagai dosen pada Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin sejak tahun 2007. Menerima penghargaan Sutanto Award dari MAPIN pada tahun 2012. Sejak tahun 2011 sampai saat ini menjadi External Reviewer pada Program Merit Scholarship, Islamic Development Bank, Arab Saudi. Menjadi anggota komite pada Ocean Remote Sensing Project (ORSP), IOC, Western Pasific-UNESCO, dan anggota pada Japan Society for the Promotion of Science (JSPS)-CCore-RENSEA. Sejak tahun 2014 sampai saat ini menjadi Kepala Puslitbang Wilayah, Tata Ruang, dan Informasi Spasial (WiTaRIS) dan Kepala LPPM di Universitas Hasanuddin.

PEMERINTAH KABUPATEN BANGGALA
Jl. Beo 38-40, Telp. (0271) 531111





INDEKS

A

amplitudo 3

atmosfer 6, 11, 12, 22, 23, 56, 64

B

Black Body 7, 8

C

cahaya 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19, 20, 21,
22, 23, 25, 26, 51, 62, 64, 77, 78, 85, 86, 114,
195, 196, 197

citra satelit 14, 16, 37, 40, 51, 62, 64, 65, 67,
70, 71, 73, 74, 76, 80, 89, 92, 111, 113, 115,
127, 134, 140, 155, 168, 169, 173, 181, 182

D

Digital Number 12, 13, 14

E

Elektromagnetik 2, 3, 4, 5

emisi 4, 12, 19, 49

F

False color 19

Fotografi 26

frekuensi 3, 50, 52,

G

gelombang 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19,
20, 21, 23, 25, 26, 27, 38, 50, 64, 70, 72, 73,
74, 79, 85, 86, 87, 121, 195, 197

geometrik 14, 17, 61, 65, 66, 90

Geospasial 194, 195, 196

gray scale 14

Ground Control Point 65

H

hamburan 6, 11, 12, 23, 64, 87

Hiperspektral 84

Histogram 65

I

inframerah 4, 6, 10, 11, 12, 16, 25, 26, 38, 41, 45, 46, 50, 70, 71, 73, 86

intensitas 7, 19, 20, 22, 25, 73, 77, 197

interpretasi 1, 16, 62, 63, 64, 66, 67, 70, 84, 86, 87

Irradiance 8

K

karang 25, 68, 73, 74, 75, 76, 87, 88, 89, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 104, 105, 107, 108, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 137, 139, 140, 141, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 155, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 187, 189, 190, 197

kelautan iii, iv, 63, 73

Klorofil xi, 10, 71, 81, 82

Koordinat xii, xiv, 65, 90, 110, 136, 137

korelasi 72, 87

L

lamun 73, 75, 76, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 105, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 124, 125, 126, 127, 129, 131, 132, 137, 139, 140, 143, 146, 147, 148, 150, 151, 152, 155, 157, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 169, 171, 172, 173, 175, 177, 178, 180, 181, 184, 185, 187, 189, 190, 196

Landsat ix, xi, xix, 1, 15, 16, 18, 44, 45, 46, 50, 51, 53, 55, 56, 73, 75, 77, 87, 89, 90, 92, 95, 102, 124, 125, 137, 150, 157, 179, 193

M

Mangrove x, 70, 72

O

optik 11, 12, 19, 20, 23, 24, 63, 71, 85, 87

oseanografi 1, 63

outer zone 92, 193

P

pantul 46, 86

partikel x, 2, 4, 11, 12, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 77

picture element 14, 50

piksel 12, 38, 50, 61, 62, 64, 66, 68, 70, 75, 156

platform 1

posisi 14, 38, 61, 62, 66, 81, 86, 195, 197

Q

Quickbird x, xix, 37, 38, 39, 40

R

radiometric 45

raster 68

reflektansi 6, 9, 10, 20, 25, 81, 86, 87

Rubble xii, 108, 194

S

salinitas 71, 78

satelit iv, 1, 14, 16, 26, 29, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 50, 51, 52, 53, 56, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 70, 71, 73, 74, 76, 78, 80, 84, 86, 89, 92, 111, 113, 115, 127, 134, 140, 155, 168, 169, 173, 181, 182

Sensor vi, x, xix, 24, 26, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 40, 41, 43, 45, 48, 49, 53, 54, 55, 56, 90

Skala 197

spectral signature 87

Spektral v, vi, vii, xi, 9, 11, 12, 25, 30, 32, 34, 35, 37, 41, 44, 46, 48, 56, 86, 88, 197

Spektroskopi 85

Spektrum 74, 197

Spermonde i, iv, x, xi, 67, 88, 89, 90, 91, 92, 194, xi

Suhu 51, 54, 79

supervised 68

T

tematik 63, 68, 91

Thermal 5, 49

Transformasi v, 12, 63, 65, 90

true color 18

U

ultraviolet 4, 19

unsupervised 68

V

Visible 5, 43, 55

W

Wahana 1

X

X-ray 4, 7



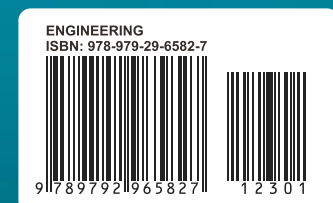
Penginderaan Jauh & Aplikasinya pada Ekosistem Pesisir Pulau-Pulau Kecil Terluar Kepulauan Spermonde

Penginderaan jauh (indraja) merupakan suatu cara pengukuran atau akuisisi data dari sebuah objek atau fenomena dengan sebuah alat yang secara fisik tidak melakukan kontak dengan objek tersebut. Pengukuran atau akuisisi data tersebut, dilakukan oleh sebuah alat dari jarak jauh, misalnya pesawat, pesawat luar angkasa, ataupun satelit. Produk penginderaan jauh yang berupa citra digital ini sangat bermanfaat bagi pendidikan dan keilmuan multidisiplin, seperti teknik, pertanian, kehutanan, kelautan, perikanan, dan antropologi. Objek geografi dan gejala kebumian serta lingkungan darat, pesisir, dan laut dapat disajikan dengan jelas melalui data penginderaan jauh.

Buku *Penginderaan Jauh dan Aplikasinya pada Ekosistem Pesisir Pulau-pulau Kecil Terluar Kepulauan Spermonde* berisi sebagian dari hasil belajar penulis dalam bidang penginderaan jauh serta pemanfaatannya dalam bidang kelautan dan perikanan. Semua contoh-contoh yang disajikan dalam buku ini, merupakan hasil penelitian dan publikasi penulis. Sampai saat ini, literatur yang memuat tentang materi penginderaan jauh yang terintegrasi di bidang kelautan dan perikanan masih sangat kurang. Buku ini hadir untuk memenuhi kebutuhan bagi mahasiswa (S1, S2, S3), peneliti, perencana, dan pengambil keputusan.

Penerbit ANDI

Jl. Beo 38-40 Yogyakarta
Telp.(0274) 561881 Fax.(0274) 588282
e-mail : penerbitan@andipublisher.com
andi.publishing@gmail.com
website: www.andipublisher.com



Dapatkan Info Buku Baru, Kirim e-mail: info@andipublisher.com