

27227/H/06

TESIS



**EVALUASI SEBARAN DAN KONDISI TERUMBU KARANG  
MENGUNAKAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH  
DAN METODE MANTA TOW DI KABUPATEN BENGKAYANG**

Oleh :

**KRIS HANDOKO**  
NRP. 4104 205 707

RTKe  
621.3678  
Han  
e-1  
2006



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	2 - 8 - 06
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	225661

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK DAN MANAJEMEN PANTAI  
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2006**

**EVALUASI SEBARAN DAN KONDISI TERUMBU  
KARANG MENGGUNAKAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN  
JAUH DAN METODE MANTA TOW DI KABUPATEN  
BENGKAYANG**

**Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
di  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA**

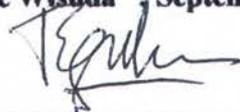
**Oleh :**

**Kris Handoko  
NRP. 4104 205 707**

**Tanggal Ujian : 20 Juli 2006  
Periode Wisuda : September 2006**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tesis :**

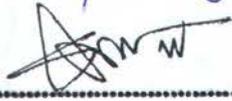
**1. Dr. Ing Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.**



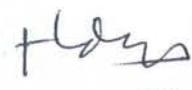
**2. Ir. Arief Suroso, M.Sc.**



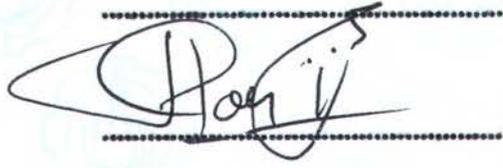
**3. Ir. Haryo Dwito Armono, M.Eng., Ph.D.**



**4. Dr. Ir. Handyanu, M.Sc.**



**5. Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.**





**Direktur Program Pascasarjana**

**Prof. Ir. Happy Ratna S., M.Sc. PhD  
NIP. 130 541 829**

**Evaluasi Sebaran dan Kondisi Terumbu Karang Menggunakan  
Teknologi Penginderaan Jauh dan Metode *Manta Tow*  
di Kab.Bengkayang**

**Nama Mahasiswa : Kris Handoko**  
**NRP : 4104 205 707**  
**Pembimbing : Dr. Ing Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.**  
**Co- Pembimbing : Ir. Arief Suroso, M.Sc.**

**ABSTRAK**

Kabupaten Bengkayang memiliki 12 pulau dengan gugusan terumbu karang yang sangat potensial namun rawan terhadap ancaman kerusakan. Pengelolaan sumberdaya alam memerlukan informasi yang akurat tentang status kondisi terumbu karang yang ada. Penelitian ini menyajikan evaluasi sebaran dan kondisi terumbu karang di Kabupaten Bengkayang. Metodologi yang digunakan adalah kombinasi dari teknologi penginderaan jauh dengan metode *manta tow*. Pengolahan citra Landsat TM terbagi atas 3 tahapan. Tahap pertama yaitu pre – klasifikasi yang terdiri atas pemulihan citra pemotongan citra, penajaman citra, pengambilan training area dan analisis citra dengan menggunakan algoritma Lyzenga. Tahap selanjutnya adalah klasifikasi dengan menggunakan klasifikasi hibrida. Tahap akhir adalah post klasifikasi, yaitu dengan mencocokkan hasil klasifikasi hibrida dengan data *manta tow* untuk memeriksa ketepatan dan ketelitian dari klasifikasi, dengan hasil uji ketelitian keseluruhan adalah 85,19%.

Berdasarkan perhitungan statistik terhadap kelas hasil klasifikasi yaitu Pulau Lemukutan memiliki karang hidup 138,78 ha, karang mati 23,40 ha, lamun 32,67 ha dan pasir 71,55 ha; Pulau Randayan memiliki karang hidup 4,50 ha, karang mati 3,69 ha, lamun 0,63 ha dan pasir 4,77 ha; Pulau Penata memiliki karang hidup 33,57 ha, karang mati 15,39 ha, lamun 11,07 ha dan pasir 21,96 ha; Pulau Kabung memiliki karang hidup 20,25 ha, karang mati 9 ha, lamun 5,85 ha dan pasir 7,47 ha. Hasil survei lapangan dengan menggunakan metode *manta tow* diketahui bahwa keadaan terumbu karang dalam kondisi baik pada Pulau Lemukutan sedangkan di sebelah Timur Pulau Randayan dalam kondisi yang rusak.

Kata kunci : Terumbu karang, teknologi penginderaan jauh, Citra Landsat TM, metode *manta tow*

## **Evaluating Distribution and Condition of Coral Reefs Using Remote Sensing Technology and Manta Tow Method in Bengkayang Regency**

**Name of student : Kris Handoko**  
**NRP : 4104 205 707**  
**Supervisor : Dr. Ing Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.**  
**Co-supervisor : Ir. Arief Suroso, M.Sc.**

### **ABSTRACT**

Bengkayang regency has 12 islands with potential coral reefs; unfortunately these coral reefs are threatened to damage. To overcome this problem management of coral reef is badly needed and accurate information about the condition of these coral reefs is required. This research presents an evaluation of distribution and condition of coral reef in Bengkayang Regency. The methodology used is a combination of remote sensing technology, Landsat TM image processing, and manta tow method. The processing of image of Landsat Thematic Mapper (TM) divided into three main stages. The first stage is pre-classification which consists of image restoration, cropping, image enhancement, training area taking and image analysis (using algorithm Lyzenga). While the second stage is hybrid classification and the final stage that is post classification, the result of hybrid classification was compared with field data from manta tow to know the accuracy of classification, with the overall accuracy is 85.19%.

