



**LUASAN DAN KONDISI TERUMBU KARANG DI PERAIRAN
SEKITAR PULAU LIBUKANG KABUPATEN JENEPONTO
MELALUI ANALISIS CITRA SATELIT LANDSAT-ETM+**

SKRIPSI



| PERPUSTAKAAN PUSAT UNIV. HASANUDDIN | |
|-------------------------------------|------------|
| Tgl. Terima | 7-8-2003 |
| Asal Dari | Kelantan. |
| Banyaknya | 1 (Satu) |
| Harga | Hadiah |
| No. inventaris | 030807086. |
| | 15791 |

Oleh :

RAKHMAT ARIEF BINTORO
L 111 00 501

**JURUSAN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2003**



**LUASAN DAN KONDISI TERUMBU KARANG DI PERAIRAN
SEKITAR PULAU LIBUKANG KABUPATEN JENEPONTO
MELALUI ANALISIS CITRA SATELIT LANDSAT-ETM+**

SKRIPSI

Oleh

**RAKHMAT ARIEF BINTORO
L 111 00 501**

**Skripsi sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana
pada
Jurusan Ilmu Kelautan
Universitas Hasanuddin**

**JURUSAN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2003**



HALAMAN PENGESAHAN

Judul skripsi : Luasan dan Kondisi Terumbu Karang di Perairan
Sekitar Pulau Libukang Kabupaten Jeneponto
Melalui Analisis Citra Satelit Landsat-ETM+.

Nama Mahasiswa : Rakhmat Arief Bintoro

Nomor Pokok : L 111 00 501

Skripsi Telah Diperiksa
dan Disetujui oleh :

Ir. Aidah A.A. Husain, M.Sc
Pembimbing Utama

Drs. M. Anshar Amran, M.Si
Pembimbing Anggota

Diketahui Oleh :



Ir. H. Hamzah Sunusi, M.Si
Dekan



Drs. M. Anshar Amran, M.Si
Ketua Program Studi

Tanggal Lulus : Juni 2003



RINGKASAN

RAKHMAT ARIEF BINTORO. Luasan dan Kondisi Terumbu Karang di Perairan Sekitar Pulau Libukang Kabupaten Jeneponto melalui Analisis Citra Satelit Landsat-ETM+. (Di bawah bimbingan ibu **Aidah A. A. Husain** sebagai pembimbing utama dan bapak **M. Anshar Amran** sebagai pembimbing anggota).

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data citra satelit Landsat-ETM+ path row 114 row 64 akuisisi tanggal 4 Mei 2001. Untuk mengidentifikasi obyek di bawah permukaan air digunakan algoritma $Y = \ln(TM1 + k_i/k_j \times \ln TM2)$ yang diturunkan dari persamaan Model Pengurangan Eksponensial yang didasari oleh teori Lyzenga. Dengan metode ini dihasilkan citra yang menggambarkan obyek di bawah permukaan air seperti terumbu karang.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Kelautan (Inderaja dan SIK) Jurusan Ilmu Kelautan-FIKP Universitas Hasanuddin, sejak bulan Februari sampai Mei 2003.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui luasan dan kondisi kawasan terumbu karang di perairan sekitar Pulau Libukang dengan memanfaatkan data inderaja Landsat-ETM+.

Penggunaan Citra Landsat-ETM+ dengan Algoritma Lyzenga dalam penelitian ini menghasilkan citra yang lebih informatif tentang karakteristik substrat dasar perairan dangkal. Hasil analisa citra tahun 2001 menunjukkan pada daerah penelitian terdapat campuran II rumput laut seluas 0,756 km², campuran I seluas 0,741 km², karang hidup seluas 0,271 km², karang mati seluas 0,260 km², daratan seluas 0,235 km², patahan karang seluas 0,217 km², lamun seluas 0,182 km² dan pasir seluas 0,161 km². Studi tentang persentase tutupan karang hidup dan karang mati menurut luasan metode inderaja pada daerah penelitian, persen tutupan karangnya sekitar 18,8 %.

Kata kunci : Citra Landsat-ETM+ dan kondisi terumbu karang.



KATA PENGANTAR

Tiada kata yang patut penulis ucapkan sebagai kata pembuka, melainkan ucapan puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan kegiatan dan menyusunnya dalam bentuk sebuah skripsi.

Tulisan ini merupakan hasil penelitian yang telah penulis lakukan sejak awal bulan Pebruari hingga akhir bulan Mei 2003, di Laboratorium Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Kelautan (Inderaja dan SIK) Jurusan Ilmu Kelautan-FIKP Universitas Hasanuddin serta di perairan sekitar Pulau Libukang Kabupaten Jeneponto.

Penulis sadar bahwasanya laporan sederhana ini tidak mungkin tersusun seperti sekarang tanpa petunjuk, koreksi, saran serta motivasi dari berbagai pihak, sehingga wajarlah jika pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada mereka semua.

Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada :

- Kepala Dinas Pendidikan TNI AL yang telah memberikan kepercayaan dan kehormatan untuk melaksanakan Tugas Belajar Lintas Jalur.
- Ibu Ir. Aidah A.A. Husain, M.Sc selaku pembimbing utama, bapak Drs. M. Anshar Amran, M.Si selaku pembimbing anggota atas segala bantuan, bimbingan, petunjuk dan saran yang telah diberikan dengan ikhlas sejak dari awal penelitian hingga selesainya penulisan skripsi ini.
- Bapak Ir. H. Hamzah Sunusi, M.Si selaku Dekan FIKP, ibu Dr. Ir. A. Niartiningih, MS selaku Ketua Jurusan Ilmu Kelautan, bapak Drs. M.

Anshar Amran, M,Si selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan, serta seluruh staf dosen dan pegawai yang telah banyak memberikan bantuan kepada penulis, baik secara langsung maupun tidak langsung selama penulis melaksanakan Tugas Belajar Lintas Jalur TNI – AL Angkatan 2000.

- Kepada seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Ilmu Kelautan-FIKP UNHAS serta seluruh teman dan sahabat yang tidak sempat penulis sebutkan namanya atas segala bantuan dan kebersamaannya.
- Kepada kakakku tercinta Nanik dan Yayuk atas segala bantuannya yang tak terhingga selama penulis menempuh tugas belajar di Perguruan Tinggi.
- Untuk belahan jiwaku Apriani kaulah inspirasi dan penyejuk mata dan hatiku kasihmu selembut awan dan seputih salju.

Segala rasa hormat dan ucapan terima kasih yang tak terhingga penulis haturkan kepada Ibunda Hj. Sumini Binti Maskur Sadirun tercinta atas segala bantuan, do'a restu, motivasi, bimbingan, nasehat dan kasih sayang yang begitu besar kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat sebagai wadah pengembangan diri dalam dunia ilmu pengetahuan. *Wassalam.*

Makassar, Juni 2003

Rakhmat Arief Bintoro

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| RINGKASAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR LAMPIRAN | x |
| PENDAHULUAN | |
| Latar Belakang | 1 |
| Tujuan dan Kegunaan | 3 |
| Ruang Lingkup | 3 |
| TINJAUAN PUSTAKA | |
| Penginderaan Jauh | |
| Konsep Dasar Teknologi Inderaja | 8 |
| Sumber Tenaga dan Spektrum Elektromagnetik | 8 |
| Interaksi antara Tenaga dan Obyek | 9 |
| Sensor Penginderaan Jauh | 11 |
| Sistem Pengolahan Data | 12 |
| Karakteristik Landsat – ETM+ | 13 |
| Interpretasi Citra | 14 |
| Pemanfaatan Inderaja untuk Investigasi Terumbu Karang | 15 |
| Terumbu Karang | |
| Fungsi Ekosistem Terumbu Karang | 17 |
| Sebaran dan Keanekaragaman Terumbu Karang | 19 |
| Tipe Terumbu Karang | 20 |
| Faktor - Faktor Pembatas Terumbu Karang | 21 |
| Kondisi Terumbu Karang | 25 |

METODE PENELITIAN

| | |
|---------------------------|----|
| Waktu dan Tempat | 27 |
| Alat dan Bahan | 27 |
| Prosedur Penelitian | 30 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| Gambaran Umum Lokasi Penelitian | 41 |
| Analisis Citra | 42 |
| Pengecekan Lapangan (<i>Ground Truthing</i>) | 53 |
| Pengklasifikasian Ulang (<i>Reklasifikasi</i>) Berdasarkan Data Lapangan | 54 |
| Beberapa Kendala dan Keterbatasan dalam Aplikasi | 58 |
| Luasan dan Kondisi Terumbu Karang | 60 |
| Parameter Fisik Air Laut | 66 |

KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|------------------|----|
| Kesimpulan | 69 |
| Saran | 69 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

RIWAYAT HIDUP PENULIS



DAFTAR TABEL

| Nomor | Teks | Halaman |
|-----------|--|---------|
| Tabel 1. | Nama dan Kisaran Panjang Gelombang Radiasi Elektromagnetik | 9 |
| Tabel 2. | Karakteristik Landsat-ETM+ | 13 |
| Tabel 3. | Kegunaan Masing-Masing Kanal pada Citra Landsat-ETM+ | 14 |
| Tabel 4. | Spesifikasi Citra Landsat-ETM+ yang Digunakan di Lokasi Penelitian | 29 |
| Tabel 5. | Kategori Substrat pada Titik Sampling untuk Transek Garis | 38 |
| Tabel 6. | Penilaian Kondisi Terumbu Karang Berdasarkan Nilai Persentase Penutupan Karang Hidup | 39 |
| Tabel 7. | Nilai Keabuan (<i>Grey Value</i>) Masing-Masing Band untuk Citra Sebelum (a) dan Sesudah (b) Koreksi Radiometrik | 44 |
| Tabel 8. | Nilai Masing-Masing Band Sesudah Proses Penajaman dengan Metode Perentangan (<i>Enhancement</i>) | 46 |
| Tabel 9. | Luasan Tutupan Tiap Kelas Citra Pulau Libukang Tahun 2001 | 60 |
| Tabel 10. | Penilaian dan Persentase Tutupan Karang Hidup di Perairan Pulau Libukang pada Setiap Stasiun Penelitian | 62 |
| Tabel 11. | Hasil Pengukuran Parameter Fisik Air Laut dan Kondisi Perairan Pulau Libukang | 66 |

DAFTAR GAMBAR

| Nomor | Teks | Halaman |
|------------|---|---------|
| Gambar 1. | Sistem Penginderaan Jauh | 7 |
| Gambar 2. | Spektrum Elektromagnetik | 8 |
| Gambar 3. | Kurva Pantulan Umum Vegetasi, Tanah dan Air | 10 |
| Gambar 4. | Peta Lokasi Penelitian | 28 |
| Gambar 5. | Diagram Alir Penelitian | 31 |
| Gambar 6. | Citra Band 1 Sebelum (a) dan Sesudah (b) Koreksi Radiometrik | 44 |
| Gambar 7. | Histogram Citra band 1, 2, dan 3 Sebelum Koreksi Radiometrik | 45 |
| Gambar 8. | Histogram Citra band 1, 2, dan 3 Sesudah Koreksi Radiometrik | 46 |
| Gambar 9. | Citra band 1 (a), 2 (b), 3 (c) Setelah Dilakukan Proses Penajaman dengan Metode Perentangan (<i>Enhancement</i>) | 47 |
| Gambar 10. | Histogram Citra band 1, 2, dan 3 Sesudah Proses Penajaman dengan Metode Perentangan (<i>Enhancement</i>) | 47 |
| Gambar 11. | Citra Komposit Warna Semu 321 Sesudah Proses Penajaman dengan Metode Perentangan (<i>Enhancement</i>) | 48 |
| Gambar 12. | Data Citra yang Terkoreksi Geometrik (<i>Rektifikasi</i>) | 49 |
| Gambar 13. | Data Citra Setelah Melalui Proses Pemotongan (<i>Cropping</i>)... | 50 |
| Gambar 14. | Citra Hasil Transformasi Lyzenga Pulau Libukang | 51 |
| Gambar 15. | Citra Hasil Klasifikasi Transformasi Lyzenga Pulau Libukang | 53 |
| Gambar 16. | Peta Hasil Reklasifikasi Pulau Libukang | 55 |



DAFTAR LAMPIRAN

| Nomor | <u>Teks</u> | Halaman |
|--------------|---|---------|
| Lampiran 1. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 1 | 74 |
| Lampiran 2. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 2 | 75 |
| Lampiran 3. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 3 | 76 |
| Lampiran 4. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 4 | 77 |
| Lampiran 5. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 5 | 78 |
| Lampiran 6. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 6 | 79 |
| Lampiran 7. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 7 | 80 |
| Lampiran 8. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 8 | 81 |
| Lampiran 9. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 9 | 82 |
| Lampiran 10. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 10 | 83 |
| Lampiran 11. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 11 | 84 |
| Lampiran 12. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 12 | 85 |
| Lampiran 13. | Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 13 | 86 |



| | |
|--|----|
| Lampiran 14. Hasil Perhitungan Persen Tutupan Karang Metode Transek Garis Pulau Libukang pada Stasiun 14 | 87 |
| Lampiran 15. Penutupan Karakteristik Dasar di Perairan Sekitar Pulau Libukang Tiap Stasiun Pengamatan | 88 |
| Lampiran 16. Band-band Citra Sebelum Koreksi Radiometrik | 89 |
| Lampiran 17. Nilai Digital Hasil Training Area dan Perhitungan Koefisien k_i/k_j | 92 |
| Lampiran 18. Posisi Stasiun Pengecekan Lapangan | 93 |
| Lampiran 19. Luasan Tiap Kelas Hasil Reklasifikasi | 94 |



PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sumberdaya alam laut merupakan anugrah dari Allah SWT yang harus disyukuri. Dewasa ini pemanfaatan sumberdaya tersebut masih memerlukan pengembangan dan peningkatan. Wilayah perairan laut terutama pulau-pulau di Indonesia yang potensial sebagai obyek daya tarik wisata yang mampu menyediakan berbagai atraksi wisata baik di darat maupun di laut, harus dimanfaatkan seoptimal mungkin bagi sumber pembangunan ekonomi daerah. Pemanfaatan sumberdaya alam laut ini tentunya harus meningkatkan pertumbuhan ekonomi daerah yang memiliki perairan tersebut sehingga korelasinya dapat menunjang peningkatan pembangunan ekonomi nasional.

Terumbu karang (*Coral Reefs*) merupakan suatu ekosistem yang khas terdapat di dasar perairan laut dangkal terutama di daerah tropis, disusun oleh karang-karang jenis Anthozoa dari klas Scleractinia, ekosistem ini merupakan karang *hermatipik* atau jenis-jenis karang yang mampu membuat bangunan atau kerangka dari kalsium karbonat. Struktur bangunan batuan kapur tersebut cukup kuat, sehingga koloni karang mampu menahan gaya gelombang air laut (Vaughan dan Wells, 1943). Pada ekosistem ini hampir seluruh filum yang hidup di laut terwakili dengan bentuk kehidupan dan interaksi organisme yang beragam dan kompleks (Whitten dkk., 1987; Sorokin, 1993; Tomascik dkk., 1997). Perpaduan antara berbagai kehidupan di dalamnya memberikan suatu nilai ilmiah dan estetika yang tinggi.



Untuk optimalisasi pemanfaatan dan pengelolaan ekosistem terumbu karang di sekitar kawasan harus dilakukan sebaik mungkin berdasarkan karakteristik daerah tersebut, dengan melibatkan peran serta masyarakat setempat secara aktif dalam program-program pembangunan di wilayahnya.

Namun bagaimana keadaan terumbu karang di stasiun perairan perlu dikaji terlebih dahulu. Guna mendukung hal tersebut maka pemantauan, inventarisasi data dan informasi mengenai luasan dan kondisi ekosistem terumbu karang mutlak diperlukan.

Salah satu alternatif dalam memantau luasan dan kondisi ekosistem terumbu karang adalah pemanfaatan teknologi penginderaan jauh seperti satelit Landsat. Metode ini sangat efektif dan efisien dari segi waktu dan tenaga, karena dapat dilakukan dari waktu ke waktu (multitemporal) dan dengan cakupan wilayah yang luas (multispasial).

Butler dkk. (1988) menjelaskan bahwa satelit Landsat adalah salah satu satelit lingkungan yang digunakan untuk memantau sumberdaya alam di bumi, seperti memantau perubahan-perubahan yang terjadi di perairan laut dangkal dan pesisir.

Data inderaja satelit Landsat ETM+ mempunyai kemampuan dan manfaat guna mendukung tersedianya data dan informasi tentang kawasan terumbu karang. Dengan mengembangkan model metode pengolahan dan mengkaji pemanfaatan data inderaja diharapkan dapat mendukung penyediaan data dan informasi terbaru yang sangat bermanfaat dalam upaya pengelolaan kawasan terumbu karang.



Perairan di sekitar Pulau Libukang merupakan salah satu asset Kabupaten Jeneponto yang cukup potensial dan strategis untuk dikembangkan lebih lanjut. Daerah ini merupakan kawasan yang dekat dari pusat kota, yakni terletak di sekitar lokasi wisata Pantai Birtaria, dimana aksesibilitas ke daerah tersebut melalui transportasi laut membutuhkan waktu yang relatif singkat. Dilihat dari letak yang sangat strategis, kondisi tersebut akan bisa ditumbuhkan sebagai salah satu pusat perkembangan ekonomi dengan jalan mengembangkan wisata bahari.

Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan gambaran/profil luasan dan kondisi terumbu karang di perairan sekitar Pulau Libukang Kabupaten Jeneponto.

Sedangkan kegunaannya diharapkan dapat menjadi acuan untuk studi ekologi terumbu karang lebih lanjut dan sebagai informasi penting dalam pemanfaatan kawasan perairan sekitar Pulau Libukang secara optimal dan lestari.

Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada analisis data digital citra satelit Landsat-ETM+ dengan menerapkan formula Lyzenga untuk memperoleh daerah luasan ekosistem dasar perairan.

Untuk mengetahui kondisi tutupan ekosistem terumbu karang, dilakukan pengecekan secara langsung di lapangan. Di samping itu pengukuran beberapa parameter oseanografi seperti suhu, salinitas, arus, kedalaman dan intensitas cahaya juga diperlukan dalam menunjang penelitian ini.