According to statistical calculation on classification result, Lemukutan island has living coral of 138.78 ha, dead coral of 23.40 ha, sea grass of 32.67 ha and sand of 71.55 ha; while Randayan island has living coral 4.50 ha, dead coral of 3.69 ha, sea grass of 0.63 ha and sand of 4.77 ha; Penata and Kabung islands have 33.57 and 20.25 ha of living coral, 15.39 and 9 ha of dead coral, 11.07 and 5.85 ha of sea grass and 21.96 and 7.47 ha of sand. Meanwhile, the result of field survey using manta tow, the condition of coral reef in Lemukutan Island is in a good condition while that in Randayan Island, the east part is bad.

**Key words:** coral reef, remote sensing technology, image of Landsat TM, method of manta tow

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada Penulis sehingga tesis ini dapat selesai tepat pada waktunya. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada bidang keahlian Teknik dan Manajemen Pantai di Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini. Terutama kepada :

1. Ke dua orang tua, Bapak Alm. H. Saliyono Heru Soemono, BA.dan Ibu Hj. Komariyah yang telah memberi dukungan dan doanya.
2. Istriku tercinta Maisarah, A.Pi. dan anak – anakku tersayang Alm. Khairuli Mizan, Khairunnisa, Khairul Amri dan Khairul Khalif yang penuh pengertian dan telah sabar menunggu selesainya studi ini.
3. Bapak Dr. Ing Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc. dan Ir. Arief Suroso, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang penuh dedikasi untuk membimbing selama penulisan tesis ini.
4. Bapak Dr. Ir. A. Masroeri, M.Sc. selaku koordinator Program Studi Pascasarjana Fakultas Teknologi Kelautan dan Bapak Ir. Mukhtasor, M. Eng., Ph.D. selaku koordinator Program International / Sandwich Master Degree in Marine and Coastal

Resources Management yang selalu memberi dorongan dan kemudahan selama kuliah dan penyusunan tesis ini.

5. Ibu Lubna Algadrie, Dra.,Dipl., TEFL, MA selaku Kepala Unit Pelaksana Teknis Bahasa ITS Surabaya dan Ibu Dra. Nurul Hikmah selaku staf pengajar di UPT Bahasa yang telah dengan sabar membimbing pelajaran bahasa Inggris terutama untuk persiapan kuliah di Newcastle upon Tyne University–United Kingdom.
6. Seluruh staf pengajar Teknik dan Manajemen Pantai dan pegawai di Program Studi Pascasarjana Fakultas Teknik dan Manajemen Pantai.
7. Bapak Kepala Dinas Kelautan dan Perikanan Propinsi Kalimantan Barat yang telah memberi dukungan untuk menyelesaikan studi ini.
8. Saudara – saudaraku Mas Kris Yanto, S.Pd., Mas Kris Setyawan, Mas Kris Hendratno, S.Pi. dan Adikku Kris Diantoro, SE., yang telah banyak membantu, memberi dukungan dan doanya kepada penulis.

Penulis juga menyadari keterbatasan yang ada, sehingga mohon dimaafkan jika ada kekurangan terhadap hasil penelitian ini. Semoga dengan adanya tesis ini dapat berguna bagi Penulis dan para pembaca yang berkesempatan untuk membacanya.

Surabaya, 24 Juli 2006

Penulis,

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	I - 1
1.1. Latar Belakang .....	I - 1
1.2. Perumusan Masalah .....	I - 5
1.3. Tujuan Penelitian .....	I - 6
1.4. Batasan Masalah .....	I - 6
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	II- 1
2.1. Terumbu Karang .....	II- 1
2.1.1. Struktur Karang .....	II- 4
2.1.2. Reproduksi Hewan Karang .....	II- 6
2.1.3. Tipe, asal dan distribusi geografis terumbu karang .....	II- 7
2.1.4. Faktor – Faktor Pembatas Perkembangan Terumbu Karang .....	II- 7
2.2. Sistem Penginderaan Jauh .....	II- 8
2.3. Landsat TM .....	II-12
<b>BAB III. METODOLOGI</b> .....	III-1
3.1. Waktu dan Lokasi .....	III-1
3.2. Metode Pengolahan Data .....	III-2

3.2.1. Pre - Klasifikasi .....	III-2
3.2.2. Klasifikasi .....	III-6
3.2.3. Post Klasifikasi .....	III-8
3.3. Metode Survei : Manta Tow .....	III-9
3.4. Peralatan Survei .....	III-15
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>IV- 1</b>
4.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian .....	IV- 1
4.2. Hasil dan Pembahasan Pengolahan Citra.....	IV- 7
4.2.1. Pemotongan citra .....	IV- 7
4.2.2. Penajaman citra .....	IV- 8
4.2.3. Training area .....	IV-11
4.2.4. Transformasi Lyzenga .....	IV-13
4.2.5. Klasifikasi .....	IV-14
4.2.6. Post Klasifikasi .....	IV-17
4.3. Hasil dan Pembahasan Data Lapangan .....	IV-18
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>V- 1</b>
5.1. Kesimpulan .....	V- 1
5.2. Saran .....	V- 2
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>VI-1</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Perkiraan Ancaman Untuk Asia Tenggara Berdasarkan Jenis Ancaman .....	1 - 2
Gambar 1.2. Perkiraan Ancaman Berdasarkan Luasan Terumbu Karang Di Setiap Negara (Kilometer Persegi) .....	1 - 3
Gambar 2.1. Tipe Terumbu Karang .....	II- 8
Gambar 3.1. Rencana Lokasi Penelitian .....	III-1
Gambar 3.2. Diagram Alir Tahapan Penelitian .....	III-7
Gambar 3.3. Diagram Alir Pengolahan Citra dengan Algoritma Lyzenga .....	III-8
Gambar 3.4. Cara melakukan survei dengan metoda Manta Tow .....	III-9
Gambar 3.5. Papan Manta dan Pemasangannya .....	III-10
Gambar 3.6. Persentase tutupan karang .....	III-12
Gambar 3.7. Kategori dan persentase tutupan karang untuk menilai berapa persentase karang hidup, karang mati, karang lunak, pasir dan kerikil .....	III-12
Gambar 3.8. Cara menentukan kategori kecerahan air laut pada pengamatan dengan manta tow .....	III-14
Gambar 4.1. Nama – nama pulau di Kabupaten Bengkayang .....	IV- 4
Gambar 4.2. Citra Landsat – 7 ETM 2002 path 122 row 59 .....	IV- 7
Gambar 4.3. Citra Landsat hasil cropping tahun 2002 .....	IV- 8
Gambar 4.4. Hasil Color Composite di P. Lemukutan .....	IV- 9
Gambar 4.5. Hasil Color Composite di P. Randayan .....	IV- 9



Gambar 4.6. Hasil Color Composite di P. Penata .....	IV-10
Gambar 4.7. Hasil Color Composite di P. Kabung .....	IV-10
Gambar 4.8. Pembuatan training area pada citra .....	IV-12
Gambar 4.9. Hasil transformasi Lyzenga P. Lemukutan & P. Kabung ..	IV-13
Gambar 4.10. Hasil transformasi Lyzenga P. Randayan & P. Penata ..	IV-14
Gambar 4.11. Hasil reclass P. Lemukutan dan P. Kabung .....	IV-16
Gambar 4.12. Hasil reclass P. Randayan dan P. Penata .....	IV-16
Gambar 4.13. Grafik perbandingan luas tutupan lahan .....	IV-18
Gambar 4.14. Persentase tutupan karang di P. Lemukutan .....	IV-21
Gambar 4.15. Persentase tutupan karang di P. Randayan.....	IV-22

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Ancaman terhadap terumbu karang dan akibatnya .....	II-3
Tabel 2.2. Data Teknis Beberapa Citra Penginderaan Jauh Dengan sistim Pasif (matahari sebagai sumber energi) .....	II-11
Tabel 2.3. Resolusi spasial tiap jenis – jenis satelit .....	II-11
Tabel 2.4. Karakteristik sensor <i>Thematic Mapper</i> .....	II-12
Tabel 2.5. IFOV pada masing – masing kanal .....	II-15
Tabel 2.6. Nama gelombang dan range panjang gelombang .....	II-15
Tabel 2.7. Interaksi gelombang elektromagnetik dengan obyek .....	II-16
Tabel 2.8. Karakteristik level Landsat 7 ETM+ .....	II-17
Tabel 3.1. Contoh Tabel Manta Tow .....	III-13
Tabel 3.2. Contoh tabel data dimana seluruh keterangan dari hasil pengamatan dicatat .....	III-13
Tabel 4.1. Nama dan luas pulau di Kabupaten Bengkayang .....	IV- 3
Tabel 4.2. Hasil perhitungan nilai koefisien $k_i/k_j$ .....	IV-11
Tabel 4.3. Luas area tiap – tiap kelas hasil klasifikasi .....	IV-17
Tabel 4.4. Data dari survey manta tow di P. Lemukutan .....	IV-20
Tabel 4.5. Data dari survey manta tow di P. Lemukutan .....	IV-21

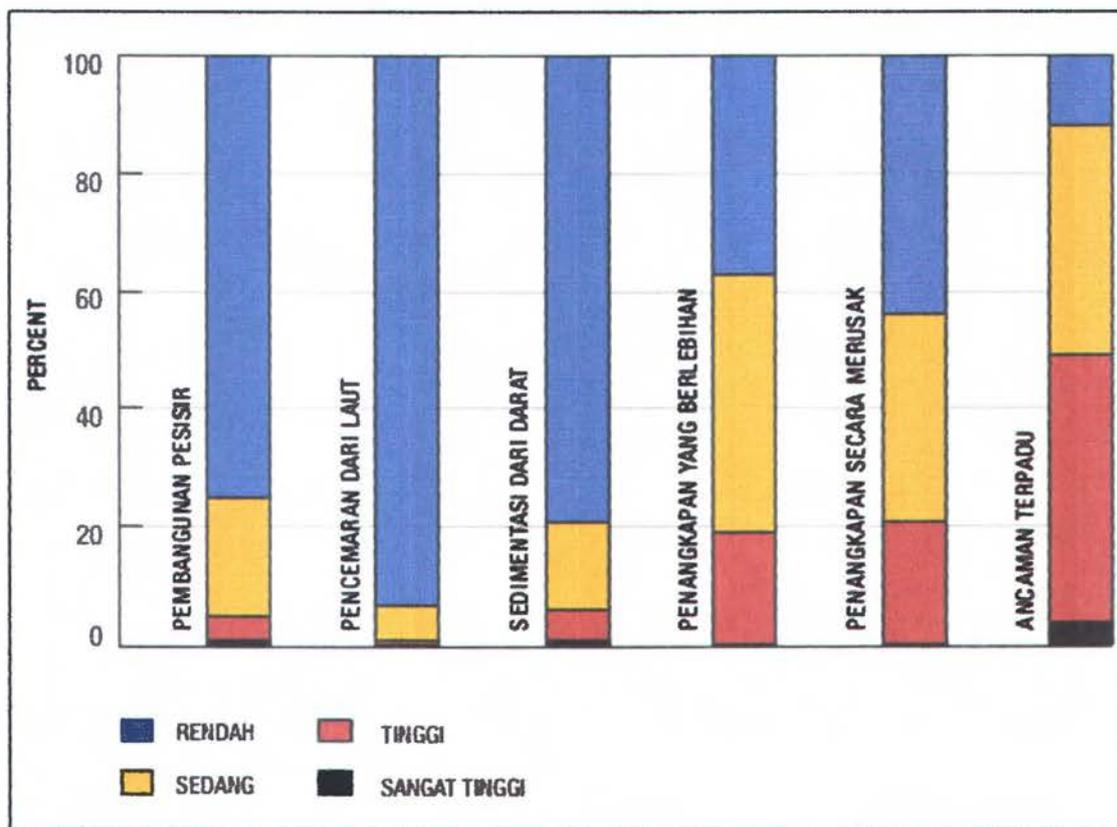
**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