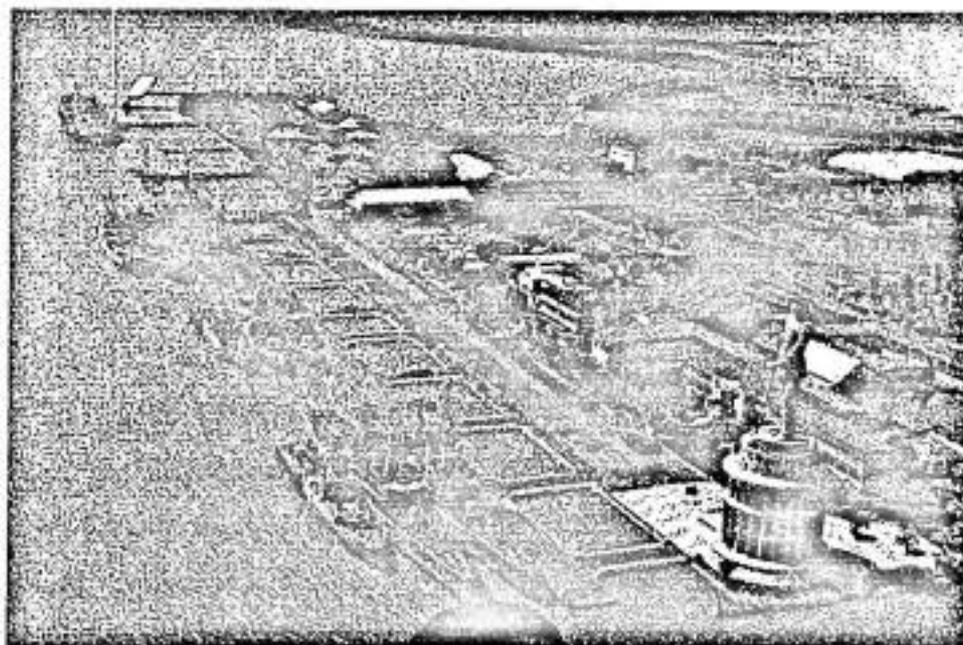


TRISILA TNI AL

DISIPLIN

HIERARKI

KEHORMATAN MILITER





TINJAUAN PUSTAKA

Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh mempunyai beberapa istilah dalam bahasa asing yang sering digunakan seperti '*remote sensing*' (Inggris), '*teledetection*' (Perancis), '*fernerkundung*' (Jerman), '*sensoriamento remota*' (Portugis), '*distantionaya*' (Rusia), dan '*perception remota*' (Spanyol), sementara di Indonesia pernah digunakan dua istilah yaitu penginderaan jauh dan teledeteksi (Sutanto, 1987).

Penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu obyek, daerah, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan obyek, daerah, atau fenomena yang dikaji (Lillesand dan Kiefer, 1994 dalam Purwadhi, 2001).

Sedangkan menurut Curran (1985) penginderaan jauh adalah suatu pengukuran atau perolehan data pada obyek di permukaan bumi dari satelit atau instrumen lain dari atas atau jauh dari obyek yang diindera dengan pengukuran sensor radiasi elektromagnetik untuk merekam gambaran lingkungan yang dapat diinterpretasikan sehingga menghasilkan informasi yang berguna.

Dijelaskan pula oleh Meaden dan Kapetsky (1991) bahwa penginderaan jauh memiliki tujuan untuk memanfaatkan sensor, yang digunakan memotret suatu daerah atau area dari udara. Selain itu pula penginderaan jauh juga bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengukur parameter obyek yang direfleksikan dari obyek tersebut dengan menggunakan radiasi elektromagnetik.

Selanjutnya menurut Lo (1986) tujuan utama dari penginderaan jauh ialah mengumpulkan data sumber daya alam dan lingkungan yang disampaikan ke



pengamat melalui energi elektromagnetik sebagai pembawa informasi dan sebagai penghubung komunikasi.

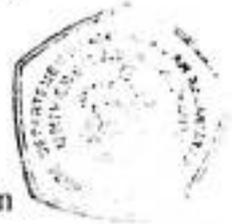
Pengukuran parameter-parameter kelautan dengan menggunakan data satelit mempunyai kelebihan antara lain (Murai dkk., 1993):

- a. Citra menggambarkan obyek, daerah, dan gejala di permukaan bumi dengan wujud dan letak obyek yang mirip dengan obyek aslinya.
- b. Karakteristik yang tidak nampak dapat diwujudkan dalam bentuk citra, sehingga dimungkinkan pengenalan obyeknya.
- c. Citra dapat dibuat secara cepat meskipun untuk daerah yang sulit dijelajahi.
- d. Citra sering dibuat dengan periode ulang yang pendek.
- e. Dapat merekam kondisi laut pada wilayah dengan cakupan yang sempit maupun luas.

Sedangkan menurut Lillesand dan Kiefer (1990), dijelaskan bahwa keunggulan yang ditawarkan oleh teknik penginderaan jauh jika dibandingkan dengan metode konvensional survey lapangan, antara lain adalah :

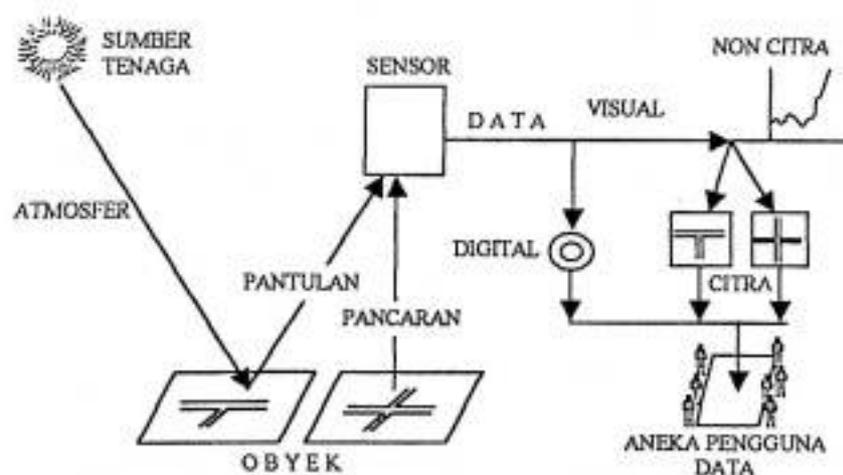
- a. Memberikan gambaran yang sinoptik (*Synoptic Value*) : Sebuah citra landsat misalnya dapat memberikan informasi detail mengenai ciri dan pola suatu lahan atau obyek di muka bumi seluas 185 x 185 km, dimana hal ini tidak dapat diberikan oleh teknik lain. Informasi yang diberikan oleh citra sangat berguna untuk mengorganisasikan sebuah penelitian di lapangan, karena citra dapat memberikan gambaran pendahuluan suatu areal, sehingga merupakan saringan dalam memilih daerah yang akan diteliti secara lebih rinci. Hal ini

- akan menghemat waktu dan biaya, karena dapat mengurangi penelusuran data besar yang diperlukan sebelum suatu penelitian meliputi suatu areal dilakukan.
- b. Peliputannya bersifat global (*World Wide Coverage*) : Daratan dan perairan dangkal di bumi dapat dipantau.
 - c. Peliputan yang berulang (*Repetitive Coverage*) : Informasi peliputan global tersebut dapat diperoleh setiap 16 hari, sehingga dapat digunakan pula sebagai alat monitoring.
 - d. Keseragaman waktu (*Uniformity Over Time*) : Satelit melewati suatu titik di permukaan bumi hampir selalu tepat pada waktu lokal yang sama.
 - e. Analisis berbagai panjang gelombang (*Multispectral Analysis*) : Data yang diperoleh serentak dalam beberapa panjang gelombang melalui sistem optik yang sama. Hal ini menyebabkan kita dapat membuat tumpang tindih (*Overlay*) beberapa saluran/band, sehingga membentuk suatu citra komposit. Beberapa bagian dari panjang gelombang yang memiliki informasi penting yang tidak dapat ditangkap oleh indera manusia atau kamera biasa (gelombang infra merah) masih dapat ditangkap/diperoleh informasinya.
 - f. Analisis Digital (*Digital Analysis*) : Data Landsat tersedia dalam bentuk digital, sehingga data dalam jumlah besar dapat diperoleh dan dianalisis dengan cepat melalui bantuan komputer.
 - g. Cepat atau mudah diperoleh (*Quick Access*) : Informasi dapat diperoleh di mana-mana, misalnya data citra untuk seluruh wilayah Indonesia dapat diperoleh dari stasiun bumi milik LAPAN di Pare-Pare Sulawesi Selatan.

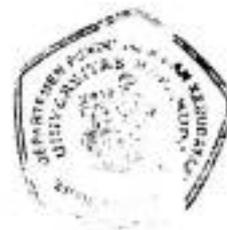


Dijelaskan pula oleh Curran (1985) bahwa sebuah Sistem Penginderaan Jauh yang menggunakan radiasi elektromagnetik, pada umumnya memiliki 4 (empat) komponen, yaitu :

1. Sumber radiasi elektromagnetik dapat merupakan sumber alami, seperti matahari atau panas emisi bumi, dan dapat juga merupakan sumber artifisial seperti gelombang mikro.
2. Interaksi dengan bumi yakni jumlah dan karakteristik dari radiasi yang diemisikan atau dipantulkan dari permukaan bumi tergantung dari karakteristik obyek permukaan bumi.
3. Interaksi dengan permukaan atmosfer yakni energi elektromagnetik yang melalui atmosfer akan mengalami gangguan dan hamburan.
4. Sensor yakni interaksi radiasi elektromagnetik dengan permukaan bumi dan atmosfer akan direkam oleh sensor, misalnya radiometer atau kamera. Sebuah sistem indera menggunakan radiasi elektromagnetik (Gambar 1).



Gambar 1. Sistem penginderaan jauh (Sutanto, 1994).



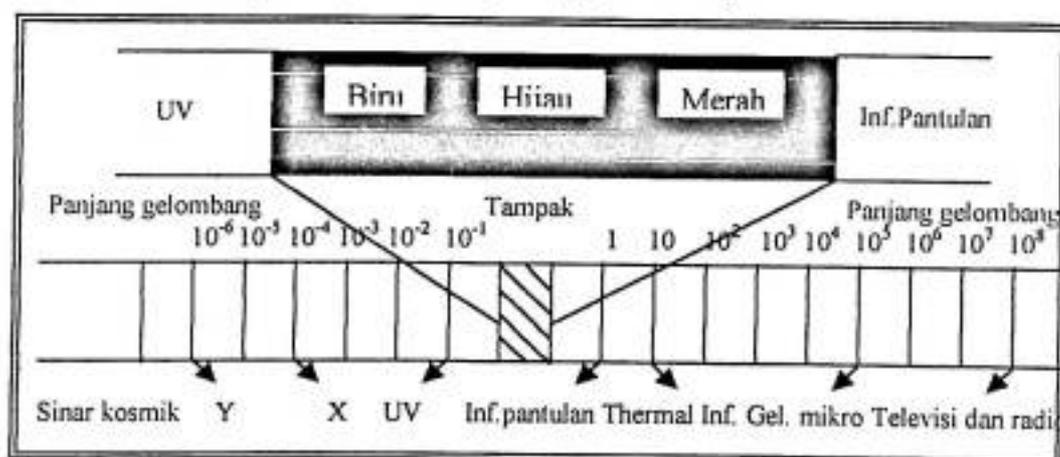
Konsep Dasar Teknologi Inderaja

Purwadhi (2001) mengutarakan bahwa konsep dasar penginderaan jauh terdiri atas beberapa elemen atau komponen yang meliputi sumber tenaga, atmosfer, interaksi tenaga dengan obyek di permukaan bumi, sensor, sistem pengolahan data, dan berbagai penggunaan data.

1. Sumber Tenaga dan Spektrum Elektromagnetik

Seluruh sistem penginderaan jauh, baik pasif maupun aktif memerlukan sumber tenaga, yaitu dapat berupa sumber tenaga alamiah maupun sumber tenaga buatan. Matahari merupakan sumber utama tenaga elektromagnetik. Cahaya matahari yang bisa dilihat oleh mata kita adalah gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari dan diteruskan sampai ke permukaan bumi (Sutanto, 1987).

Spektrum elektromagnetik merupakan berkas dari tenaga elektromagnetik, yang meliputi spektra kosmis, Gamma, X, ultraviolet, tampak, inframerah, gelombang mikro, dan gelombang radio. Jumlah total seluruh spektrum disebut spektrum elektromagnetik (Purwadhi, 2001) (Gambar 2).



Gambar 2. Spektrum elektromagnetik.

Bagian-bagian spektrum elektromagnetik yang melalui atmosfer dan mencapai permukaan bumi disebut dengan jendela atmosfer, dapat dilihat pada Tabel 1. Jendela atmosfer yang paling dulu dikenal orang dan paling banyak digunakan dalam penginderaan jauh hingga sekarang ialah spektrum tampak yang dibatasi oleh panjang gelombang 0,4 - 0,7 μm (Sutanto, 1987).

Tabel 1. Nama dan kisaran panjang gelombang radiasi elektromagnetik.

| Kelas | Panjang Gelombang | Frekuensi |
|-------------------------|--------------------------|----------------|
| Ultraviolet | 100Å - 0,4 μm | 750 - 3000 THz |
| Sinar tampak | 0,4 - 0,7 μm | 430 - 750 THz |
| Infra merah dekat | 0,7 - 1,3 μm | 230 - 430 THz |
| Infra merah gel. pendek | 1,3 - 3 μm | 100 - 230 THz |
| Infra merah peralihan | 3 - 8 μm | 38 - 100 THz |
| Infra merah thermal | 8 - 14 μm | 22 - 38 THz |
| Infra merah jauh | 14 μm - 1 mm | 0,3 - 22 THz |
| Gelombang radio | 0,1 mm - 100 km | 3 THz - 30 KHz |

Sumber : Murai dkk (1993)

2. Interaksi antara Tenaga dan Obyek

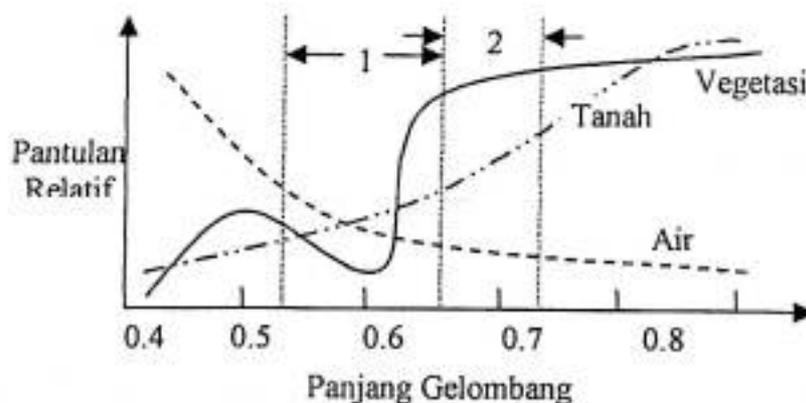
Berdasarkan interaksi tenaga dengan obyek atau benda sesuai dengan asas kekekalan tenaga, maka ada tiga interaksi apabila tenaga mengenai suatu obyek, yaitu dipantulkan, diserap dan diteruskan atau ditransmisikan. Hubungan tersebut merupakan suatu keseimbangan tenaga yang menunjukkan hubungan timbal balik antara mekanisme tenaga pantulan, tenaga serapan, dan tenaga yang diteruskan atau tenaga yang ditransmisikan. Besarnya tenaga pantulan, serapan dan transmisi



akan berbeda untuk setiap obyek di permukaan bumi, tergantung pada jenis materi dan kondisinya.

Pengenalan obyek atau interpretasi data penginderaan jauh pada dasarnya untuk mengetahui karakteristik spektral obyek. Namun ada beberapa jenis obyek yang berbeda tetapi mempunyai karakteristik spektral sama atau serupa sehingga menyulitkan pengenalannya, maka pengenalan obyek juga dilakukan dengan menggunakan karakteristik lain seperti bentuk, pola, ukuran, dan letak obyek. Karakteristik tersebut merupakan karakteristik spasial (keruangan). Karakteristik spasial dalam interpretasi citra digital dikenal dengan pengenalan pola dalam klasifikasi dengan pendekatan tekstur (Purwadhi, 2001).

Informasi yang didapat dari sistem penginderaan jauh merupakan hasil interaksi antara tenaga elektromagnetik dengan obyek yang diindera. Oleh Sutanto (1987) dikatakan bahwa tiap obyek memiliki karakteristik tersendiri didalam menyerap dan memantulkan tenaga yang diterima olehnya. Karakteristik ini disebut karakteristik spektral yang ditunjukkan sebagaimana kurva pantulan umum vegetasi, tanah, dan air pada gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Kurva pantulan umum vegetasi, tanah dan air (Ford, 1979 dalam Sutanto, 1994).



3. Sensor Penginderaan Jauh

Sensor adalah alat perekam obyek bumi. Sensor dipasang pada wahana (*platform*) dan letaknya jauh dari obyek yang diindera, maka diperlukan tenaga elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan oleh obyek tersebut. Sensor elektronik membangkitkan sinyal elektrik yang sesuai dengan variasi tenaga elektromagnetik. Tenaga radiasi yang dipancarkan atau dipantulkan oleh obyek dan ditangkap oleh sensor, dapat menghasilkan citra yang sesuai dengan wujud aslinya (Purwadhi, 2001).

Kemudian oleh Lillesand dan Kiefer (1990) menjelaskan bahwa informasi yang diperoleh berupa radiasi gelombang elektromagnetik yang datang dari suatu obyek dan diterima oleh sensor. Sensor merupakan alat untuk mendeteksi radiasi elektromagnetik yang direfleksikan atau diemisikan dari obyek. Sensor dapat berupa kamera, scanner atau peralatan lain (radiometer) ditempatkan pada suatu wahana angkasa, seperti kapal, pelampung, balon udara, pesawat udara atau satelit. Sedangkan Sutanto (1987) berpendapat bahwa alat yang dimaksud tersebut ialah alat pengindra atau sensor yang pada umumnya sensor dipasang pada wahana yang berupa pesawat terbang, satelit, pesawat ulang alik, atau wahana lainnya.

Berdasarkan proses perekaman obyek, sensor dibedakan atas sensor fotografik dan sensor elektronik. Pada sensor fotografik, perekamannya berlangsung secara kimiawi dimana tenaga elektromagnetik diterima dan direkam pada lapisan emulsi film yang bila diproses akan menghasilkan foto. Berbeda dengan sensor fotografik, sensor elektronik menggunakan tenaga listrik dalam

bentuk sinyal elektrik dan alat penerima serta perekamannya berupa pita magnetik atau detektor lainnya. Sinyal elektrik yang direkam pada pita ini akan diproses menjadi data visual maupun data digital yang siap diolah secara lebih lanjut (Jansen, 1999).

4. Sistem Pengolahan Data

Sistem pengolahan data adalah penanganan data yang direkam oleh sensor penginderaan jauh hingga menjadi bentuk data yang dapat diinterpretasi, dan atau bentuk informasi yang dapat dipergunakan oleh pengguna. Sistem pengolahan data merupakan suatu kesatuan yang saling berhubungan dan kerjasama untuk membentuk suatu sistem antara data, peralatan pengolahan, prosedur pengolahan, dan tenaga pelaksana (Purwadhi, 2001).

Data penginderaan jauh pada dasarnya merupakan rekaman pola pantulan energi elektromagnetik pantulan dan emisi yang ditampilkan sebagai citra yang menyerupai gambar yang sifatnya sangat bervariasi. Untuk dapat menyadap informasi penting dari data tersebut, diperlukan latihan menilai kenampakan penting di luar yang tidak penting. Tingkat awal interpretasi dikenal sebagai deteksi (Lo, 1986).

Untuk ekstraksi informasi serta mempertinggi kualitas data itu, perlu teknik pengolahan data yang sesuai. Kualitas data penginderaan jauh dapat ditingkatkan melalui proses koreksi radiometrik, koreksi geometrik, dan *enhancement* (penajaman) citra penginderaan jauh. Melalui proses pengolahan data inilah berbagai informasi yang diindera oleh sensor dapat diekstraksi (Sutanto, 1987).



5. Karakteristik Landsat-ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*)

Pada tanggal 15 April 1999, Landsat-7 merupakan satelit seri terakhir dari Landsat yang diluncurkan ke orbit. Satelit dengan berat 2.200 kg ini desain dan operasinya direncanakan membawa dua sensor, yaitu *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) dan *High Resolution Multispectral Stereo Imager* (HRMSI). Desain ETM+ titik beratnya untuk keberlanjutan (*continuity*) dari program Landsat 4 dan 5 yang sampai saat ini datanya masih dapat direkam. Pola orbitnya juga dibuat sama dengan Landsat 4,5 dan 6, yaitu lebar liputan 185 km.