**1.1. Latar Belakang**

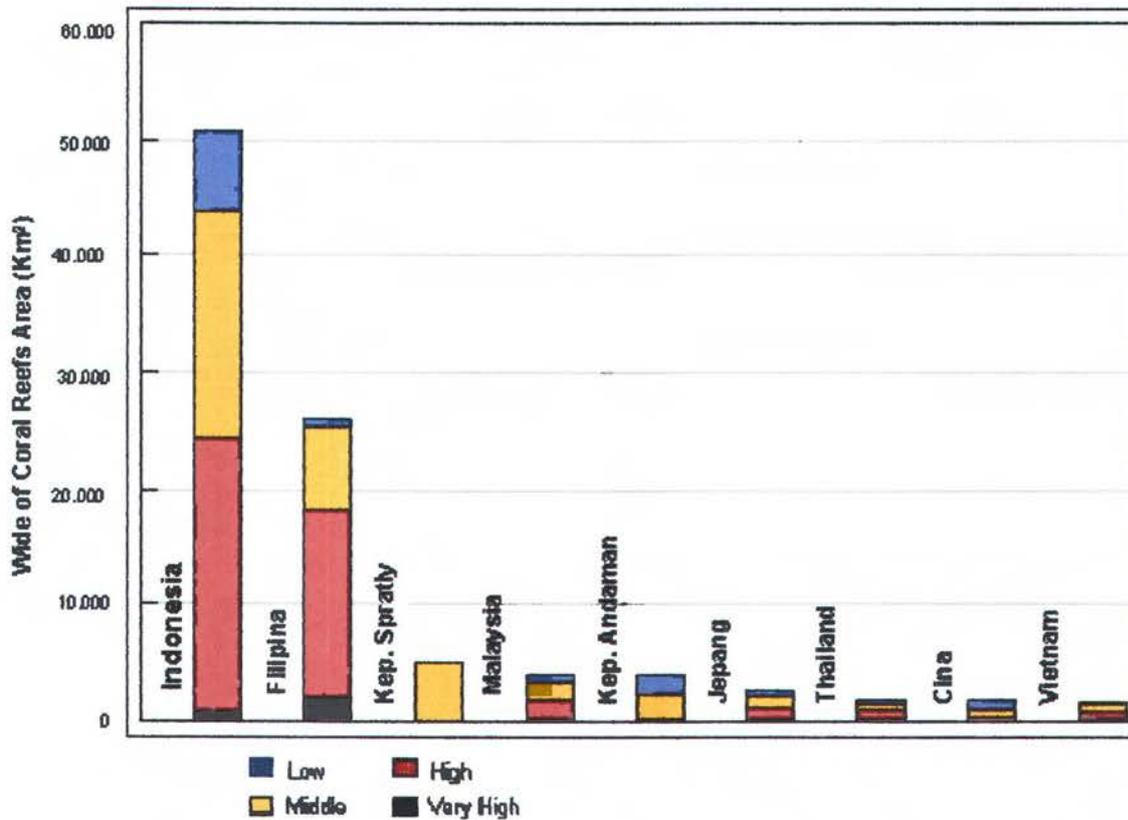
Terumbu karang merupakan ekosistem di wilayah pesisir dengan beragam biota laut dan keindahan yang mempesona, memiliki nilai ekologis dan ekonomis yang tinggi. Selain berperan sebagai pelindung pantai dari hempasan ombak dan arus kuat, terumbu karang juga mempunyai nilai ekologis sebagai habitat, tempat mencari makanan, tempat asuhan dan tumbuh besar, serta tempat pemijahan bagi berbagai biota laut. Nilai ekonomis terumbu karang yang menonjol adalah sebagai tempat penangkapan berbagai jenis biota laut konsumsi dan berbagai jenis ikan hias, bahan baku farmasi, dan sebagai daerah wisata dan rekreasi yang menarik. Dengan melihat nilai ekologis dan ekonomis penting tersebut, ekosistem terumbu karang sebagai ekosistem produktif di wilayah pesisir dan laut sudah selayaknya untuk dipertahankan keberadaan dan kualitasnya.

Secara ekonomi, terumbu karang Indonesia memberi keuntungan ekonomi setiap tahunnya masing-masing sekitar 1,6 milyar dolar AS dan 1,1 milyar dolar AS per tahun (Burke. *dkk.*,2001). Ketergantungan yang tinggi terhadap sumberdaya laut telah menyebabkan eksploitasi besar-besaran dan kerusakan terumbu karang, terutama yang dekat dengan pusat pemukiman penduduk.

Menurut Burke dkk., (2001) aktivitas manusia saat ini diperkirakan mengancam 88% terumbu karang di kawasan Asia Tenggara (Indonesia dan Filipina total memiliki 77% dari seluruh terumbu karang), mengancam nilai biologi dan ekonomi yang amat penting bagi masyarakat. Sekitar 50% dari terumbu karang yang terancam tersebut, berada pada tingkat keterancaman yang tinggi atau sangat tinggi. Hanya 12% di antaranya berada pada tingkat ancaman yang rendah (Gambar 1.1 dan 1.2).