Sensor ETM+ merupakan pengembangan dari sensor TM dengan menambahkan saluran pankromatik (0,50-0,90 μ m), dengan resolusi spasial 15 x 15 meter. Sensor ETM+ juga didesain dapat merekam citra multispektral dengan enam saluran seperti pada sensor TM, yaitu menggunakan gelombang tampak (*visible*), inframerah dekat dan inframerah pendek dengan resolusi 30 meter, sedangkan satu saluran termal dengan resolusi diperbaiki menjadi 60 meter (Purwadhi, 2001). Karakteristik Landsat ETM+ dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Landsat-ETM+

| | |
|------------------------------|---|
| Panjang Gelombang (μ m) | Kanal 1 : 0,45-0,52 μ m (biru-violet) Kanal 2 : 0,52-0,60 μ m (hijau) Kanal 3 : 0,63-0,69 μ m (merah) Kanal 4 : 0,76-0,90 μ m (infra merah dekat) Kanal 5 : 1,55-1,75 μ m (infra merah jauh) Kanal 6 : 10,40-12,50 μ m (infra merah termal) Kanal 7 : 2,08-2,35 μ m (infra merah sedang) Saluran Pankromatik : 0,50-0,90 μ m |
| IFOV | 0,043 mrad (kecuali kanal 6 : 0,170 mrad) |
| Lebar Sapuan | 185 km |
| Ukuran Sel Resolusi | 30 x 30 m (kecuali kanal 6 : 60 x 60 m) |

Sumber : Purwadhi (2001)



Lillesand dan Kiefer (1990) memaparkan secara rinci kanal-kanal pada Landsat-TM dan kegunaannya yang sama pada Landsat-ETM+ (Tabel 3). Karena terdiri dari 7 kanal, maka dapat dilakukan beberapa kombinasi yang menghasilkan kenampakan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Tabel 3. Kegunaan masing-masing kanal pada citra Landsat-TM.

| Kanal | Panjang Gelombang | Lokasi Spektral | Kegunaan |
|-------|-------------------|---------------------|--|
| 1 | 0,45 - 0,52 | Biru | Baik pada penetrasi air, untuk membedakan rona vegetasi dan rona tanah |
| 2 | 0,52 - 0,60 | Hijau | Puncak refleksi hijau (baik pada inventori tanaman) |
| 3 | 0,63 - 0,69 | Merah | Penyerapan kuat pada vegetasi |
| 4 | 0,76 - 0,90 | Infra Merah Dekat | Kontras pada daratan tinggi dan air |
| 5 | 1,55 - 1,75 | Infra Merah Jauh | Amat peka di daerah lembab dan dapat membedakan salju dan awan |
| 6 | 10,4 - 12,5 | Infra Merah Thermal | Peka terhadap tanah lembab dan vegetasi |
| 7 | 2,08 - 2,35 | Infra Merah Sedang | Baik pada pemetaan geothermal (pemisahan daerah geologis) |

Sumber : Lillesand dan Kiefer (1990)

Menurut Dahuri dkk (1996), dengan menggunakan data spektrum tampak dan infra merah dekat dari satelit Landsat-TM, maka dapat dilakukan deteksi terhadap kualitas air (klasifikasi tingkat kekeruhan air), klasifikasi hutan bakau, pemetaan kedalaman perairan dangkal, dan deteksi polusi tumpahan minyak.

6. Interpretasi citra

Interpretasi citra merupakan perbuatan mengkaji foto udara dan atau citra dengan maksud untuk mengidentifikasi obyek dan menilai arti pentingnya obyek tersebut (Estes dan Simonet, 1975 dalam Sutanto, 1994).



Lo (1976) dalam Sutanto (1987) mengemukakan bahwa pada dasarnya kegiatan interpretasi citra terdiri dari 2 tingkat, yaitu tingkat pertama berupa pengenalan obyek melalui proses deteksi dan identifikasi, dan tingkat kedua yang berupa penilaian atas pentingnya obyek yang telah dikenali tersebut, yaitu arti pentingnya tiap obyek dan kaitannya dengan antar obyek tersebut. Tingkat pertama berarti perolehan data, sedangkan pada tingkat kedua berupa interpretasi atau analisis data. Di dalam upaya otomatisasi, hanya tingkat pertamalah yang dapat dikomputerkan. Sedangkan tingkat kedua harus dilakukan oleh orang yang berbekal ilmu pengetahuan cukup memadai pada disiplin ilmu tertentu.

7. Pemanfaatan Inderaja untuk Investigasi Terumbu Karang

Penelitian terumbu karang dengan menggunakan citra Landsat-MSS di Bahama dan Great Barrier Reef Australia pernah dilakukan oleh Stoddart dan Johannes (1978) dalam Siswandono (1987). Dari penelitian ini diketahui bahwa dengan menggunakan kanal 4, dengan mudah dapat melihat distribusi terumbu, sedangkan kanal 5 hanya dapat digunakan untuk mengevaluasi terumbu hingga kedalaman 10 meter. Sementara penggunaan kanal 6 dan kanal 7 cocok untuk delienasi pulau pasir terumbu (*sand clay*), goba (*lagoon*) dan rataan terumbu (*reef flat*).

Sejak tahun 1989, di Thailand telah dikembangkan penelitian inderaja untuk melihat terumbu tepi (*fringing reef*) melalui empat cara, yaitu : analisis citra, klasifikasi citra, integrasi citra dan survei lapangan. Teknis analisis citra terdiri dari penajaman citra (*image enhancement*), perbandingan kanal (*band ratio*) dan prinsip analisis komponen (*component analysis*).



Kenampakan warna yang sesuai dengan interpretasi secara visual diberikan oleh kanal 1, 2 dan 3, sedangkan kanal 1, 2, 4 dan kanal 1, 4, 3 memberikan warna yang cocok digunakan untuk mengenali jenis-jenis obyek. Selanjutnya penggabungan kanal (komposit) 1, 2, 2/5 memberikan hasil penampakan visual yang dapat memisahkan antara area sebelah dalam dengan area sebelah luar terumbu karang, sedangkan penggabungan kanal 4/3, 1, 4 dapat membedakan dasar yang dipenuhi oleh rumput laut dengan area terumbu karang (Thamrongnawasawat dan Sudara, 1991).

Penginderaan jauh (inderaja) kelautan saat ini telah berkembang sesuai dengan perkembangan teknologi inderaja itu sendiri. Pemanfaatan teknologi inderaja dalam pemanfaatan sumberdaya alam telah dilakukan di beberapa negara maju seperti Jepang, Australia dan beberapa negara Eropa. Hal ini banyak membantu dalam berbagai penelitian untuk memahami dinamika lingkungan laut, termasuk memahami dinamika sumberdaya alam yang terkandung di dalamnya (Hasyim, 1993).

Siregar (1995) menggunakan dua kombinasi kanal sinar tampak satelit SPOT-1 sehingga karakteristik dasar perairan karang dapat diidentifikasi dengan cukup baik, terutama yang berada di daerah *reef flat*. Pemetaan terumbu karang dengan menggunakan metode ini memberikan prospek yang baik, dan untuk meningkatkan ketelitian sebaiknya menggunakan alat GPS (Global Positioning System) dalam menentukan lokasi penelitian.

Terumbu Karang

Terumbu karang merupakan ekosistem perairan dangkal yang produktif dan menjadi tempat hidup berbagai biota laut yang bernilai ekonomis serta memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi. Meskipun terumbu karang ditemukan di seluruh perairan dunia, tetapi hanya di daerah tropis terumbu karang dapat berkembang dengan baik. Terumbu karang terbentuk dari endapan-endapan masif terutama kalsium karbonat yang dihasilkan oleh organisme karang (filum Cnidaria, klas Anthozoa, ordo Madreporaria Scleractinia), alga berkapur dan organisme-organisme lain yang mengeluarkan kalsium karbonat (Nybakken, 1988).

Ekosistem terumbu karang mempunyai produktivitas organik yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh kemampuan terumbu untuk menahan nutrisi dalam sistem dan berperan sebagai kolam untuk menampung segala masukan dari luar. Sebagai contoh, daur yang dapat mencegah kehilangan nutrisi ini adalah zooxanthella dalam jaringan karang. Setiap nutrisi yang dihasilkan oleh karang sebagai hasil metabolisme dapat digunakan langsung oleh tumbuhan tanpa mengedarkannya lebih dahulu ke dalam perairan (Nybakken, 1988).

Fungsi Ekosistem Terumbu Karang

Terumbu karang mempunyai fungsi sebagai gudang aneka ragam biota laut dan merupakan rumah, tempat bertelur, tempat memijah, pembesaran, tempat mencari makanan serta tempat tinggal sementara bagi biota laut. Terumbu karang juga sebagai benteng hempasan ombak, arus dan pasang surut bagi pulau-pulau



dan berbagai ekosistem pantai lainnya seperti padang lamun dan mangrove (Suharsono, 1996).

McAllister (1991) mengatakan bahwa terumbu karang yang berkembang dengan baik memberikan tempat dan ruang yang baik untuk perlindungan ikan dan satwa laut lainnya dari ancaman predator dan gelombang, selain itu terumbu karang juga menyediakan pangan untuk ikan dan jenis hewan tak bertulang belakang.

Selanjutnya menurut Whitten dkk. (1987), terumbu karang memiliki arti penting dalam melindungi hewan-hewan yang lebih besar yang berasosiasi dengan terumbu karang. Nontji (1987) dan Soekarno dkk. (1983) menambahkan bahwa fungsi alami terumbu karang adalah :

- a) Sebagai lingkungan hidup karena merupakan tempat tinggal dan tempat berlindung, tempat mencari makan serta berkembang biak bagi biota yang hidup di terumbu karang.
- b) Sebagai pelindung fisik terhadap pantai dari pengaruh arus dan gelombang karena terumbu karang sebagai pemecah ombak dan penahan arus.
- c) Sebagai sumberdaya hayati karena menghasilkan beberapa produk yang memiliki nilai ekonomis penting seperti berbagai jenis ikan karang, alga, teripang, dan mutiara.
- d) Sebagai sumber keindahan karena menampilkan pemandangan yang sangat indah dan jarang dapat ditandingi oleh ekosistem lain.

Sebaran dan Keanekaragaman Terumbu Karang

Karang tumbuh subur di perairan laut tropis, walaupun ada beberapa di antaranya yang mampu bertahan di perairan laut subtropis. Menurut Rosen (1971) keanekaragaman karang berkurang dengan kenaikan derajat lintang. Di dunia ini ada tiga daerah pengelompokan terumbu karang, yaitu Laut Karibia (Atlantik), Indo-Pasifik, dan yang ketiga terletak di sebelah selatan Samudera Hindia.

Keanekaragaman spesies karang yang terbesar di wilayah Indo-Pasifik tercatat di daerah Melanesia, Asia Tenggara dengan lebih dari 50 genera dan 700 spesies. Kebanyakan terumbu karang di kawasan ini mempunyai 20-40 genera (Stoddart, 1969). Sedangkan menurut Rosen (1971) dari daerah Malanesia di atas, yang paling tinggi keanekaragaman karangnya adalah Indonesia.

Sebaran karang di Indonesia dari hasil ekspedisi Snellius II pada tahun 1984 di perairan Indonesia Timur terumbu karang yang ditemukan lebih banyak terdapat di sekitar Pulau Sulawesi, Laut Flores dan Laut Banda. Sebaran karang di sepanjang pantai timur Sumatera dan Kalimantan Barat dan Selatan dibatasi oleh adanya sedimentasi yang tinggi dibawa oleh aliran sungai. Tumbuh dan berkembangnya karang dengan baik di daerah Sulawesi pada umumnya dan Sulawesi Utara pada khususnya disebabkan oleh adanya Arus Lintas Indonesia (Arlindo) yang mengalir sepanjang tahun dari Laut Pasifik dan Laut Hindia (Suharsono, 1996).

Tipe Terumbu Karang

Berdasarkan geomorfologinya, ekosistem terumbu karang dapat dibagi menjadi tiga tipe, yaitu terumbu karang tepi (*fringing reef*), terumbu karang penghalang (*barrier reef*), dan terumbu karang cincin (*atoll*). Sesuai dengan namanya, terumbu karang tepi tumbuh mulai dari tepian pantai. Berbeda dengan terumbu karang penghalang, terumbu karang ini dipisahkan dari daratan pantai oleh goba atau laguna (*lagoon*). Sedangkan terumbu karang cincin merupakan terumbu karang yang melingkar atau berbentuk oval yang mengelilingi goba (Supriharyono, 2000).

Terumbu karang dapat tumbuh pada dasar kontinen atau benua atau pulau yang muncul ke permukaan laut. Berbagai corak terumbu karang dibedakan atas dasar hubungannya dengan daratan sehingga dikenal ketiga corak utama terumbu karang di atas. Lebih rinci Soekarno dkk. (1983) mengemukakan bentuk dan letak ketiga tipe yaitu :

(1) Terumbu karang tepi atau *fringing reef*

Bentuk terumbu karang ini tumbuh di sepanjang pantai mencapai kedalaman tidak lebih dari 40 m. Terumbu karang ini tumbuh ke arah permukaan dan ke arah luar menuju laut terbuka. Pertumbuhan yang optimum terdapat di daerah yang cukup ombak, sedang di antara tepi sebelah luar dengan tepi daratan cenderung mati karena terjadinya perubahan suhu dan salinitas serta terdapatnya banyak endapan. Pada pantai yang curam, terumbu karang ini berkembang di daerah-daerah lereng di bawah permukaan laut. Sedang pada pantai yang landai terumbu karang berkembang relatif horizontal.



(2) Terumbu karang penghalang atau *barrier reef*

Tipe ini terletak di berbagai jarak kejauhan dari pantai dan dipisahkan dari pantai tersebut oleh dasar laut yang terlalu dalam untuk pertumbuhan karang batu (40-75 meter). Terumbu karang penghalang berakar pada kedalaman yang melebihi kedalaman maksimum dimana karang batu pembentuk terumbu tetap hidup. Umumnya terumbu karang penghalang memanjang menyusuri pantai dan biasanya berputar seakan-akan merupakan penghalang bagi pendatang dari luar. Contoh terumbu karang penghalang yang sangat terkenal adalah the Great Barrier Reef yang berderet di sebelah timur laut Australia, panjangnya 1.350 mil.

(3) Terumbu karang cincin atau *atoll*

Terumbu karang ini berbentuk cincin yang melingkar suatu goba (laguna), kedalaman rata-rata goba di dalam *atoll* sekitar 45 meter, jarang sampai 100 meter. Seperti halnya terumbu karang penghalang, terumbu cincin ini juga bertumpu pada dasar laut yang dalamnya di luar batas kedalaman karang batu penyusun terumbu karang yang hidup. Contoh *atoll* di Indonesia yang sangat terkenal ialah Pulau Taka Bonerate, Sulawesi Selatan.

Faktor-Faktor Pembatas Terumbu Karang

Untuk dapat membentuk terumbu, karang memerlukan persyaratan hidup tertentu, terpenting di antaranya adalah faktor suhu, cahaya, kedalaman, salinitas, kejenuhan air, arus, sedimentasi dan substrat (Nontji, 1987).

Suhu perairan

Suhu terutama membatasi sebaran karang batu secara geografis. Karang hermatipik dapat bertahan selama beberapa waktu pada suhu di bawah 20°C, akan tetapi tidak ada karang batu yang berkembang pada suhu minimum tahunan di bawah 18°C. Karang batu hermatipik memerlukan kisaran suhu antara 18–32°C dan perkembangan terumbu yang paling optimal terjadi di perairan yang suhu tahunannya antara 23–25°C tetapi dapat mentoleransi sampai suhu 36–40°C (Nybakken, 1988), atau 30–34°C (Veron, 1986).

Beberapa hasil penelitian menunjukkan suhu yang sesuai untuk pembentukan terumbu antara lain di atas 16°C (Fell, 1975), penelitian lain menyebutkan di atas 20°C (Barnes dan Huges, 1988; Boaden dan Seed, 1985; Ditlev, 1980; Nybakken, 1988).

Cahaya dan kedalaman

Cahaya adalah salah satu faktor yang paling penting yang membatasi terumbu karang, karena cahaya diperlukan bagi proses fotosintesis. Kedalaman penetrasi sinar mempengaruhi kedalaman pertumbuhan karang. Intensitas dan kualitas cahaya yang dapat menembus air laut sangat penting dalam menentukan sebaran vertikal karang batu yang mengandungnya. Semakin dalam laut, semakin kurang intensitas cahaya yang didapat atau dicapai yang berarti semakin kecil produksi oksigen. Kedalaman laut maksimum untuk karang batu pembentuk terumbu karang adalah 40 meter (Nontji, 1987). Lebih dari itu cahaya terlalu lemah untuk zooxanthella yang merupakan alga mikroskopik bersel tunggal dalam menghasilkan oksigen yang cukup bagi karang batu (Wells, 1956).



Salinitas air laut

Salinitas dimana karang batu dapat hidup yaitu 27-40‰, tetapi mereka hidup paling baik pada salinitas normal air laut yakni 36‰ (Wells, 1956). Perairan pantai akan terus-menerus mengalami pemasukan air tawar secara teratur dari aliran sungai, sehingga salinitasnya berkurang yang akan mengakibatkan kematian terumbu karang, yang juga membatasi sebaran karang secara lokal.

Pada umumnya terumbu karang dapat bertahan pada salinitas yang rendah untuk rentang waktu yang pendek, tetapi jika terjadi hujan dan dikombinasikan dengan pasang surut yang rendah, akan menimbulkan efek yang merusak bahkan menghancurkan keseluruhan terumbu karang (Nybakken, 1988; Veron, 1986; Soekarno dkk., 1983; Nontji, 1987).

Kejernihan air

Kejernihan air sangat diperlukan untuk menjamin masuknya sinar matahari ke dasar laut, yang sangat penting artinya bagi alga yang bersimbiosis dengan karang. Banyaknya partikel atau endapan di dalam air laut menyebabkan kekeruhan dan menghalangi proses fotosintesis alga dan akhirnya pertumbuhan karang terganggu (Soekarno, 1995). Menurut Ditlev (1980), pada perairan yang keruh pertumbuhan karang hanya sampai kedalaman 2 meter sedang pada perairan yang jernih dapat mencapai 80 meter.

Pergerakan air atau arus

Pergerakan air atau arus diperlukan untuk tersedianya aliran suplai makanan jasad renik dan oksigen maupun terhindarnya karang dari timbunan



endapan. Di daerah terumbu karang, pada siang hari oksigen banyak diperoleh dari hasil fotosintesa zooxanthella dan dari kandungan oksigen yang ada di dalam massa air itu sendiri, sedangkan di malam hari sangat diperlukan arus yang kuat yang dapat memberi suplai oksigen yang cukup bagi fauna di terumbu karang. Di laut terbuka suplai oksigen selalu mencukupi, tetapi di perairan yang agak tertutup pertumbuhan karang batu lebih dihalangi oleh kekurangan makanan. Karena itu pertumbuhan terumbu karang di tempat yang airnya selalu teraduk oleh angin, arus dan ombak lebih baik daripada yang tenang dan terlindung (Nybakken, 1988).

Sedimentasi

Endapan lumpur atau pasir yang terkandung dalam air yang diendapkan oleh arus dapat mengakibatkan kematian pada karang batu oleh karena pada umumnya mereka tidak mampu membersihkannya, kecuali beberapa karang batu dari Faviidae dan Fungiidae (Kuenen, 1950 dan Yonge, 1940 dalam Soekarno dkk., 1983).

Adanya sedimentasi yang tinggi, akan menyebabkan turunnya kualitas terumbu karang, sebab hal tersebut menyebabkan suspensi dan sedimentasi yang mengganggu respirasi terumbu karang (Dahuri dkk., 1996).

Substrat

Substrat keras dibutuhkan untuk perlekatan larva planula. Substrat tersebut dapat berupa fragmen bebatuan, cangkang moluska dan organisme lain,



batu gamping, puing-puing yang dihasilkan hewan pembentuk kapur, algae berkapur dan karang yang sudah mati (Barnes dan Huges, 1988).

Kondisi Terumbu Karang

Menurut Clark (1992), terumbu karang daerah tropis telah mengalami degradasi atau penurunan kualitas maupun kuantitas. Dari 109 genera dengan komunitas karang yang berbeda, 93 di antaranya mengalami degradasi yang hebat dan lebih dari 50 genera terumbu karangnya tertutupi oleh partikel pasir atau lumpur.

Nasib yang sama juga terjadi pada ekosistem terumbu karang kita. Berdasarkan Tomascik dkk. (1997), luas terumbu karang Indonesia lebih kurang 85.707 km² yang tersebar luas di perairan Indonesia. Kondisi terumbu karang di Indonesia telah banyak yang rusak. Menurut Ministry of State for Environment (1996), dari luas terumbu karang sekitar 50.000 km² diperkirakan hanya tinggal 7% kondisinya masih sangat baik, 33% baik, dan 46% rusak serta 15% rusak berat. Dari kondisi terumbu karang tersebut, ternyata terumbu karang di kawasan barat Indonesia memiliki kondisi yang lebih buruk dibandingkan dengan terumbu karang di kawasan tengah dan timur Indonesia. (Supriharyono, 2000).

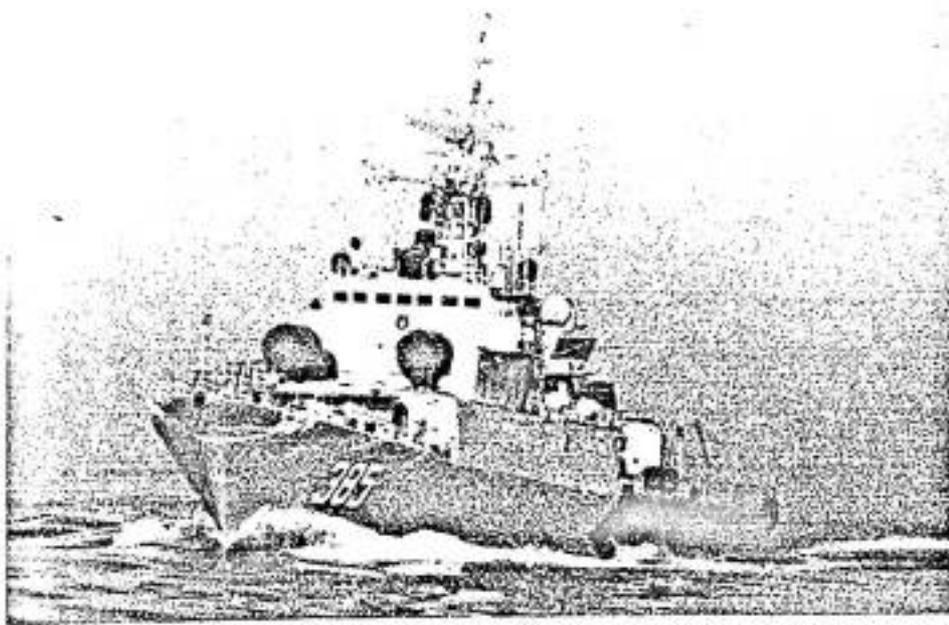
Menurut Moosa dan Suharsono (1995) kegiatan-kegiatan yang merusak terumbu karang adalah pengembangan wilayah pesisir, penambangan karang batu, penangkapan lebih (*over exploitation*), penangkapan merusak, dan pemanfaatan rekreasi intensif.



Penyebab utama kerusakan terumbu karang adalah penambangan terumbu karang yang dapat menyebabkan peningkatan erosi pantai dan berbagai kerusakan pantai lainnya. Hal ini disebabkan hilangnya fungsi terumbu karang sebagai penahan gelombang. Penyebab utama lainnya adalah pengelolaan pantai dan daerah hulu yang kurang baik sehingga tingginya tingkat sedimentasi yang masuk ke perairan cukup tinggi sehingga menutupi terumbu karang (Dahuri dkk., 1996).



*Sasaran Dikunci, Tembak
dan
Lupakan.....*





METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari-Mei 2003, yang mencakup studi literatur, survei, pengolahan data citra, pengambilan data lapangan, analisis data serta penyusunan laporan akhir.

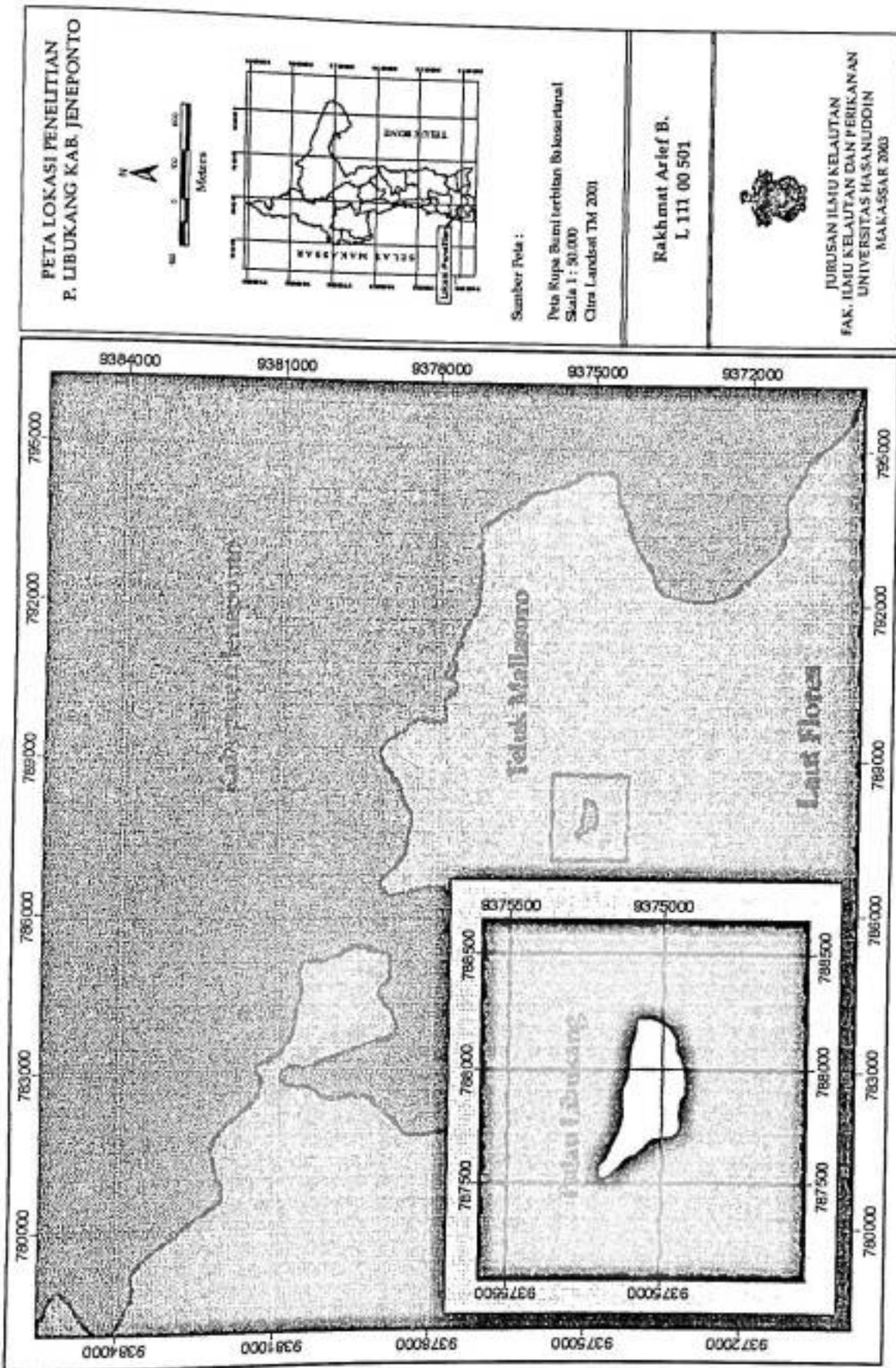
Proses pengolahan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Kelautan (Inderaja dan SIK) Jurusan Ilmu Kelautan FIKP Universitas Hasanuddin. Sedangkan data lapangan dengan obyek penelitian dilakukan di perairan sekitar Pulau Libukang Kabupaten Jeneponto (Gambar 4).

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Peralatan Laboratorium

- ❖ Personal Komputer Intel Pentium III 450 MHz
- ❖ Printer Bubble Jet Canon 3000
- ❖ Software pengolah citra Er-Mapper versi 5.5
- ❖ Software pengolah citra ArcView GIS 3.2
- ❖ Software pengolah data sheet MS Excel versi 98
- ❖ Software MS Word versi 98
- ❖ Disket HD



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian

Peralatan Lapangan

- ❖ Perahu / Wahana Terapung
- ❖ SCUBA set
- ❖ Roll meter
- ❖ Kompas
- ❖ Alat tulis
- ❖ Kamera bawah air
- ❖ Global Positioning System (GPS)
- ❖ Layang-layang arus
- ❖ Secchi disk
- ❖ Handrefractometer
- ❖ Termometer

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Data Primer

Data satelit yang digunakan berasal dari hasil rekaman satelit Landsat-ETM+ pada tanggal 4 Mei 2001. Data diperoleh dari Bank Data Pusat Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Jakarta. Adapun spesifikasi citra dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi citra Landsat-ETM+ yang digunakan di lokasi penelitian.

| No. | Keterangan | Ukuran |
|-----|------------------------|---------------------------|
| 1. | Panjang Gelombang TM 1 | 0,45 – 0,52 μm |
| 2. | Panjang Gelombang TM 2 | 0,52 – 0,60 μm |
| 3. | Resolusi Spasial | 30 x 30 m^2 |
| 4. | Jumlah Pixel | 400 x 512 |
| 5. | Tanggal Akuisisi | 4 Mei 2001 |
| 6. | Path/Row | 114 / 064 |

Data Sekunder

- ❖ Peta Lingkungan Pantai Indonesia skala 1: 50.000, lembar 2010-3 terbitan BAKOSURTANAL 1993.
- ❖ Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1: 50.000, lembar 2010-33 terbitan BAKOSURTANAL 1993.
- ❖ Peta Laut No Peta 138 dan 144 terbitan DISHIDROS TNI – AL 2000.
- ❖ Tabel Pasang Surut terbitan DISHIDROS TNI – AL 2003.

Prosedur Penelitian

1. Tahap Persiapan

Tahap ini meliputi studi literatur, penyiapan data citra, penyiapan peta LPI dan peta rupa bumi daerah penelitian, penyiapan alat-alat yang akan digunakan selama kegiatan penelitian, orientasi lapangan, konsultasi dengan dosen, dan pengumpulan data sekunder. Mekanisme penelitian secara detail lihat gambar 5.

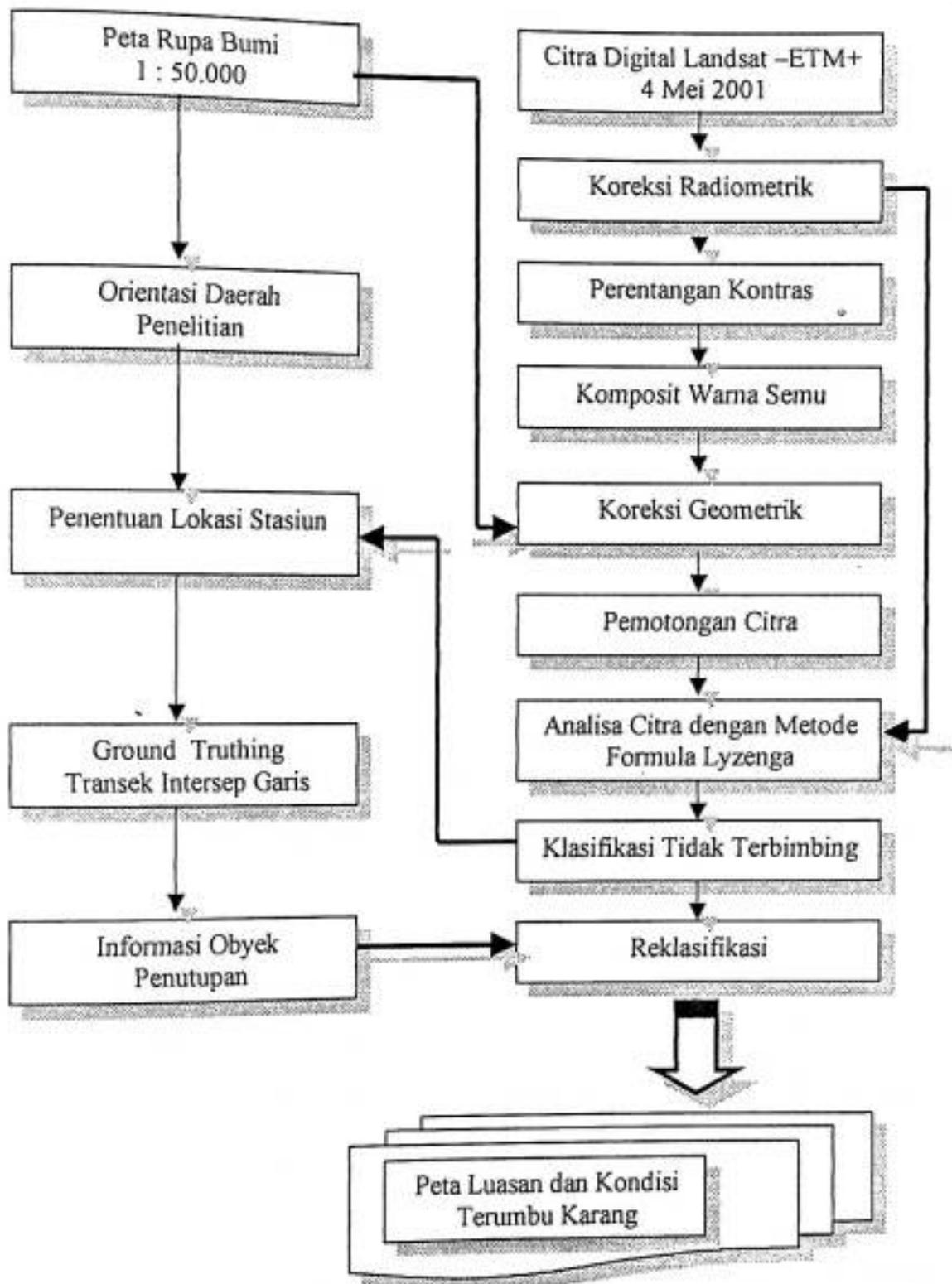
2. Tahap Pengolahan Citra

a. Konversi data citra

Mengkonversi data citra Landsat-ETM+ yang masih dalam format citra *geoTIFF* kedalam format file .ers untuk software Er-Mapper.

b. Koreksi radiometrik citra

Koreksi radiometrik diperlukan untuk memperbaiki kualitas citra, yaitu untuk menghilangkan atau mengurangi gangguan yang ditimbulkan oleh kesalahan sistem optik pada sensor, gangguan atmosfer dan pengaruh sudut elevasi.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian.



matahari. Metode yang digunakan adalah dengan me-nol-kan nilai terendah dari rentang histogram.

c. Perentangan kontras

Proses perentangan kontras dilakukan untuk mendapatkan kesan kontras dari obyek yang nampak pada citra sehingga dapat lebih mudah untuk diinterpretasi. Proses ini dilakukan dengan merentangkan seluruh nilai piksel, dimana nilai maksimum awal direntangkan ke nilai maksimum baru yang lebih tinggi yaitu nilai 255 dengan tetap mempertahankan nilai 0 (nol) pada batas minimum histogram.

d. Pembentukan komposit citra warna semu

Komposit citra warna semu merupakan kombinasi citra dari beberapa saluran yang berbeda. Ini dilakukan untuk memperoleh kenampakan citra yang jauh lebih baik dalam pengenalan obyek dan pemilihan daerah sampel. Komposit citra warna semu dilakukan dengan memberi warna dasar merah, hijau, dan biru (RGB) untuk tiga saluran yang dipilih. Pemberian warna dasar tersebut dilakukan sebab mata manusia secara visual tidak dapat membedakan nilai keabuan secara optimal dan mata manusia hanya mampu membedakan obyek pada ketiga spektrum gelombang elektromagnetik atau perpaduan ketiga warna dasar tersebut.

Dalam penelitian ini, citra komposit RGB (*Red Green Blue*) dikombinasikan dengan memilih berbagai kanal yang sesuai dengan karakteristik yang diperlukan, maka dipilih komposit 321 RGB (*True Colour*)

dan komposit 542 RGB (*natural colour*) dalam pengenalan obyek dan pemilihan daerah sampel.

e. Koreksi geometrik (*rektifikasi*)

Koreksi geometrik merupakan suatu proses rektifikasi (*rectification*) dimana geometri suatu citra area dibuat secara planimetrik. Rektifikasi dilakukan untuk mengoreksi distorsi geometrik (tata letak atau posisi citra) terhadap peta referensi yang telah diketahui koordinat lintang dan bujurnya. Hal ini dilakukan karena sensor satelit merekam suatu obyek pada permukaan bumi yang berbentuk bulat (*sferik*), sedangkan citra satelit merupakan hasil perekaman dalam bentuk datar (*planar*).

Koreksi geometrik ini bertujuan untuk menempatkan kembali posisi tiap-tiap piksel pada citra agar sesuai dengan posisi yang sebenarnya di lapangan. Metode dilakukan dengan analisis titik kontrol tanah (*Ground Control Point - GCP*). Pada proses koreksi ini, diletakkan beberapa titik ikat medan (GCP) pada koordinat citra (lajur, baris) yang dikaitkan dengan koordinat (lintang dan bujur) pada peta topografi. Sebagai bahan rujukan digunakan peta rupa bumi (PRBI) lembar 2010-33 skala 1 : 50.000 terbitan Bakosurtanal 1993. Sebagai catatan bahwa data citra landsat-ETM+ yang digunakan sudah dalam keadaan terkoreksi geometrik.



f. Pemotongan citra (*cropping*)

Pemotongan citra dilakukan untuk memfokuskan penelitian pada daerah kajian yakni Pulau Libukang, karena dalam satu *scene* data Landsat TM yang memiliki empat kuadran, mencakup area yang sangat luas.

g. Analisa citra dengan metode algoritma Lyzenga

Pengolahan ini dimaksudkan untuk mendapatkan informasi obyek di bawah permukaan air, karena informasi yang didapat dari citra awal masih tercampur dengan informasi lain seperti kedalaman air, kekeruhan, pergerakan permukaan air. Pembentukan band/kanal baru dengan metode algoritma dilakukan dengan menggabungkan dua kanal sinar tampak satelit Landsat TM, yakni kanal 1 dengan panjang gelombang 0,45–0,52 μm dan kanal 2 dengan panjang gelombang 0,52–0,60 μm . Dua kanal tersebut digunakan sebagai data pada algoritma dari persamaan yang disebut dengan "*Standard Exponential Attenuation Model*" oleh Lyzenga. Pengolahan ini meliputi penghilangan efek air dan ekstraksi informasi obyek dasar laut (Siregar, 1995).