Gambar 1.1. Perkiraan Ancaman Untuk Asia Tenggara Berdasarkan Jenis Ancaman (Burke dkk.,2001)



Gambar 1.2. Perkiraan Ancaman Berdasarkan Luasan Terumbu Karang Di Setiap Negara (Kilometer Persegi) (Burke. dkk.,2001)

Proyek Terumbu Karang yang Terancam memperkirakan sekitar 64% terumbu karang di kawasan Asia Tenggara terancam oleh penangkapan ikan secara berlebihan, dan 56% terancam oleh teknik penangkapan ikan yang merusak. Pengerukan, penimbunan, penambangan pasir dan karang, pendirian bangunan di pesisir, pembuangan limbah serta aktivitas lainnya yang berhubungan dengan pembangunan pesisir mengancam sekitar 25% terumbu karang di dalam kawasan tersebut. Sedangkan sedimen dan pencemaran yang berasal dari penebangan hutan dan aktivitas pertanian, mengancam sekitar 20%.

Meskipun telah diakui secara luas bahwa terumbu karang sudah sangat terancam, informasi mengenai status dan sumber ancaman pada area terumbu karang tertentu, sangatlah terbatas. Minimnya informasi ini menghambat pengambilan keputusan yang efektif menyangkut sumberdaya pesisir. Oleh karena itu merupakan kebutuhan mendesak untuk mengadakan evaluasi sebaran dan kondisi terumbu karang di Kabupaten Bengkayang sebagai salah satu daerah yang memiliki sumberdaya terumbu karang di Propinsi Kalimantan Barat.

Berdasarkan hasil identifikasi pulau-pulau kecil menyatakan bahwa Kabupaten Bengkayang memiliki 12 pulau (5 pulau berpenghuni dan 7 tidak berpenghuni) dengan luas 21.441 Ha (Dinas Kelautan dan Perikanan Propinsi Kalimantan Barat, 2004) yang letaknya tidak terlalu jauh (maksimum 42 km tegak lurus) dari daratan, sehingga keadaan perairan di sekitar pulau sangat dipengaruhi oleh keadaan daratan. Di antara pulau-pulau terdapat gugusan terumbu karang yang sangat banyak.

Namun disayangkan sampai saat ini belum ada data yang akurat tentang luas sebaran dan kondisi dari terumbu karang yang berada di Kabupaten Bengkayang. Sehingga potensi ataupun tingkat kerusakan dari sumberdaya terumbu karang tersebut masih belum diketahui.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, teknologi penginderaan jauh merupakan salah satu teknologi yang sangat potensial untuk mengobservasi ekosistem laut, baik untuk mengidentifikasi maupun untuk menganalisa kerusakan sumberdaya laut, termasuk terumbu karang. Salah satu keuntungannya jika melakukan evaluasi menggunakan

teknologi penginderaan jauh adalah akan lebih banyak menghemat waktu dan biaya untuk mengevaluasi pada daerah yang sangat luas dan terpencil.

Agar hasil dari evaluasi lebih akurat maka diperlukan pula survei lapangan untuk membuktikan keakuratan dari interpretasi citra digital yang telah diolah, yaitu dengan menggunakan metode *manta tow*. Penelitian dengan menggunakan metoda *manta tow* sangat mudah pada daerah terumbu karang yang luas dan membutuhkan waktu yang sangat cepat dengan hasil pengamatan yang cukup akurat serta dapat memberikan gambaran secara tepat untuk daerah terumbu karang yang masih baik dan daerah terumbu karang yang telah rusak (English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ; Sukmara et al. 2001). Teknik ini juga sering digunakan untuk mendapatkan daerah yang mewakili untuk di survei lebih lanjut dan lebih teliti dengan metoda transek garis (Johan, 2003).

Dengan adanya penelitian ini diharapkan sebagai dasar bahan informasi dan masukan bagi pemerintah daerah Kabupaten Bengkayang untuk membuat suatu perencanaan atau kebijakan berupa peraturan dalam rangka melindungi, mengoptimalkan pemanfaatan dan pengelolaan sumberdaya terumbu karang yang terpadu dan berkelanjutan.

### 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang dibahas dari penelitian ini adalah :

1. Berapa luas (sebaran) terumbu karang di Kabupaten Bengkayang berdasarkan teknologi penginderaan jauh ?



2. Bagaimanakah kondisi terumbu karang yang ada di Kabupaten Bengkayang ?

### 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk memetakan luas (sebaran) ekosistem terumbu karang di Kabupaten Bengkayang berdasarkan hasil pengolahan citra Landsat.
2. Untuk mengevaluasi kondisi terumbu karang yang ada di Kabupaten Bengkayang, baik yang rusak atau yang masih hidup dengan menggunakan metode *manta tow*.

### 1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah untuk penelitian ini adalah :

1. Evaluasi sebaran dan kondisi terumbu karang berdasarkan analisa data Citra Landsat – 7 ETM tahun 2002 *path 122 row 59*.
2. Metoda klasifikasi yang dipakai adalah klasifikasi hibrida (*hybrid classification technique*).
3. Survei lapangan yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode *manta tow* pada pulau Lemukutan dan pulau Randayan Kabupaten Bengkayang.

**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1. Terumbu Karang**

Terumbu karang sangat bermanfaat bagi manusia sebagai tempat tempat menangkap ikan, pelindung pantai secara alami dan tempat keanekaragaman hayati. Menurut Sukmara, *dkk.*,2001 fungsi dari terumbu karang adalah sebagai berikut :

- Fungsi pariwisata ; keindahan karang, kekayaan biologi dan kejemihan airnya membuat kawasan terumbu karang terkenal sebagai tempat rekreasi. *Skin diving* atau *snorkeling*, *SCUBA* dan fotografi adalah kegiatan yang umumnya terdapat di kawasan ini.
- Fungsi perikanan; sebagai tempat hidup ikan-ikan karang yang memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi. Jumlah panen ikan, kerang dan kepiting dari terumbu karang secara lestari di seluruh dunia dapat mencapai 9 juta ton atau sedikitnya 12 % dari jumlah tangkapan perikanan dunia. Rata-rata hasil tangkapan ikan di daerah terumbu karang di Filipina adalah 15,6 ton/km<sup>2</sup>/tahun. Namun jumlah ini sangat bervariasi mulai dari 3 ton/km<sup>2</sup>/tahun sampai dengan 37 ton/km<sup>2</sup>/tahun (White dan Cruz-Trinidad, 1998 dalam Sukmara, *dkk.*, 2001). Perkiraan produksi perikanan tergantung pada kondisi terumbu karang. Terumbu karang dalam kondisi yang sangat baik mampu menghasilkan sekitar 18 ton/km<sup>2</sup> /tahun, terumbu karang dalam kondisi baik mampu menghasilkan 13 ton/km<sup>2</sup>/tahun, dan terumbu karang dalam kondisi yang cukup baik mampu menghasilkan 8 ton/km<sup>2</sup>/tahun (McAllister, 1998 dalam Sukmara, *dkk.*, 2001).

- Fungsi perlindungan pantai; terumbu karang tepi dan penghalang adalah pemecah gelombang alami yang melindungi pantai dari erosi, banjir pantai, dan peristiwa perusakan lainnya yang diakibatkan oleh fenomena air laut. Terumbu karang juga memberikan kontribusi untuk akresi (penumpukan) pantai dengan memberikan pasir untuk pantai dan memberikan perlindungan terhadap desa-desa dan infrastruktur seperti jalan dan bangunan-bangunan lainnya yang berada di sepanjang pantai. Apabila dirusak, maka diperlukan milyaran rupiah untuk membuat penghalang buatan yang setara dengan terumbu karang ini.
- Fungsi biodiversity ; ekosistem ini mempunyai produktivitas dan keanekaragaman jenis biota yang tinggi. Keanekaragaman hidup di ekosistem terumbu karang per unit area sebanding atau lebih besar dibandingkan dengan hal yang sama di hutan tropis. Terumbu karang ini dikenal sebagai laboratorium untuk ilmu ekologi. Potensi untuk bahan obat-obatan, anti virus, anti kanker dan penggunaan lainnya sangat tinggi.

Saat ini, ekosistem terumbu karang secara terus menerus mendapat tekanan akibat berbagai aktivitas manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung. Beberapa aktivitas manusia yang secara langsung dapat menyebabkan kerusakan terumbu karang diantaranya adalah menangkap ikan dengan menggunakan bom dan racun sianida (potas), pembuangan jangkar, berjalan di atas terumbu, penggunaan alat tangkap *muroami*, penambangan batu karang, penambangan pasir, dan sebagainya. Aktivitas manusia yang secara tidak langsung dapat menyebabkan kerusakan terumbu karang adalah sedimentasi yang disebabkan aliran lumpur dari daratan akibat penggundulan hutan-hutan dan kegiatan pertanian, penggunaan pupuk dan

pestisida yang berlebihan untuk kebutuhan pertanian, sampah plastik, dan lain-lain (Tabel 1). Ancaman terhadap ekosistem terumbu karang juga dapat disebabkan oleh karena adanya faktor alam. Ancaman oleh alam dapat berupa angin topan, badai *tsunami*, gempa bumi, pemangsa oleh CoTs (*crown-of-thorns starfish*) dan pemanasan global yang menyebabkan pemutihan karang.

Tabel 2.1. Ancaman terhadap terumbu karang dan akibatnya

Ancaman	Akibat yang ditimbulkan
<b>Manusia</b>	
Bom	Karang mati, terbongkar dan patah-patah
Racun/Potas	Karang mati dan berubah menjadi putih
Trawl	Karang mati, terbongkar dan patah-patah
Jaring dasar	Karang stress dan patah-patah
Bubu	Karang mati, terbongkar dan patah-patah
Jangkar	Karang hancur, patah dan terbongkar
Berjalan di atas karang	Karang hancur, patah-patah
Penambangan batu karang	Penurunan pondasi terumbu
Kapal di perairan dangkal	Karang patah
Alat pendorong perahu	Karang patah
Cinderamata	Karang-karang yang indah hilang
Polusi	Karang mati dan berubah menjadi putih
<b>Alam</b>	
Sedimentasi oleh lumpur	Karang mati akibat tertutupnya permukaan karang
Bintang laut berduri (COTs)	Kematian karang dalam skala yang luas
Pemutihan karang/Pemanasan	Kematian karang – kehilangan keindahan untuk global snorkeling dan menyelam
Tsunami/Topan/Gunung api	Kerusakan fisik karang dan atau struktur terumbu bawah laut

Sumber : Sukmara dkk. (2001)

Berdasarkan laporan hasil penelitian Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, bahwa terumbu karang di Indonesia hanya 7 % yang berada dalam kondisi sangat baik, 24 % berada dalam kondisi baik, 29 % dalam kondisi

sedang dan 40 % dalam kondisi buruk (Suharsono, 1998). Diperkirakan terumbu karang akan berkurang sekitar 70 % dalam waktu 40 tahun jika pengelolaannya tidak segera dilakukan.

### 2.1.1. Struktur Karang

Sejak beberapa abad yang lalu dan bahkan sampai sekarang, karang dianggap batu atau tumbuhan walaupun sesungguhnya mereka adalah hewan. Dalam bentuk yang paling sederhana, karang hanya bisa terdiri dari sebuah polip yang mempunyai bentuk seperti tabung dengan mulut di bagian atas yang dikelilingi oleh tentakel. Pada beberapa jenis karang, individu polip ini mempunyai bentuk banyak, kembar identik yang tersusun rapat membentuk formasi yang disebut koloni.