Adapun persamaan Lyzenga adalah sebagai berikut :

$$L_i = L_{i\sim} + (0,54 L_{ib} - L_i)^{\exp-2kiz} \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- L_i = Reflektansi pada panjang gelombang i
- $L_{i\sim}$ = Reflektansi yang diukur pada laut dalam
- L_{ib} = Reflektansi dasar perairan pada panjang gelombang i
- z = Kedalaman perairan (m)
- k_i = Koefisien attenuasi air pada panjang gelombang i

Secara teoritis jika dasar perairan dapat terlihat, maka dapat dibentuk suatu hubungan antara kedalaman perairan dengan sinyal pantul yang diterima oleh sensor. Namun kenyataannya, banyak parameter yang turut mempengaruhi hubungan tersebut, antara lain : kekeruhan air, kandungan klorofil, muatan padat tersuspensi, pantulan dasar perairan dan difusi atmosfer. Dari model tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa energi (sinyal) yang dipantulkan oleh suatu dasar perairan adalah merupakan fungsi dari pantulan dasar perairan dan fungsi eksponensial dari kedalaman.

Persamaan di atas kemudian diturunkan dengan menggunakan dua kanal sinar tampak pada panjang gelombang yang ada di Landsat-ETM+ sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$Y = \ln(TM1) + \frac{k_i}{k_j} \cdot \ln(TM2) \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

Y = Kanal baru

$TM1$ = Kanal 1

$TM2$ = Kanal 2

$\frac{k_i}{k_j}$ = Koefisien attenuasi

Selanjutnya agar persamaan tersebut dapat digunakan, maka terlebih dahulu harus diketahui nilai koefisien k_i dan k_j . Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan nilai k_i dan k_j yaitu :

1. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan secara *in situ* dengan menggunakan *spectro-radiometer*.



2. Berdasarkan iterasi dengan citra pada layar komputer (Engel, 1988 dalam Siregar, 1995).

Pada penelitian ini digunakan pendekatan kedua, yaitu dengan cara sebagai berikut :

1. Pada citra dilakukan training area dari area yang homogen pada daerah perairan dangkal (terumbu karang), di mana kedua kanal X_i dan X_j sangat berkorelasi.
2. Dengan membentuk grafik bidimensional X_i fungsi dari X_j yang dapat dihitung rasio antara kedua koefisien yang dicari (k_i dan k_j) berdasarkan regresi rata-rata kuadrat dari nilai rata-rata kuadrat nilai-nilai pengukuran kedua kanal tersebut.

Kelemahan dari cara ini adalah hasilnya sangat bergantung pada variabel yang digunakan sebagai acuan, karena proyeksinya terhadap garis regresi dilakukan ke arah variabel tersebut. Oleh karena itu, untuk mengurangi bias, garis regresi dihitung dengan meminimalkan jarak tegak lurus dari variabel yang digunakan terhadap garis regresi tersebut (Siregar, 1995), sehingga slope dari garis regresi tersebut adalah:

$$\frac{k_i}{k_j} = a + \sqrt{a^2 + 1} \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

$$a = \frac{(\text{var } X_i - \text{var } X_j)}{2 \text{ cov } X_i X_j}$$

Algoritma yang dihasilkan agar dapat digunakan pada lokasi penelitian, terlebih dahulu dihitung nilai koefisien atenuasi air dari kedua kanal yang



digunakan yaitu TM1 dan TM2. Untuk itu harus dipilih lokasi *training area* di daerah terumbu karang.

h. Klasifikasi citra tidak terbimbing (*unsupervised classification*)

Klasifikasi pada dasarnya adalah untuk menggabungkan interpretasi visual dari manusia dengan interpretasi digital oleh komputer, sehingga memberikan informasi yang berguna dan menentukan kelas yang dapat dipisahkan secara spectral (Lillesand dan Kiefer, 1990). Klasifikasi citra ini menggunakan citra hasil dari penerapan formula Lyzenga yang kemudian dibagi ke dalam beberapa kelas tertentu yang merepresentasikan suatu kelompok obyek yang sama.

3. Tahap pengecekan lapangan (*ground truthing*)

- a. Pengecekan lapangan berfungsi untuk mencocokkan hasil klasifikasi tidak terbimbing dengan kondisi yang sebenarnya di lapangan terutama untuk obyek-obyek meragukan kenampakannya yang tersebar sesuai dengan stasiun dari masing-masing kelas.
- b. Kondisi terumbu diamati dengan metode transek intersep garis (*line intercept transect*) (English dkk., 1994). Transek garis dilakukan untuk menilai komunitas terumbu karang dengan menggunakan kategori substrat.
- c. Pencatatan kategori substrat pada setiap sampling dibatasi hanya 10 jenis substrat dasar seperti yang telah dilakukan oleh WWF-Indonesia Programme (1997) dalam Nurjannah (1997) (Tabel 5), cara ini merupakan



penyederhanaan penggolongan kategori substrat yang telah umum digunakan dalam mengidentifikasi komunitas terumbu karang.

Tabel 5. Kategori substrat pada titik sampling untuk transek garis.

| Karang Keras (<i>Hard Coral</i>) | Karang Lunak (<i>Soft koral</i>) | Karang Mati (<i>Dead Coral</i>) | Rumput Laut (<i>Fleshy Seaweed</i>) | Sponge (<i>Sponge</i>) | Batu (<i>Rock</i>) | Pecahan Karang (<i>Rubble</i>) | Pasir (<i>sand</i>) | Lumpur (<i>Silt</i>) | Lain-lain (<i>Others</i>) |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| HC | SC | DC | FS | SP | RC | RB | SD | ST | OT |

Adapun langkah kerja dari kegiatan lapangan ini adalah sebagai berikut :

- Pengamatan kondisi terumbu dilakukan dengan membuat transek intersep garis sepanjang 30 m, hal ini disesuaikan dengan kemampuan sensor dalam mengklasifikasikan obyek yang dominan dalam tiap pixel (30 m x 30 m).
- Penempatan transek sejajar dengan garis pantai.
- Penentuan kategori substrat pada titik sampling dilakukan setiap 1 meter yang dimulai pada titik 0,0 meter ke titik 0,5 meter dan seterusnya sampai pada titik 30 meter.
- Mengidentifikasi kondisi karang dalam transek.
- Posisi awal dan akhir transek dicatat dengan menggunakan Global Positioning System (GPS).

4. Tahap pengolahan dan analisa data

a. Reklasifikasi (perbaikan ulang hasil klasifikasi)

Reklasifikasi dilakukan dengan menghilangkan/mengurangi dan atau menambahkan apabila terdapat kekeliruan dalam proses interpretasi awal.

Reklasifikasi biasanya merujuk pada hasil kegiatan lapangan.

b. Data kategori substrat pada setiap titik sampling yang diperoleh dari transek garis dianalisa dengan menghitung jumlah kemunculan kategori substrat setiap 30 meter agar dapat diketahui penutupan karangnya dalam persen (*percent cover*), melalui persamaan (Mc Manus dkk., 1997) :

$$\text{Persen penutupan} = \frac{\text{Jumlah kemunculan setiap kategori}}{\text{Kemunculan seluruhnya (60)}} \times 100 \%$$

Sedangkan penilaian kondisi terumbu karang atau kualitas kehidupan karang didasarkan atas empat kategori seperti yang disarankan oleh University of the Philippines, Marine Science Institute (1979) dalam Brown (1986), seperti yang tertera dalam Tabel 6 :

Tabel 6. Penilaian kondisi terumbu karang berdasarkan nilai persentase penutupan karang hidup (UPMSC, 1979 dalam Brown, 1986).

| No. | Kondisi atau Kualitas Karang | Persentase Penutupan Karang Hidup |
|-----|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. | Bagus Sekali | 75,0 – 100,0 |
| 2. | Bagus | 50,0 – 74,9 |
| 3. | Sedang | 25,0 – 49,9 |
| 4. | Jelek | 0,0 – 24,9 |

5. Pengumpulan Data Sekunder

Berdasarkan syarat tumbuhnya karang maka variabel yang mempengaruhi pertumbuhannya juga diukur pada saat pengambilan data lapangan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran pada beberapa parameter oseanografi yakni : suhu, salinitas, kecepatan dan arah arus, kecerahan, kedalaman, serta posisi pengamatan.

Data sekunder lainnya adalah berbagai informasi dan data pendukung yang diperoleh dari hasil wawancara dengan penduduk setempat tentang kondisi oseanografis serta segala aktifitas yang ada di perairan Pulau Libukang.

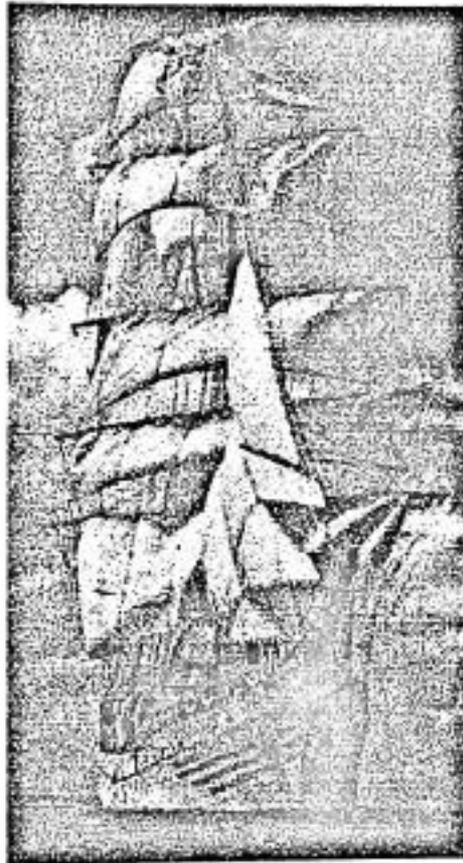
6. Hasil Akhir

Tahap akhir ini hasil analisis data/citra yang telah dilakukan, selanjutnya disusun secara deskriptif menjadi sebuah laporan akhir penelitian.



JALESVEVA JAYA MAHE

Justru di Laut Kita Jaya



*"Doctrine influences strategy and results of strategy
become the experiences that are the basis for doctrine."*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Pulau Libukang mempunyai daerah dengan keliling pulau $\pm 1759,106$ m, terletak di Teluk Mallasoro yang dikelilingi dataran tinggi dan bukit-bukit yang membentang dari barat ke timur dengan ketinggian yang bervariasi. Secara administratif pulau ini berada dalam wilayah Kecamatan Bangkala Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan.

Secara geografis, berdasarkan peta rupa bumi lembar 2010 – 33 skala 1 : 50.000 terbitan BAKOSURTANAL edisi I tahun 1993, lokasi penelitian terletak antara $119^{\circ} 35' 43.3''$ BT– $5^{\circ} 38' 46.2''$ S sampai $119^{\circ} 36' 7.1''$ BT– $5^{\circ} 38' 59.5''$ S, sedangkan secara oseanografi dipengaruhi langsung oleh Selat Makassar dari arah barat dan Laut Flores dari arah selatan serta dipengaruhi oleh muara-muara sungai dari daratan utama yaitu muara Sungai Binanga Maero, Sungai Binanga Tamanroya dan Sungai Binanga Borongkeloro serta sungai-sungai kecil di sepanjang Pantai Birtaria. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap pola penyebaran ekosistem terumbu karang.

Secara topografi, bentuk Pulau Libukang melintang dari arah barat ke timur. Sebagian besar sisi Pulau Libukang dikelilingi oleh pasir serta sebagian merupakan daerah perkebunan jagung dan mangga, serta terdapat areal budidaya rumput laut pada bagian perairannya. Pulau Libukang dihuni oleh 20 kepala keluarga dengan jumlah penduduk sekitar 60 orang. Sebagian besar penduduknya adalah nelayan dan pedagang rumput laut.

Karakteristik terumbu karang pada Pulau Libukang memiliki rata-rata terumbu karang yang cukup luas pada sisi selatan dengan *reef flat* selebar 100 – 300 meter, sedang pada sisi utara lebih sempit dibanding sisi selatan, serta sangat terbatas pada sisi barat dan timur, dengan distribusi pertumbuhan maksimalnya pada kedalaman 1–8 meter.

Sumber daya alam yang potensial untuk dikembangkan disamping terumbu karang antara lain budidaya rumput laut, perkebunan, budidaya perikanan tangkap serta memiliki kandungan air tanah (air tawar) yang cukup bagi keperluan sehari-hari, terlihat pada keberadaan sumur penduduk. Hal ini merupakan salah satu potensi yang mendukung dalam pengelolaan dan pengembangan kawasan ini.

Analisis Terumbu Karang Berdasarkan Interpretasi Citra Landsat-ETM+

Analisis digital mencakup analisis dan interpretasi citra digital seperti yang diperlihatkan oleh diagram alir penelitian pada Gambar 5.

Pada saat *ground truthing* dalam upaya pencocokan data sebenarnya di lapangan dengan data hasil klasifikasi dilakukan pula pengambilan data parameter-parameter pendukung yang lain, seperti kondisi secara visual terumbu karang, salinitas, suhu, kecerahan, arah dan kecepatan arus serta kedalaman perairan. Proses pengumpulan data kondisi tutupan karang dilakukan dengan menggunakan metode transek garis (*LIT*). Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1-14.



a. Konversi data citra

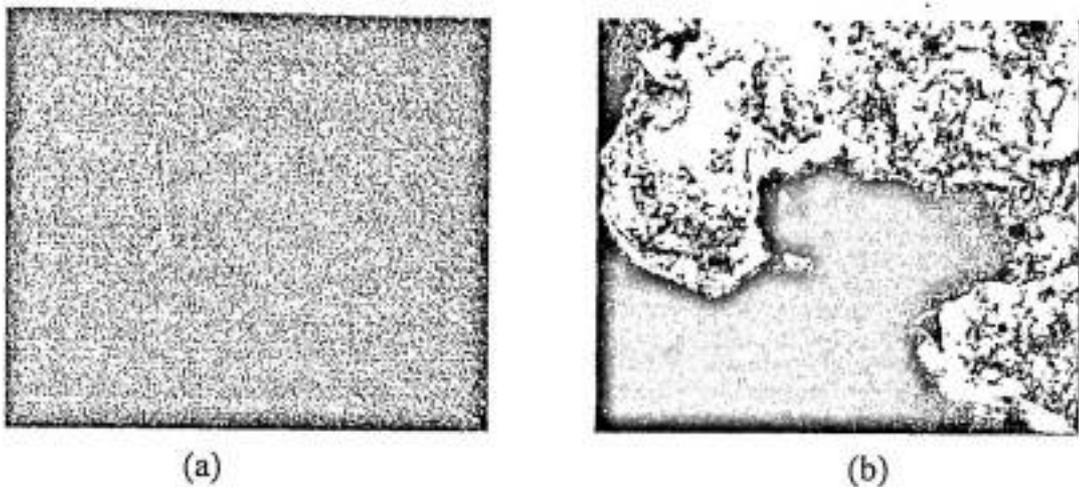
Data citra yang digunakan merupakan hasil perekaman satelit Landsat-ETM+ akuisisi 4 Mei 2001 yang disimpan dalam media CD-ROM dengan jumlah piksel per baris sebanyak 3500 dan jumlah barisnya sebanyak 3000. Citra tersebut yang disimpan dalam media CD-ROM tersebut masih dalam format *Geo.TIFF*, sehingga software Er-mapper masih perlu mengimpor data citra tersebut ke format yang dapat dibaca yaitu format *.Ers*.

b. Koreksi radiometrik citra

Koreksi radiometrik diperlukan atas dasar dua alasan, yaitu untuk memperbaiki kualitas visual citra dan sekaligus memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral obyek yang sebenarnya. Koreksi radiometrik yang ditujukan untuk memperbaiki nilai piksel supaya sesuai dengan yang seharusnya biasanya mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama. Pada koreksi ini, diasumsikan bahwa nilai piksel keabuan (*grey value*) terendah adalah nol, sesuai dengan *bit coding* sensor. Apabila nilai terendah pada kerangka liputan tersebut bukan nol, maka nilai penambah (*offset*) tersebut dipandang sebagai hasil dari hamburan atmosfer.

Kedua citra di bawah (Gambar 6) menunjukkan perbedaan pada kenampakannya, dimana pada citra sebelah kiri sebelum dikoreksi geometrik nampak lebih cerah, tersebar merata dan tidak kontras dibanding kenampakan citra sesudah dikoreksi. Hal ini disebabkan karena citra sebelum terkoreksi, debu-debu atmosfer

(*aerosol*) turut serta memantulkan kembali sinyal gelombang elektromagnetik, sehingga mengakibatkan obyek yang di bawahnya yaitu perairan nampak lebih cerah dari kenampakan yang sebenarnya.



Gambar 6. Citra band 1 sebelum (a) dan sesudah (b) koreksi radiometrik.

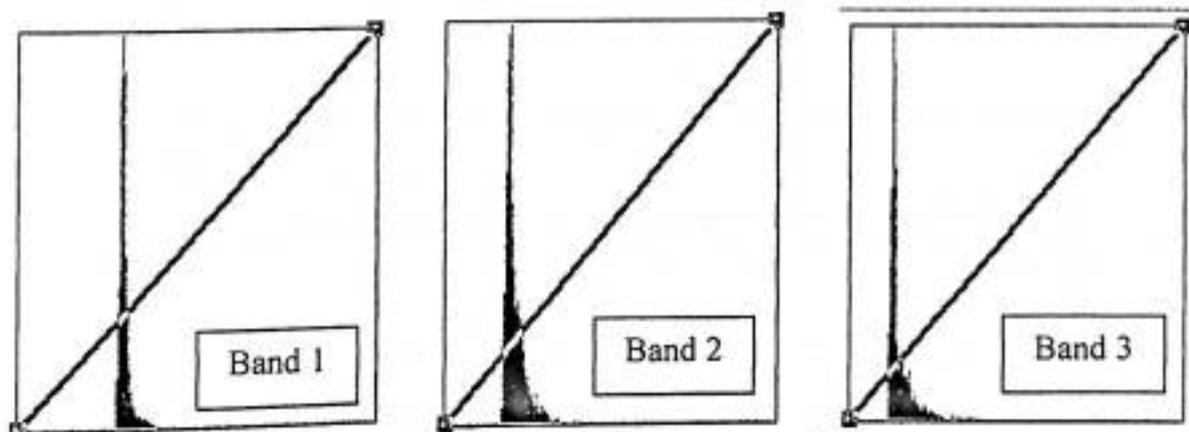
Pada penelitian ini digunakan metode penyesuaian histogram, dimana setiap saluran dilihat secara independen. Dari histogram tersebut, maka dapat diketahui nilai-nilai piksel terendah dari tiap saluran tersebut (Tabel 7, Lampiran 15).

Tabel 7. Nilai keabuan (*grey value*) masing-masing band untuk citra sesudah koreksi radiometrik.