Walaupun semua spesies karang dapat menggunakan sengatan tentakel untuk menangkap mangsanya, kebanyakan proporsi terbesar makanan karang tropis berasal dari simbiosis yang unik. Di dalam jaringan karang, hidup ribuan alga mikroskopik yang disebut zooxanthellae, yang menghasilkan energi langsung dari cahaya matahari melalui fotosintesis. Karang dapat memperoleh banyak energi dan kebutuhan oksigen langsung dari zooxanthellae. Sebaliknya, alga memperoleh tempat berlindung dari pemangsa dan memakai karbon dioksida yang dihasilkan karang dari proses metabolismenya. Asosiasi yang erat ini sangat efisien, sehingga karang dapat bertahan hidup bahkan di perairan yang miskin zat hara. Keberhasilan hubungan ini dapat dilihat dari besarnya keragaman dan usia karang yang sudah sangat tua, yang berevolusi pertama kali lebih dari 200 juta tahun yang lalu (Burke dkk., 2001).

Menurut Bengen, D. (2004) menyatakan bahwa pada dasarnya terumbu terbentuk dari endapan – endapan massif kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), yang dihasilkan oleh organisme karang pembentuk terumbu (karang hermatipik) dari filum Cnidaria, ordo Scleractinia yang hidup bersimbiosis dengan zooxantellae, dan sedikit tambahan dari algae berkapur serta organisme lain yang menyereksi kalsium karbonat.

Banyak karang mempunyai beberapa bentuk rangka untuk menyokong badan mereka yang sederhana. Karang lunak dan karang kipas mempunyai rangka yang terbuat dari protein. Kini, hampir 800 jenis karang yang tergolong kelompok scleractinia telah dideskripsikan. Beberapa terumbu karang terdiri dari kumpulan kecil karang-karang dan jenis-jenis biota lain yang berasosiasi dengannya, sedangkan yang lain dapat berupa struktur raksasa dengan lebar berkilo-kilo meter (Burke dkk., 2001).

Karang pembentuk terumbu (karang hermatipik) hidup berkoloni, dan tiap individu karang yang disebut polip menempati mangkuk kecil yang dinamakan koralit. Tiap mangkuk koralit mempunyai beberapa septa yang tajam dan berbentuk daun yang tumbuh keluar dari dasar koralit, dimana septa ini merupakan dasar penentuan spesies karang. Tiap polip adalah hewan berkulit ganda, dimana kulit luar yang dinamakan epidermis dipisahkan oleh lapisan jaringan mati (mesoglea) dari kulit yang disebut gastrodermis. Dalam gastrodermis terdapat tumbuhan renik bersel tunggal yang dinamakan zooxantellae yang hidup bersimbiosis dengan polip. Zooxantellae dapat menghasilkan bahan organik melalui proses fotosintesis, yang kemudian disekresikan sebagian ke dalam usus polip sebagai pangan.

Walaupun karang dapat mendominasi zona terumbu karang tertentu, lamun dan organisme lainnya juga merupakan komponen yang penting dalam struktur terumbu karang. Gangguan badai, penambahan unsur hara, dan peningkatan sedimentasi dapat menyebabkan zona dominasi karang yang alami berubah menjadi alga. Jika alga mengganti bekas zona karang, hal ini merupakan tanda bahwa terumbu karang tersebut tidak sehat. Terumbu karang yang sehat merupakan tempat yang paling beragam dari semua ekosistem laut yang telah dikenal, dengan susunan bentuk kehidupan yang lebih besar dibandingkan dengan ekosistem lainnya di bumi (Burke dkk., 2001).

### 2.1.2. Reproduksi Hewan Karang

Karang berbiak secara seksual maupun aseksual. Pembiakan secara seksual terjadi melalui penyatuan gamet jantan dan betina untuk membentuk larva bersilia yang disebut planula. Planula akan menyebar kemudian menempel pada substrat yang keras dan tumbuh menjadi polip. Kemudian polip tersebut akan melakukan pembiakan aseksual. Pembiakan aseksual dilakukan dengan cara fragmentasi, sehingga terbentuk polip – polip baru yang saling menempel sampai terbentuk koloni yang besar, dengan bentuk yang beragam sesuai jenisnya (Bengen, 2004).

### 2.1.3. Tipe, asal dan distribusi geografis terumbu karang

Menurut Suharsono (1998) menyatakan bahwa terumbu karang di Indonesia dilihat dari struktur geomorfologinya dan proses pembentukannya dapat dibedakan menjadi 4 tipe : (1) terumbu karang tepi (*fringing reef*), (2)

terumbu karang penghalang (*barrier reef*) (3) terumbu karang cincin atau atol dan (4) terumbu karang takat (*patch reef* atau *platform reef*). Terumbu karang tepi dan penghalang berkembang sepanjang pantai, namun perbedaannya adalah bahwa terumbu karang penghalang berkembang lebih jauh dari daratan dan berada di perairan yang lebih dalam dibandingkan dengan terumbu karang tepi. Terumbu karang cincin atau atol merupakan terumbu karang yang muncul dari perairan dalam dan jauh dari daratan (Bengen,2004).