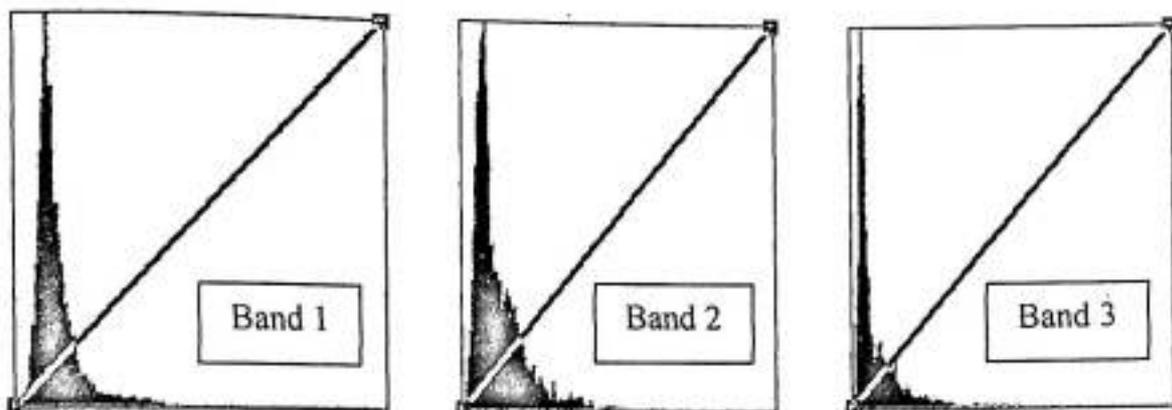
| No. | Band | Nilai | Besar Offset |
|-----|------|--------|--------------|
| 1. | 1 | 67-142 | 67 |
| 2. | 2 | 43-137 | 43 |
| 3. | 3 | 29-158 | 29 |

Asumsi yang melandasi metode ini adalah bahwa dalam proses koding digital oleh sensor, obyek yang memberikan respon spektral paling lemah atau tidak memberikan respon sama sekali seharusnya bernilai nol. Apabila nilai ini ternyata lebih besar dari nol, maka nilai tersebut dihitung sebagai *offset*, dan koreksi dilakukan dengan jalan mengurangi nilai tersebut sebanyak nilai *offset*nya.

Pada gambar histogram di bawah (Gambar 7) nampak bahwa pada band 3, 2, dan 1 nilai minimum histogram *offset* masing-masing sebanyak 67, 43, dan 29. Nilai tersebut menunjukkan besarnya pengaruh gangguan oleh atmosfer yang berdampak pada visual citra, dimana nilai obyek terendah yang seharusnya nol akan tetapi pada citra akan ditampilkan dengan nilai kecerahan lebih dari nol. Kemudian setelah dilakukan koreksi radiometrik (Gambar 8) nampak nilai minimum masing-masing ketiga band telah nol, akan tetapi nilai maksimumnya juga berkurang sebanyak nilai *offset*nya. Pada tahap ini proses koreksi radiometrik telah selesai dan selanjutnya dilakukan proses perentangan.



Gambar 7. Histogram citra band 1, 2, dan 3 sebelum koreksi radiometrik.



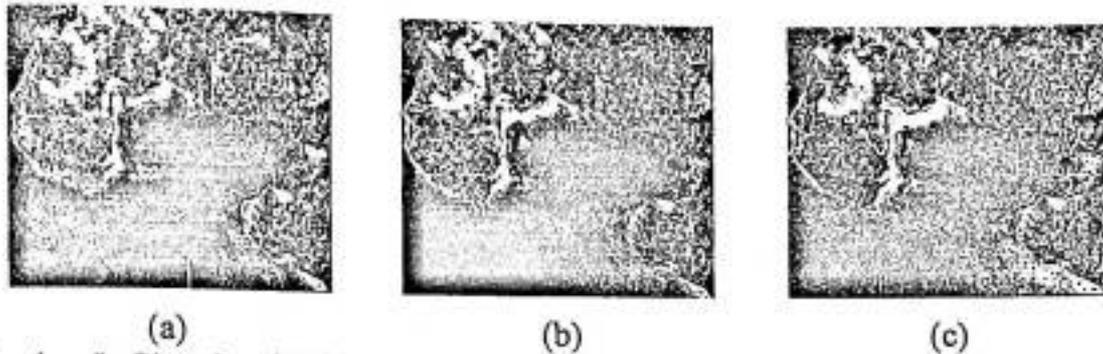
Gambar 8. Histogram citra band 1, 2, dan 3 sesudah koreksi radiometrik.

c. Perentangan kontras

Penajaman kontras dilakukan untuk memperoleh kesan kontras citra yang lebih tinggi. Hal ini dilakukan dengan mentransformasi seluruh nilai kecerahan. Hasilnya berupa citra dengan nilai maksimum baru yang lebih tinggi dari nilai maksimum awal, dan nilai minimum baru yang pada umumnya lebih rendah dari minimum awal (nilai tersebut didapatkan dari koreksi radiometrik) (Tabel 8). Secara visual (Gambar 9), hasil ini berupa citra baru yang variasi hitam putihnya lebih menonjol, sehingga tampak lebih tajam dan memudahkan proses interpretasi.

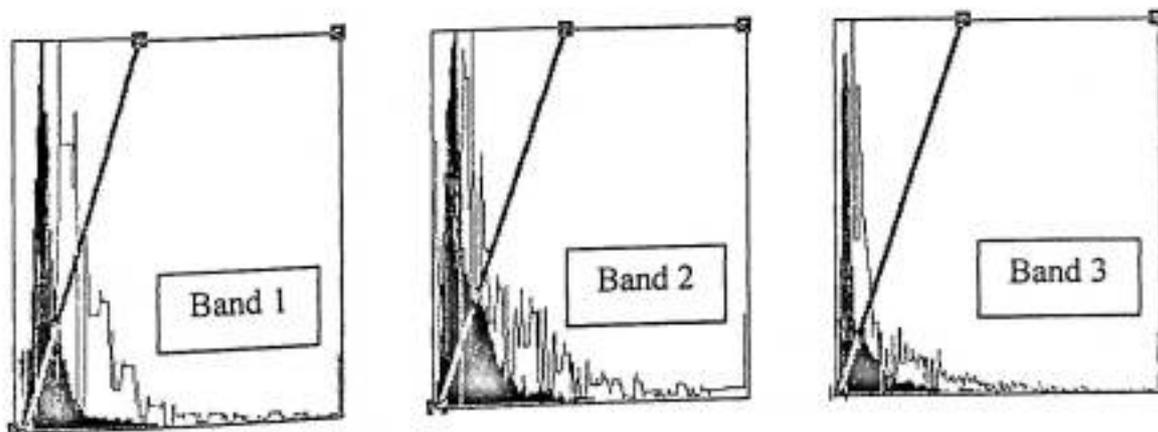
Tabel 8. Nilai masing-masing band sesudah proses penajaman dengan metode perentangan (*enhancement*).

| No. | Band | Nilai maksimum awal | Nilai maksimum akhir |
|-----|------|---------------------|----------------------|
| 1. | 1 | 75 | 255 |
| 2. | 2 | 94 | 255 |
| 3. | 3 | 129 | 255 |



Gambar 9. Citra band 1 (a), 2 (b), 3 (c) setelah dilakukan proses penajaman dengan metode perentangan (*enhancement*).

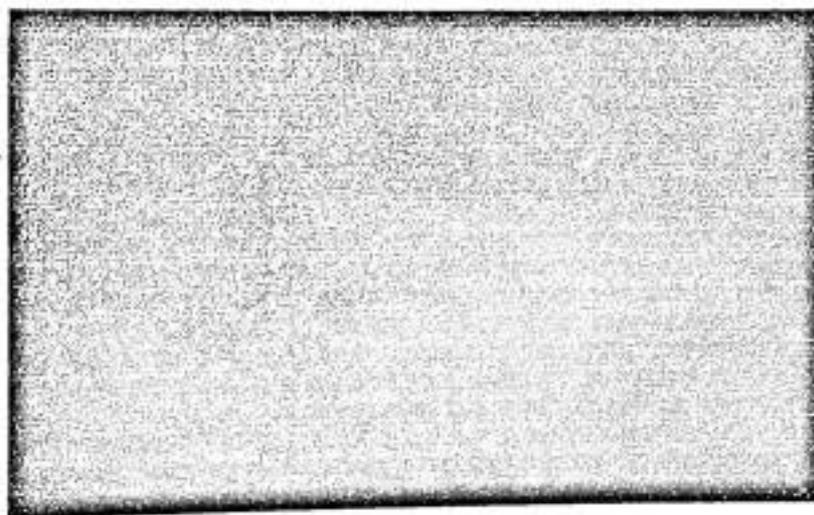
Dalam penelitian ini digunakan metode perentangan kontras (*contrast enhancement*), dimana dalam metode ini, kontras citra dilakukan dengan merentang nilai kecerahan pikselnya. Citra sesudah terkoreksi radiometrik, yang memiliki nilai minimum nol dan nilai maksimum yang juga berkurang sebanyak nilai *offset*nya perlu direntang agar kualitas citranya menjadi lebih baik. Proses perentangan ini dilakukan dengan cara merentang nilai maksimum sebelumnya sampai dengan nilai 255 dengan tetap mempertahankan nilai minimum nol. Hasil perentangan ini adalah citra baru, yang bila digambarkan histogramnya berupa kurva yang lebih lebar (Gambar 10).



Gambar 10. Histogram citra band 1, 2, dan 3 sesudah proses penajaman dengan metode perentangan (*enhancement*).

d. Pembentukan komposit citra warna semu

Dalam penelitian ini, kombinasi citra warna semu yang dibuat untuk kegiatan identifikasi terumbu karang adalah dengan menggunakan citra komposit 542 (RGB), yaitu untuk memperjelas batasan antara wilayah perairan dan daratan. Sedangkan komposit 321 (RGB) digunakan untuk lebih memberikan kejelasan visualisasi pada daerah perairan (perairan laut dangkal) (gambar 11). Komposit 321 ini pula yang digunakan dalam pembuatan daerah acuan (*training site*), yang hasilnya digunakan dalam tranformasi Lyzenga.

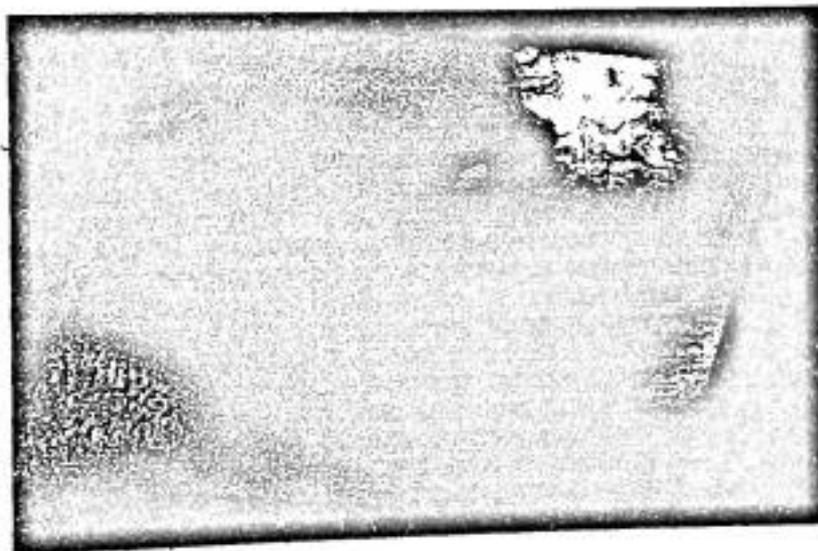


Gambar 11. Citra komposit warna semu 321 sesudah proses penajaman dengan metode perentangan (*enhancement*).

e. Koreksi geometrik (*rektifikasi*)

Koreksi geometrik bertujuan untuk menempatkan kembali posisi tiap-tiap piksel pada citra agar sesuai dengan posisi yang sebenarnya di lapangan. Sistem ini merupakan suatu rujukan yang nyata di bumi yang dinyatakan ke dalam sistem

koordinat tertentu. Untuk menyamakan koordinat citra dan kordinat pada bumi sebenarnya, maka dilakukan teknik resampling untuk mendapatkan posisi yang sebenarnya di muka bumi. Koreksi geometrik (*rektifikasi*) ini mencakup perujukan titik-titik tertentu pada citra ke titik-titik yang sama di medan maupun di peta. Pasangan titik-titik ini ini kemudian digunakan untuk membangun fungsi matematis yang menyatakan hubungan antara posisi sembarang titik pada citra dengan titik obyek yang sama pada peta maupun lapangan. Sebagai catatan data citra Landsat-ETM+ yang digunakan sudah dalam keadaan terkoreksi geometrik (Gambar 12).

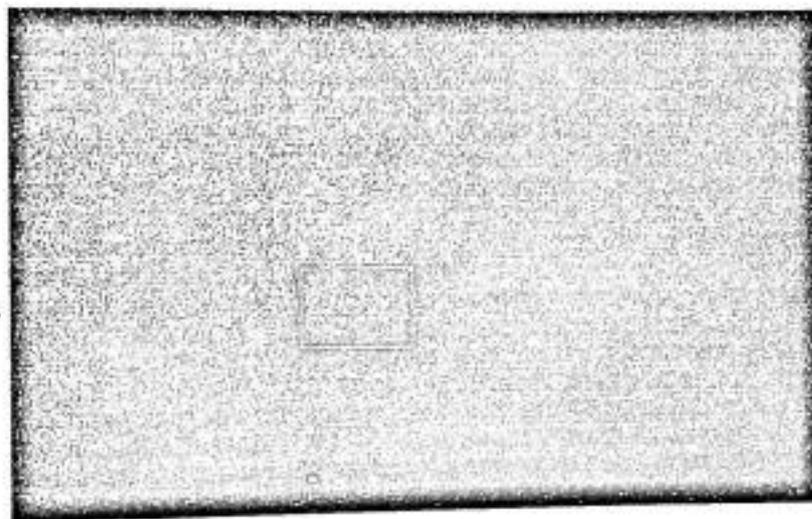


Gambar 12. Data citra yang terkoreksi geometrik (*rektifikasi*).

f. Pemotongan citra (*cropping*)

Penelitian ini dilakukan di Pulau Libukang Kecamatan Bangkala Kabupaten Jeneponto, sehingga untuk memfokuskan penelitian pada daerah kajian diperlukan pemotongan citra yang mencakup seluruh Pulau Libukang. Data citra berada pada

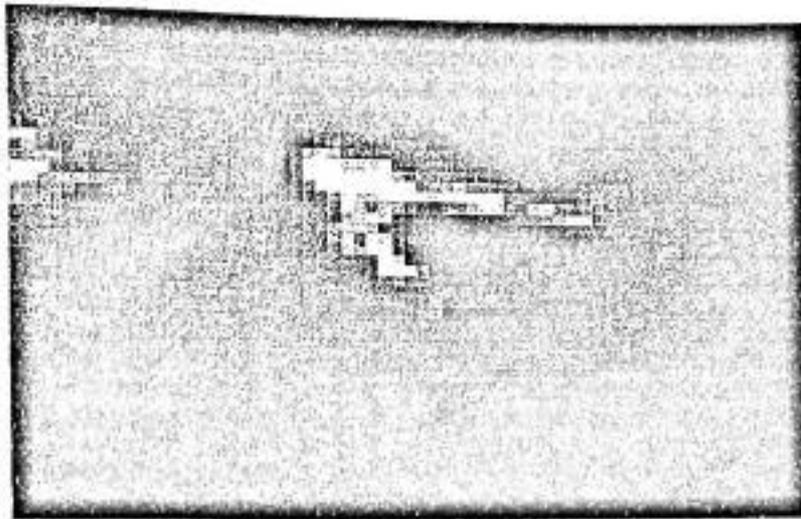
titik X minimum 670804,16 E dan X maksimum 896656,24 E, sedangkan Y minimum 9256259,22 N dan Y maksimum 9464244,22 N. Batasan koordinat pada citra tersebut masih terlalu luas, sehingga perlu dilakukan pemotongan pada titik X minimum 787065 E dan X maksimum 788770,72 E, titik Y minimum 9374259,97 N dan Y maksimum 9375675 N. Citra hasil pemotongan tersebut disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Data citra setelah melalui proses pemotongan (*cropping*).

g. Pembentukan citra dengan metode algoritma Lyzenga

Citra hasil penerapan algoritma terumbu karang Pulau Libukang akuisisi 4 Mei 2001 (Gambar 14) diperoleh dengan menggunakan algoritma berkoefisien $k_i/k_j = 1,172$ dan $a = 0,159$. Nilai-nilai ini selanjutnya digunakan dalam persamaan transformasi Lyzenga $Y = \ln(B1) + 1,172 \times \ln(B2)$. Oleh karena itu perhitungan koefisien attenuasi sangat perlu dilakukan untuk mengkalibrasi nilai piksel yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 14. Citra hasil transformasi Lyzenga Pulau Libukang.

Untuk mendapatkan koefisien attenuasi air (k_i/k_j) citra di atas, sebelumnya dilakukan *training area* sebanyak 33 region untuk warna yang *homogen* pada daerah perairan kawasan terumbu karang dapat di lihat pada Lampiran 16. Pemilihan training area tersebut dilakukan pada citra komposit 321.

Citra yang dihasilkan dari kombinasi logaritma natural dari kanal 1 dan kanal 2 satelit Landsat-ETM+ secara visual memberikan penampakan dasar perairan yang lebih jelas dibandingkan dengan kedua citra kanal tunggal (band 1/ band 2) yang ada, begitu pula jika dibandingkan dengan kedua citra (komposit) yang biasa digunakan untuk memantau areal perairan dangkal, yaitu komposit kanal 542, 431, 421, atau 321 (Hasyim, 1993).



h. Klasifikasi citra tidak terbimbing (*unsupervised classification*)

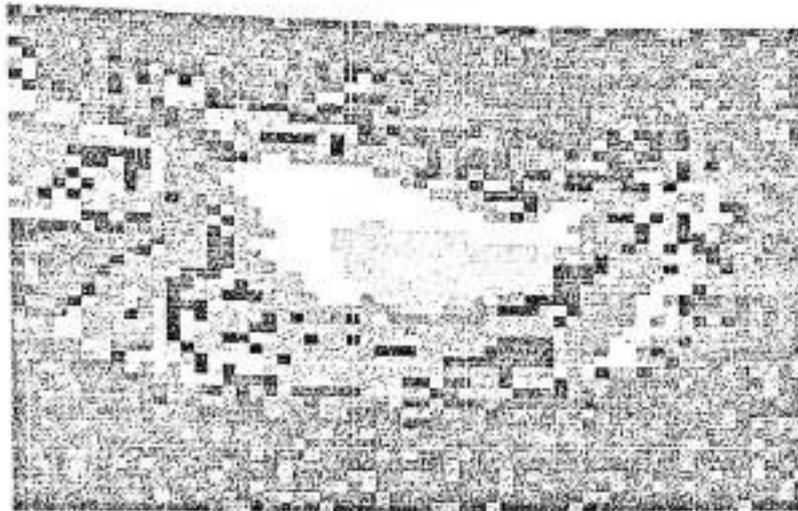
Salah satu alternatif bagi pendekatan klasifikasi data penginderaan jauh yaitu dengan cara klasifikasi tak terbimbing (*unsupervised classification*). Klasifikasi tak terbimbing menggunakan algoritma untuk mengkaji atau menganalisis sejumlah besar pixel yang tidak dikenal dan membaginya dalam sejumlah kelas berdasarkan pengelompokan nilai digital citra.

Prosedur klasifikasi citra secara digital bertujuan untuk melakukan kategorisasi secara otomatis dari semua pixel citra ke dalam kelas penutup lahan atau suatu tema tertentu. Perbedaan tipe kenampakan menunjukkan perbedaan kombinasi dasar nilai digital pixel pada sifat pantulan (*reflektansi*) dan pancaran (*emisi*) spektral yang dimilikinya (Purwadhi, 2001).

Adapun keuntungan pendekatan klasifikasi data penginderaan jauh dengan cara klasifikasi tak terbimbing (*unsupervised classification*), diantaranya:

- Tidak perlu pengetahuan detail tentang wilayah yang diteliti.
- Kesalahan manusia (subjektivitas) diperkecil.
- Kelas yang dihasilkan lebih uniform/seragam.
- Setiap kelas yang diinformasikan merupakan unit yang khas dan bebas.

Hasil klasifikasi citra sebaran terumbu karang di kawasan perairan Pulau Libukang untuk citra tahun 2001, terklasifikasi menjadi 16 kelas dapat di lihat pada Gambar 15. Masing-masing kelas mewakili karakteristik obyek perairan. Dengan memberikan warna yang berbeda untuk masing-masing kelas akan diperoleh suatu peta tematik dari Pulau Libukang tersebut.



Gambar 15. Citra hasil klasifikasi transformasi Lyzenga Pulau Libukang.

Pengecekan Lapangan (Ground Truthing)

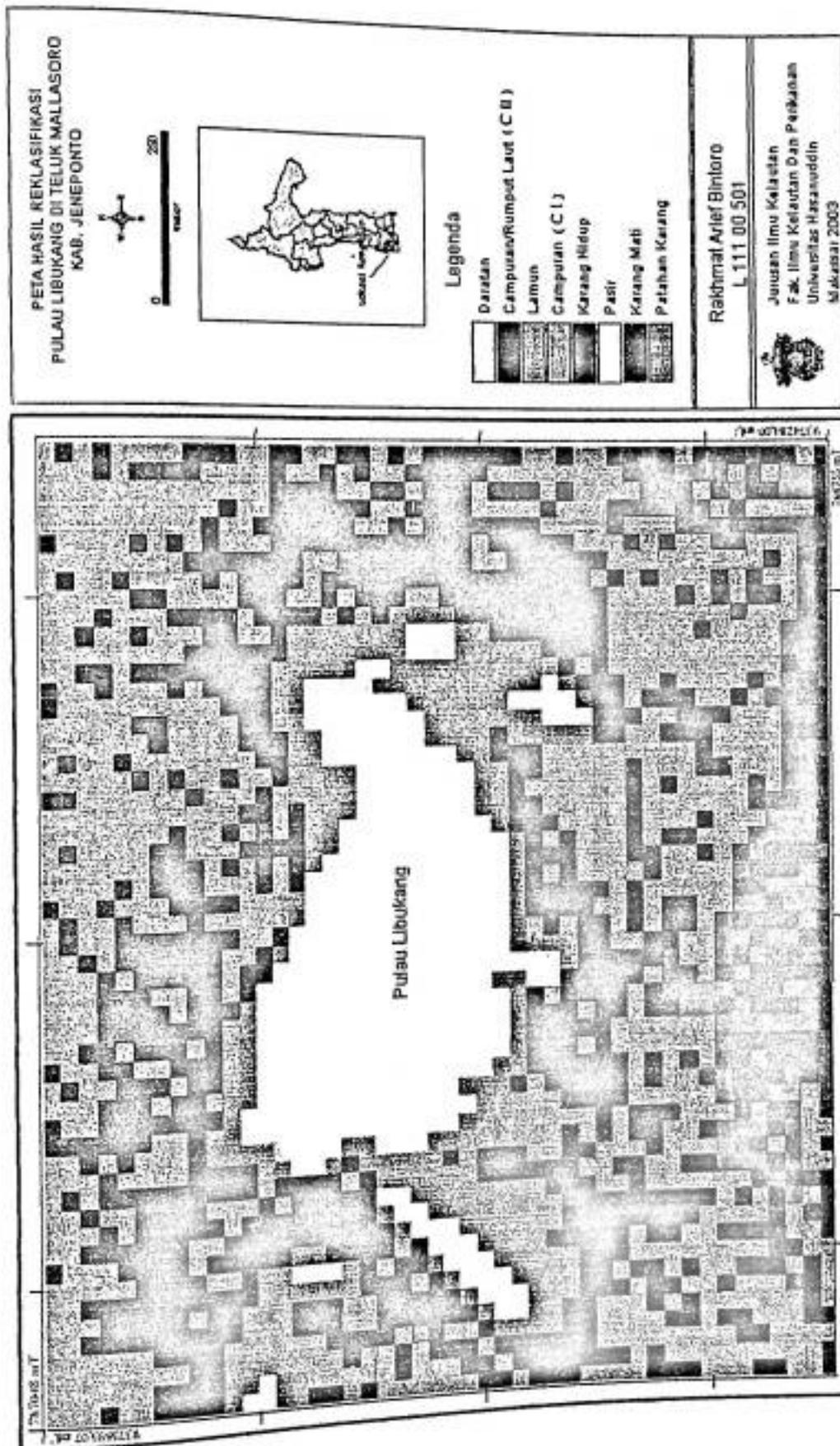
Pengecekan lapangan berfungsi untuk mencocokkan hasil klasifikasi dengan kondisi yang sebenarnya di lapangan terutama untuk obyek-obyek yang meragukan kenampakannya di citra.

Lokasi pengambilan data lapangan ditentukan dari citra hasil klasifikasi tidak terbimbing Pulau Libukang. Di sini diperoleh sebanyak 16 titik stasiun pengambilan sampel berdasarkan tingkat keheterogenan warna yang dianggap paling bervariasi di sekeliling Pulau Libukang lihat Lampiran 17, dimana masing-masing titik stasiun tersebut mewakili kelas hasil klasifikasi. Hasil pengukuran lapangan selengkapnya disajikan pada Lampiran 18.

Pengklasifikasian Ulang (Reklasifikasi) Berdasarkan Data Lapangan

Hasil transformasi Lyzenga dikelaskan kembali (*reklasifikasi*) untuk memperoleh informasi yang sebenarnya berdasarkan data lapangan yang diperoleh pada saat pengamatan (*ground truthing*) di daerah penelitian. Pengklasifikasian dilakukan pada awalnya dengan proses klasifikasi tidak terbimbing, dimana terbagi ke dalam 16 kelas. Kemudian dalam proses klasifikasi ulang, setelah dihubungkan dengan perolehan data hasil pengambilan lapangan, dihasilkan 8 kelas (Gambar 16). Kedelapan kelas tersebut terdiri dari:

1. Kelas karang hidup; merupakan kelas penutupan dasar perairan yang didominasi oleh karang hidup (*hard coral*) dengan persen tutupan karangnya yang tinggi. Tingkat keberadaan dan kesuburan terumbu karang ditandai dengan menilai tingkat kecerahan akibat pantulan (*refleksi*), serapan (*absorpsi*), dan terusan (*transmisi*) dari klorofil yang terdapat pada polip terumbu karang. Kemudian nilai pantulan tersebut dipengaruhi pula oleh endapan-endapan massif dari kalsium karbonat yang dihasilkan oleh polip terumbu karang serta disebabkan oleh posisi terumbu karang yang lebih dekat dengan permukaan sehingga air laut tidak terlalu mempengaruhi intensitas gelombang elektromagnetik. Nilai spektral terhadap terumbu karang yang terbentuk akibat pengaruh-pengaruh tersebut di atas akan berbeda dengan nilai spektral obyek yang memiliki klorofil pula (seperti, lamun, rumput laut, dan tumbuhan darat).



Gambar 5. Peta Hasil Reklasifikasi

2. Kelas karang mati; merupakan daerah dengan penutupan dasar perairan yang didominasi oleh karang mati dengan kondisi dimana karang sudah tidak mempunyai zooxanthella, sehingga nilai pantulan (refleksi), serapan (absorpsi), dan terusan (transmisi) dominan dipengaruhi oleh zat kalsium karbonat. Nilai pantulan dari obyek ini akan lebih tinggi dari nilai serapan dan terusannya, hal ini disebabkan karena warna putih dari karang mati tersebut. Namun nilai keabuannya tidak akan lebih besar dari nilai pantulan seperti substrat pasir murni, karena karang mati biasanya masih memiliki bentuk yang sempurna layaknya karang hidup, dimana masih terdapat sekat-sekat di antara cabang-cabang karang yang memungkinkan nilai pantulannya masih dipengaruhi oleh obyek dan substrat lain di sekelilingnya.
3. Kelas campuran I; merupakan penutupan obyek yang terdiri atas karang, pecahan karang, pasir dan lamun yang sulit diinterpretasi sebagai suatu kelas yang spesifik dan berdiri sendiri, karena adanya ketidakteraturan komposisi dan persentase jenis penutupan yang sangat bervariasi.
4. Kelas campuran II; ditutupi rumput laut pada interpretasi awal teridentifikasi obyek yang berdiri sendiri, dan dikategorikan sebagai kelas campuran namun pada saat *ground truthing* obyek tersebut adalah rumput laut sedangkan obyek di bawahnya adalah kelas campuran. Rumput laut tersebut adalah usaha budidaya yang dikelola oleh masyarakat sekitar.
5. Kelas pasir; merupakan daerah yang bersubstrat dasar perairan berupa rata-rata pasir selain daratan/pulau, dengan tidak membedakan atas ukuran butiran dan

komposisi rataannya. Pada kenampakan citra nampak bahwa nilai intensitas pantulan (refleksi) spektral tertinggi terdapat pada kelas ini. Hal ini disebabkan karena warna putih dari pasir serta butiran-butiran pasir yang berdiameter kecil yang hampir tidak memberi ruang/sekat kepada gelombang elektromagnetik untuk terserap dan diteruskan.

6. Kelas lamun; merupakan daerah yang penutupan dasar perairannya didominasi oleh tumbuhan lamun, yang mana dalam pengecekan lapangan tidak dilakukan analisis kepadatan, keanekaragaman maupun kelimpahannya. Pada komposit band 321 terlihat warna hijau, hal ini disebabkan adanya zat klorofil yang terdapat pada tumbuhan ini. Warna hijau tersebut berbeda dengan warna hijau vegetasi darat, hal ini disebabkan karena vegetasi lamun cenderung dipengaruhi oleh substrat serta air laut sebagai mediumnya. Sedangkan untuk membedakan kelas antara substrat yang ditumbuhi oleh lamun, algae dan tumbuhan lainnya, sangat sulit dilakukan sebab pada umumnya jenis-jenis tumbuhan laut ini hidup di atas rataan pasir dengan kerapatan yang berbeda-beda, namun karakteristik spektral yang dipantulkan cenderung mirip, sehingga dimasukkan dalam satu kelas yang homogen.
7. Kelas patahan karang (*rubble*); merupakan penutupan yang mencakup *feature* karang, pecahan karang, lamun, pasir, dan sebagainya yang sulit diinterpretasi sebagai suatu kelas yang spesifik yang berdiri sendiri. Hal ini diakibatkan oleh ketidak teraturan komposisi, dan prosentase jenis penutupan yang sangat bervariasi. Namun kenampakan obyek ini pada citra sedikit terlihat jelas

dengan nilai keabuan yang lebih tinggi dari karang mati dan lebih rendah dari tutupan pasir. Hal ini lebih disebabkan karena semakin mengecilnya diameter akibat sortasi, sehingga serapan dan terusan juga semakin kurang dibanding nilai pantulannya (*refleksi*).

8. Kelas daratan; merupakan kelas yang terdiri dari semua obyek yang muncul di permukaan air, termasuk hutan campuran yang menutupi sebagian besar Pulau Libukang. Dengan penerapan algoritma tertentu, kelas daratan/pulau ini dapat diabaikan (nilai-nilai spektralnya di-nol-kan) sehingga tidak terjadi tumpang tindih antara kenampakan di daratan, baik vegetasi darat maupun kenampakan lainnya, dengan berbagai karakteristik dasar perairan yang akan diteliti di kawasan perairan Pulau Libukang.

Beberapa Kendala dan Keterbatasan Dalam Aplikasi

Tanpa mengabaikan potensi dan kemampuan teknologi penginderaan jauh khususnya penggunaan citra satelit Landsat-ETM+ untuk aplikasi pengelolaan wilayah pesisir masih ditemukan keterbatasan dan masalah-masalah dalam praktek penggunaannya, antara lain:

- Adanya faktor pembatas seperti kedalaman, kekasaran permukaan (besar kecilnya gelombang atau riak) dan materi di dalam air cukup berpengaruh terhadap reflektansi radiasi elektromagnetik dalam air (Sutanto, 1987). Dari beberapa penelitian dengan satelit Landsat, diperkirakan penetrasi ke dalam tubuh air jernih adalah sekitar 10 meter untuk saluran 0,5-1,1 μm , 3 meter



untuk saluran 0,6-0,7 μm , 1 meter untuk saluran 0,7-0,8 μm dan hanya 10 cm untuk saluran 0,8-11 μm (Jupp, 1988). Hal ini dapat menjadi salah satu penyebab berkurangnya validitas penelitian mengenai perairan pesisir khususnya dalam memverifikasi daerah *reef slope* sebab karakteristik dasar perairan di kedalaman lebih 10 meter masih sangat bervariasi.

- Untuk sebuah sistem dinamis seperti lautan, dengan kemampuan satelit Landsat-ETM+ yang memiliki interval waktu pengulangan 16 hari sekali tentunya tidak dapat mengikuti laju dinamika/kondisi oseanografi perairan pantai yang berubah dalam jangka waktu pendek (jam) dengan resolusi temporal yang dimilikinya.
- Karakter spasial dari citra landsat yang berukuran 30 x 30 meter juga menjadi salah satu penyebab berkurangnya informasi yang bisa didapatkan, hal ini terutama terjadi pada obyek yang memiliki luasan di bawah 30 x 30 meter, seperti obyek kelas campuran yang di dalamnya terdiri atas tumbuhan lamun, alga, pecahan/patahan karang, serta obyek-obyek lainnya.
- Hambatan lainnya berupa interferensi atmosferik yang perlu dipertimbangkan. Perlu terus dikembangkan langkah yang lebih baik dalam pengolahan data satelit melalui pengembangan model dan algoritma untuk memanipulasi efek-efek yang amat bervariasi.

Luasan dan Kondisi Terumbu Karang

Hasil perhitungan luasan masing-masing kelas pada citra pengklasifikasian berdasarkan data lapangan (*reklasifikasi*) Pulau Libukang tahun 2001 dapat dilihat pada Table 9 dan Lampiran 19.

Tabel 9. Luasan tutupan tiap kelas citra Pulau Libukang tahun 2001.

| No. | Kelas | Luasan | |
|--------------|-----------------------------|-----------------|---------------|
| | | km ² | % |
| 1. | Karang Hidup | 0,271 | 9,6 |
| 2. | Karang Mati | 0,260 | 9,2 |
| 3. | Campuran (C I) | 0,741 | 26,2 |
| 4. | Campuran Rumput Laut (C II) | 0,756 | 26,8 |
| 5. | Patahan Karang | 0,217 | 7,7 |
| 6. | Lamun | 0,182 | 6,4 |
| 7. | Pasir | 0,161 | 5,7 |
| 8. | Daratan | 0,235 | 8,3 |
| Total | | 2,823 | 100,00 |

Di lihat dari Tabel 9 di atas menunjukkan bahwa persentase tutupan tertinggi adalah kelas campuran II (26,8%) dan terendah kelas pasir (5,7%). Hal tersebut terlihat di sekitar perairan Pulau Libukang banyaknya masyarakat setempat melakukan budidaya rumput laut yang dilakukan beberapa tahun terakhir sebagai mata pencaharian alternatif, untuk menambah penghasilan di samping mata pencaharian utama sebagai nelayan.



Dari hasil perhitungan jumlah persentase tutupan karang hidup dan karang mati Pulau Libukang tahun 2001 sekitar 18,8 % dan selebihnya merupakan kelas lain dari karakteristik dasar perairan.

Luas rata-rata karang yang diperoleh dari analisis ini merupakan luas secara kuantitatif dan belum dapat diketahui secara kualitas berapa persen karang hidup yang ditampilkan oleh citra. Namun dengan menggunakan data lapangan dapat diketahui kondisi rata-rata karang hidup tersebut. Sehingga perlu dilakukan kompilasi data satelit dengan data lapangan untuk memperoleh informasi yang lebih lengkap.

Hasil penelitian kondisi terumbu karang dengan metode survei lapangan dan metode transek garis seperti terlihat pada Tabel 10. Untuk stasiun pengamatan 15 dan 16 tidak dimasukkan dalam tabel karena merupakan area pasir dan daratan sehingga tidak dilakukan penilaian penutupan. Dari Tabel 10 di bawah, diperkirakan tutupan karang Pulau Libukang berkisar antara 11-67%.

Sedangkan persentase tutupan karang yang diperoleh ada tiga kategori yaitu kategori jelek, sedang dan bagus (UPSMC, 1979 dalam Brown, 1986). Untuk kategori jelek terdapat pada lima stasiun (5, 10, 12, 13 dan 14), kategori sedang terdapat pada enam stasiun (1, 2, 3, 4, 6, 8 dan 11), dan kategori bagus terdapat pada tiga stasiun (3, 7 dan 9) (Tabel 10).

Dari hasil penilaian tutupan karang tersebut maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata kategori tutupan karang di perairan sekitar Pulau Libukang adalah kategori sedang dengan persen penutupan berkisar 25-43%.



Tabel 10. Penilaian dan persentase tutupan karang hidup di perairan Pulau Libukang pada setiap stasiun penelitian bulan Maret 2003.

| Posisi | | Stasiun | Sisi Pulau | Kedalaman (m) | Persen Penutupan (%) | Kriteria |
|------------|-------------|---------|------------|---------------|----------------------|----------|
| X | Y | | | | | |
| 787916.000 | 9375304.504 | 1 | Utara | 4 | 25 | Sedang |
| 788353.000 | 9375321.849 | 2 | Utara | 2 | 25 | Sedang |
| 788600.000 | 9375246.934 | 3 | Timur | 2,5 | 50 | Bagus |
| 788507.000 | 9374989.724 | 4 | Timur | 3 | 25 | Sedang |
| 788335.000 | 9374939.638 | 5 | Timur | 2,5 | 16 | Jelek |
| 788360.000 | 9374731.371 | 6 | Timur | 4 | 33 | Sedang |
| 788002.000 | 9374776.099 | 7 | Selatan | 4 | 67 | Bagus |
| 787680.000 | 9374373.673 | 8 | Selatan | 8 | 33 | Sedang |
| 788023.000 | 9374542.728 | 9 | Selatan | 4 | 59 | Bagus |
| 787707.000 | 9374627.217 | 10 | Selatan | 1,5 | 16 | Jelek |
| 787404.000 | 9374567.700 | 11 | Selatan | 5 | 43 | Sedang |
| 787372.000 | 9374963.797 | 12 | Barat | 4 | 14 | Jelek |
| 787502.000 | 9375017.691 | 13 | Barat | 1,5 | 16 | Jelek |
| 787628.000 | 9375023.138 | 14 | Barat | 1 | 11 | Jelek |

Berdasarkan Tabel 10 di atas dan hasil pengamatan secara menyeluruh pada perairan Pulau Libukang kondisi tutupan karang rata-rata terjelek ditemukan di sisi barat pulau (Stasiun 12, 13 dan 14). Hal ini disebabkan adanya alur pelayaran dari dan ke Pulau Libukang yang harus melalui sisi barat terlebih dahulu, karena faktor kedalaman yang masih dapat dilalui oleh perahu nelayan. Sisi barat pulau merupakan alur datang dan pergi sekaligus berlabuhnya perahu nelayan karena kondisi perairannya yang lebih dalam, terbuka dan tenang. Kondisi ini ditunjang oleh lokasi pemukiman penduduk berada di sisi utara pulau yang perairannya lebih dangkal.

Dengan demikian pada sisi barat ini juga berfungsi sebagai tempat atau area yang memudahkan perahu-perahu datang dan menuju dari dan ke ibukota kabupaten.



Hal ini memberikan dampak (perusakan karang) terhadap luasan dan kondisi terumbu karang yakni lebih jelek tutupan karangnya dibandingkan dengan sisi pulau lainnya.

Kerusakan terumbu karang pada perairan Pulau Libukang diduga disebabkan oleh faktor *anthropogenic*, dalam hal ini segala aktifitas penduduk pulau yang tidak ramah lingkungan yang akan mempengaruhi kelestarian ekosistem. Aktifitas penduduk tersebut terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung seperti pengambilan karang untuk bahan bangunan, penangkapan organisme laut yang bernilai ekonomis dengan cara tidak ramah lingkungan (*destructive fishing*) dan aktifitas nelayan yang membuang jangkar di areal terumbu karang serta adanya budidaya rumput laut yang banyak menutupi substrat dasar perairan.

Fenomena yang menarik berdasarkan analisis citra adalah sebagian besar terumbu karang hidup pada daerah sisi selatan pulau yang berbatasan langsung dengan Selat Makassar dan Laut Flores. Hal ini diduga disebabkan oleh karakteristik terumbu karang yang hanya dapat tumbuh dengan optimum pada daerah yang berhadapan langsung dengan laut lepas, sehingga suplai bahan makanan dan oksigen berlangsung dengan maksimum, mereduksi tingkat sedimentasi (Nontji, 1986).

Pengembangan Potensi Perairan Pulau Libukang

Pulau Libukang merupakan salah satu dari sekian banyak contoh dari pulau dengan kepadatan penduduk yang sedikit, namun tingkat kerusakan ekologis khususnya kerusakan terumbu karang yang cukup tinggi.



Di samping itu lokasi penelitian merupakan areal yang cukup potensial untuk pengembangan budidaya rumput laut, hal ini disebabkan karena parameter lingkungan yang cukup sesuai, dan dibuktikan dengan aktivitas budidaya masyarakat yang telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Yang menjadi persoalan adalah terjadinya persinggungan dengan ekosistem yang telah tumbuh dan berkembang sebelumnya, khususnya terumbu karang. Masyarakat secara sadar atau tidak telah menjadi penyebab kerusakan ekosistem ini, mereka telah menanam/memelihara rumput laut di atas terumbu karang yang apabila ditinjau dari segi lingkungannya memang sangat cocok untuk tumbuh dan berkembang. Selain itu kerusakan juga terjadi karena adanya aktivitas kapal motor yang dapat merusak karang seperti pembuangan jangkar dan benturan dengan lunas kapal.

Dari kenampakan citra terlihat bahwa penyebaran budidaya rumput laut tersebar secara acak dan tidak teratur, hal ini disebabkan karena tidak adanya pengelolaan yang tepat, padahal apabila dilakukan pengelolaan dan manajemen terpadu dengan melakukan zonasi atau pemintakatan wilayah-wilayah strategis untuk budidaya, maka tidak akan terjadi benturan-benturan ekologis seperti yang terlihat sekarang. Upaya pengeplotan wilayah-wilayah strategis tersebut harus dilakukan dengan memperhatikan sebaran terumbu karang serta area potensi untuk tumbuh bagi terumbu karang tersebut.

Sebagai langkah antisipasi dan pengendalian terhadap degradasi ekosistem terumbu karang di perairan sekitar Pulau Libukang perlu segera dilakukan penetapan zonasi untuk sentralisasi kegiatan wisata, pertamanan serta penataan lingkungan.

Berdasarkan Tabel 10 terdapat tiga kategori bagus yaitu 1 di sisi timur dan 2 di sisi selatan pulau. Daerah ini harus dipertahankan kondisinya, sedangkan untuk pengembang sektor lain bisa dilakukan di sisi utara dan sisi barat pulau saja.

Untuk itu masih diperlukan pertimbangan-pertimbangan ekologis, teknis, sosial dan ekonomi yang dibutuhkan bagi pertumbuhan optimal budidaya rumput laut. Disamping itu juga perlu dipertimbangkan pengembangan sektor lain seperti perikanan, pertanian, pelayaran, pariwisata, pertambangan, pengawetan dan perlindungan sumber daya alam serta kegiatan alam lainnya (Sumiarsih dan Indriani, 1992).

Perairan Pulau Libukang juga memiliki ekosistem yang unik, di mana terdapat kombinasi ideal antara pantai yang bersih, air yang jernih dan karang yang sangat menarik. Selain itu ekosistem ini memiliki sumberdaya alam, aspek ekonomi (kedekatannya dengan Pantai Birtaria) dan budaya yang khas.

Layak kiranya jika perairan sekitar Pulau Libukang dapat dikembangkan sebagai tujuan alternatif wisata pesisir. Pariwisata pesisir biasanya selalu diasosiasikan dengan tiga "S" (*Sun, Sea dan Sand*), artinya jenis pariwisata yang menyediakan keindahan dan kenyamanan alami dari kombinasi cahaya matahari, laut dan pantai berpasir bersih. Berbagai aktivitas di pulau atau di kawasan pesisir antara lain, meliputi *scuba diving*, berenang, berselancar, berjemur, berdayung, *snorkeling*, *boating* dan *water skiing*, berjalan-jalan atau berlari di sepanjang pantai, kemping, menikmati keindahan perbukitan yang memberikan pemandangan sangat indah.

Pengembangan potensi perairan Pulau Libukang di masa depan masih memerlukan pengelolaan sumber daya alam yang rasional atau terencana dengan baik yang dapat menjaga fungsi alami lingkungan hidup, sehingga meminimalkan dampak negatif pengelolaan sumber daya alam terhadap lingkungan hidup.

Parameter Fisik Air Laut

Parameter fisik air laut yang diukur pada pengambilan data lapangan antara lain suhu, salinitas, kecerahan, kecepatan dan arah arus (Tabel 11).

Tabel 11. Hasil pengukuran parameter fisik air laut dan kondisi perairan pulau Libukang.

| Sisi Pulau | Stasiun | Kedalaman (m) | Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | Salinitas ($^{\circ}/\text{oo}$) | Kecerahan (%) | Kecepatan Arus (m/dtk) | Arah Arus (\square) |
|------------|---------|---------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Utara | 1 | 4,0 | 30 | 32 | 100 | 0,09 | 30 |
| Utara | 2 | 2,0 | 30 | 32 | 100 | 0,09 | 30 |
| Timur | 3 | 2,5 | 30 | 32 | 100 | 0,06 | 310 |
| Timur | 4 | 3,0 | 30 | 32 | 100 | 0,06 | 310 |
| Timur | 5 | 2,5 | 30 | 32 | 100 | 0,05 | 310 |
| Timur | 6 | 4,0 | 30 | 32 | 100 | 0,06 | 312 |
| Selatan | 7 | 4,0 | 30 | 32 | 100 | 0,08 | 187 |
| Selatan | 8 | 8,0 | 30 | 32 | 100 | 0,10 | 180 |
| Selatan | 9 | 4,0 | 30 | 32 | 100 | 0,10 | 185 |
| Selatan | 10 | 1,5 | 30 | 32 | 100 | 0,07 | 185 |
| Selatan | 11 | 5,0 | 30 | 32 | 100 | 0,07 | 185 |
| Barat | 12 | 4,0 | 30 | 32 | 100 | 0,08 | 240 |
| Barat | 13 | 1,5 | 30 | 32 | 100 | 0,08 | 235 |
| Barat | 14 | 1,0 | 30 | 32 | 100 | 0,08 | 237 |



Nilai kedalaman yang diperoleh berkisar antara 1-8 meter, ini menunjukkan bahwa lokasi penelitian relatif dangkal. Nilai kedalaman tersebut sesuai untuk pertumbuhan terumbu karang karena cahaya matahari dapat menembus dasar perairan. Kedalaman laut maksimum untuk karang batu pembentuk terumbu karang adalah 50 meter (Fell, 1975).

Hasil pengukuran suhu perairan tiap stasiun penelitian cenderung sama yaitu 30°C . Kisaran suhu tersebut masih berada pada kisaran toleransi hewan karang yaitu $30\text{--}34^{\circ}\text{C}$ (Veron, 1986).

Untuk pengukuran salinitas pada tiap stasiun didapatkan rata-rata 32‰. Nilai salinitas ini berada pada kondisi yang kurang subur bagi pertumbuhan dan perkembangan terumbu karang. Salinitas air laut rata-rata di daerah tropis adalah sekitar 35‰, dan binatang karang hidup subur pada kisaran salinitas sekitar 34–36‰ (Kinsman, 1964).

Kecerahan air laut seluruh stasiun pengamatan di perairan Pulau Libukang yang terukur pada kedalaman 1-8 meter adalah 100%. Ini memberikan keterangan bahwa daya tembus sinar matahari di bawah permukaan air laut masih baik pada kedalaman 8 meter. Untuk hidupnya, karang batu memerlukan air laut yang bersih dari kotoran oleh benda-benda yang dapat menghalangi masuknya cahaya matahari yang diperlukan untuk fotosintesa *Zooxanthella* (Yonge, 1940 dalam Soekarno dkk., 1983).

Hasil pengukuran kecepatan arus di seluruh stasiun pengamatan di Pulau Libukang diperoleh kisaran nilai sebesar 0,05–0,10 m/dtk. Kisaran ini tergolong



dalam kategori lemah (Triatmojo, 1999). Walaupun arus ini tergolong lemah, namun dinilai masih mampu untuk membantu pergerakan air atau arus untuk membantu tersedianya aliran suplai makanan renek dan oksigen maupun terhindarnya karang dari timbunan endapan (Soekarno dkk., 1983).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian tentang pemanfaatan penginderaan jauh dalam hal ini citra Landsat-ETM+ untuk luasan dan kondisi terumbu karang di sekitar perairan Pulau Libukang adalah sebagai berikut :

1. Persentase luasan obyek dasar perairan wilayah perairan laut Pulau Libukang tertinggi berturut-turut adalah campuran II rumput laut seluas $0,756 \text{ km}^2$ (26,8%), campuran I seluas $0,741 \text{ km}^2$ (26,2%), karang hidup seluas $0,271 \text{ km}^2$ (9,6%), karang mati seluas $0,260 \text{ km}^2$ (9,2%), daratan seluas $0,235 \text{ km}^2$ (8,3%), patahan karang seluas $0,217 \text{ km}^2$ (7,7%), lamun seluas $0,182 \text{ km}^2$ (6,4%) dan pasir seluas $0,161 \text{ km}^2$ (5,7%).
2. Kondisi tutupan karang Pulau Libukang dari analisis data lapangan terdapat tiga kategori yaitu bagus, sedang dan jelek (berkisar antara 11-67%) dan termasuk rata-rata berkategori sedang dengan kondisi tutupan karang terendah ditemukan di sebelah barat pulau (11%). Sedangkan jumlah tutupan karang hidup dan karang mati persen tutupan karangnya sekitar 18,8 %.

Saran

Perlu langkah antisipasi dan pengendalian terhadap degradasi ekosistem terumbu karang yang terjadi di sekitar perairan Pulau Libukang sedini mungkin melalui upaya penyuluhan dan peningkatan kesadaran serta pengetahuan kepada masyarakat setempat dan sekitarnya akan kelestarian lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Barnes, R.S.K. and R.N. Huges, 1988. *An Introduction to Marine Ecology*. Blackwell Scientific Publication, Oxford-Melbourne.
- Boaden, P.J.S. and R. Seed, 1985. *An Introduction to Coastal Ecology*. Blackie and Son Ltd., New York, USA.
- Brown, B.E., 1986. *Human Induced Damage to Coral Reefs*. Result of a Regional UNESCO (Coman), Workshop with Advanced Training ed. Diponegoro University Jepara and National Institute of Oceanology, Jakarta. p. 1 - 14.
- Butler, M.J.A., M.C. Mouchot, V. Berale and LeBlane, 1988. *The Application of Remote Sensing Technology to Marine Fisheries*. An Introduction Manual FAO-Fish Tecnology, Italy.
- Clark, J.R., 1992. *Integrated Management of Coastal Zone*. FAO Fisheries Tehnical Paper. FAO United Nations, Rome. 167 p.
- Curran, P.J., 1985. *Principles of Remote Sensing*. Longman Scientific and Technical, Harlow.
- Dahuri, R., J. Rais, S.P. Ginting dan M.J. Sitepu, 1996. *Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Ditlev, H., 1980. *A Field Guide to the Reef-Building Corals of the Indo Pacific*. Dr. W. Bachyus Publishe, Rotterdam.
- English, S., C. Wilkinson and V. Baker, 1994. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. ASEAN-Australia Marine Science Project: Living Coastal Resources. Australian Institut of Marine Science, Townsville. 368 p.
- Fell, B., 1975. *Introduction to Marine Biology*. Harper and Row, Publisher. New York, Evanston, San Fransisco, London.
- Hasyim, B., 1993. *Prospek Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh untuk Inventarisasi Sumberdaya Laut dan Perairan Pantai*. Bidang Matra Laut LAPAN, Jakarta.
- Jansen, 1999. *Koreksi Sistematis Data Satelit Inderaja*. Materi pada Pelatihan Pengembangan dan Pembangunan Wahana Pemantauan Ekosistem Bumi - Pusfatja - LAPAN, Jakarta.

- Jupp, D.I.B., 1988. *The Application of Digital Remote Sensing Techniques and Coral Reef, Oceanographic and Estuarine Studies*. Report on Regional UNESCO/COMAR/GBRMPA Workshop, Australia.
- Kinsman, D.J.J. 1964. Reef Coral Tolerance of High Temperatures and Salinities. *Nature* 202: 1280-1282.
- Lillesand, T.M. dan R.W. Kiefer, 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra* (Terjemahan *Remote Sensing and Image Interpretation* oleh Dulbahri, Suharsono P., Hartono dan Suharyadi). Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Lo, C.P., 1986. *Penginderaan Jauh Terapan* (Terjemahan Applied Remote Sensing oleh Purbowaseso B.). Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Mc Allister, E., 1991. *Terumbu Karang Kita*. WWF (Irian Jaya) dan Kantor Wilayah Departemen Kehutanan Propinsi Irian Jaya, Jayapura.
- Mc Manus, dkk., 1997. *Reef Base Aquanaut Survey Manual*. ICLARM, Philippines.
- Meaden, G.J. and J.M. Kapetsky, 1991. *Geographical Information System and Remote Sensing in Inland Fisheries and Aquaculture*. FAO, Rome, Italy.
- Moosa, M.K. dan Suharsono, 1995. *Rehabilitasi dan Pengelolaan Terumbu Karang: Suatu Usaha Menuju ke Arah Pemanfaatan Sumberdaya Terumbu Karang Secara Lestari*. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Terumbu Karang. Puslitbang Oseanologi-LIPI, Jakarta.
- Murai, S., B. Foster and B. Ryerson, 1993. *Remote Sensing Note*. Japan Association on Remote Sensing. IIS, University of Tokyo, Japan.
- Nontji, A., 1987. *Laut Nusantara*. Lembaga Oseanologi Nasional-LIPI. Djambatan, Jakarta.
- Nurjannah, 1997. *Pemanfaatan penginderaan jauh untuk kajian distribusi dan kondisi karakteristik dasar perairan pada ekosistem terumbu karang di Kep. Spermonde (Sangkarang) Selat Makassar*. Tesis. Program Pascasarjana, IPB, Bogor.
- Nybakken, J.W., 1988. *Biologi Laut. Suatu Pendekatan Ekologis*. PT Gramedia, Jakarta. Hal. 325-363.
- Purwadhi, S.H., 2001. *Interpretasi Citra Digital*. PT Grasindo, Jakarta.

- Rosen, B.R., 1971. The distribution of reef coral genera in the Indian Ocean. *In: Regional variation in Indian Ocean Coral Reefs*. Soddart D.R. and C.M. Yonge (eds). *Symp. Zool. Soc. Lon.*, 28: 263-299.
- Siregar, V., 1995. *Pengembangan Algoritma Pemetaan Perairan Dangkal (Terumbu Karang) dengan Menggunakan Citra Satelit : Aplikasi pada Daerah Benoa Bali*. Makalah Seminar Maritim Indonesia, Jakarta.
- Siswandono, 1987. *The Micro BRIAN Method for Bathymetric Mapping of the Pari Reef and Its Accuracy Assessment*. Center for Oceanological Research and Development. Indonesian Institut of Science, Jakarta, Indonesia.
- Soekarno, M. Hutomo, M.K. Moosa dan P. Darsono, 1983. *Terumbu Karang di Indonesia: Sumberdaya, Permasalahan, dan Pengelolaannya*. LON-LIPI, Jakarta.
- Soekarno, R., 1995. *Kondisi Terumbu Karang di Indonesia dan Usaha Pengelolaannya*. PT Hasfarm Dian Konsultan, MSEP-CPIU, Jakarta.
- Sorokin, Y.L., 1993. *Coral Reef Ecology*. Springer-Verlag, Germany.
- Stoddart, D.R., 1969. Ecology and morphology of recent coral reefs. *Biol. Rev.*, 44: 433-498.
- Suharsono, 1996. *Jenis-jenis Karang yang Umum Dijumpai di Perairan Indonesia*. Proyek Penelitian dan Pengembangan Daerah Pantai P3O-LIPI, Jakarta. 116 hal.
- Sumiarsih, E. dan H. Indriani, 1999. *Budidaya, Pengelolaan dan Pemasaran Rumput Laut*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Supriharyono, M.S., 2000. *Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Sutanto, 1987. *Penginderaan Jauh. Jilid 1*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sutanto, 1994. *Penginderaan Jauh. Jilid 2*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Thamrongnawasawat, A. and L. Sudara, 1991. *Image Processing for Studying Fringing Reefs in Thailand Using Landsat and SPOT Imagery Data*. Micro BRIAN Remote Sensing Unit Departement of Marine Science. Chulalongkorn University, Thailand.



Tomascik, T., A.J. Mah, A. Nontji and K.M. Moosa, 1997. *The Ecology of the Indonesian Seas – Part One and Two*. The Ecology of Indonesia Series Vol. 8. Periplus, Singapore.

Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta.

Vaughan, T.W. and J.W. Wells, 1943. Revision of the suborders, families, and genera of the Scleractinia. *Special Pap. Geol. Soc. Amer.*, 44:1-363.

Veron, J.E.N., 1986. *Corals of Australia and the Indo Pacific*. Angus & Robertson Publisher, London.

Wells, 1956. *Scleractinia*. Geological Society of America and University of Kansas Press, USA.

Whitten, A.J., M. Mustafa dan G.S. Henderson, 1987. *The Ecology of Sulawesi*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, Indonesia.