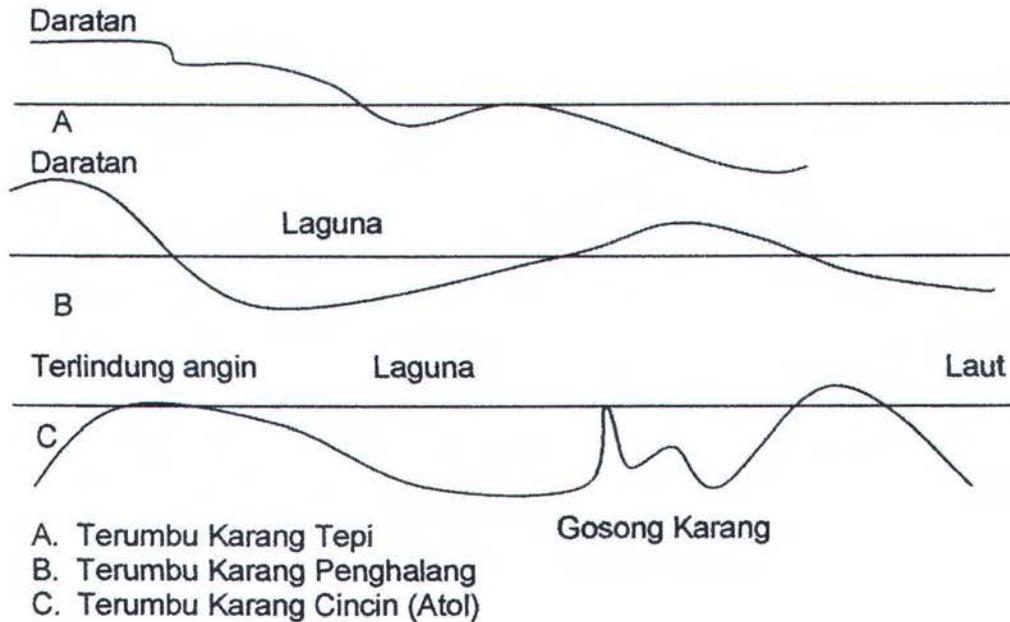
#### 2.1.4. Faktor – Faktor Pembatas Perkembangan Terumbu Karang

Perkembangan terumbu karang dipengaruhi oleh beberapa faktor fisik lingkungan yang dapat menjadi pembatas bagi karang untuk membentuk terumbu. Adapun faktor – faktor fisik lingkungan yang berperan dalam perkembangan terumbu karang menurut Bengen (2004) adalah sebagai berikut :

1. Suhu air  $> 18^{\circ} \text{C}$ , tapi bagi perkembangan yang optimal diperlukan suhu rata – rata tahunan berkisar antara  $23 - 25^{\circ} \text{C}$ , dengan suhu maksimal yang masih dapat ditolerir berkisar antara  $36 - 40^{\circ} \text{C}$ .
2. Kedalaman perairan  $< 50 \text{ m}$ , dengan kedalaman bagi perkembangan optimal pada  $25 \text{ m}$  atau kurang.
3. Salinitas air yang konstan berkisar antara  $30 - 36\text{‰}$ .
4. Perairan yang cerah, bergelombang besar dan bebas dari sedimen.

Pecahan ombak yang besar pada sisi yang terbuka (*windward*) suatu atol menciptakan perkembangan pematang algae dan rataan terumbu. Pada daerah ini perkembangan karangnya minimal. Sebaliknya pada sisi terlindung

(leeward), perkembangan pematang algae berkurang dan perkembangan kurang dominan.



Gambar 2.1. Tipe Terumbu Karang

## 2.2. Sistem Penginderaan Jauh

Lillesand dan Kiefer, 1994 menyatakan bahwa penginderaan jauh didefinisikan sebagai ilmu atau seni untuk memperoleh informasi tentang suatu obyek, daerah atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan menggunakan suatu alat tanpa kontak secara langsung terhadap obyek, daerah atau fenomena yang dikaji.

Menurut Purwadhi (2001) bahwa analisis data penginderaan jauh memerlukan data rujukan seperti peta tematik, data statistik, dan data lapangan. Hasil analisis yang diperoleh berupa informasi mengenai kondisi lokasi dan kondisi sumberdaya yang diindera. Informasi tersebut bagi para pengguna dapat dimanfaatkan untuk membantu dalam proses pengambilan

keputusan dalam mengembangkan daerah tersebut. Keseluruhan proses mulai dari pengambilan data, analisis data hingga penggunaan data disebut Sistem Penginderaan Jauh.

Konsep dasar penginderaan jauh terdiri atas beberapa elemen atau komponen yang meliputi sumber tenaga, atmosfer, interaksi tenaga dengan objek di permukaan bumi, sensor, system pengolahan data, dan berbagai penggunaan data.

Adapun dasar perekaman dari sistem penginderaan jauh adalah :

- ❖ Sistem perekaman Inderaja aktif : contohnya sistim perekaman Citra Radar, dengan panjang gelombang X ; L; C; P. Pada sistim ini, energi gelombang elektromagnetik, ditimbulkan dengan membawa generator pada pesawat.
- ❖ Sistim perekaman Inderaja Pasif : contohnya sistim perekaman Foto udara, sistim perekaman Landsat TM, dan sistim perekaman citra SPOT, IKONOS, NOAA dll. Pada sistem ini, sumber energi gelombang elektro magnetik adalah dari matahari.

Setiap sistem penginderaan jauh di atas, masing-masing mempunyai teknik perekaman data yang berbeda – beda. Pada system radar setiap negara/pabrik, menciptakan antena atau bentuk konfigurasi model alatnya tidak selalu sama yang dipakai berbeda-beda bentuknya dan letaknya pada pesawat.

Data geografis mengandung arti data dengan lokasi tertentu. Pada system informasi geografis, data harus dirujuk dengan kejadian yang akan memberikan perbaikan, analisis dan tayangan pada kriteria spasial. Untuk mendapatkan informasi yang diperlukan, dibutuhkan model analisis spasial,

yang mencakup konversi data, klasifikasi data, model matematika dan lain-lain.

Tabel 2.2. Data Teknis Beberapa Citra Penginderaan Jauh  
Dengan sistim Pasif (matahari sebagai sumber energi)

No	Ciri Fisik Data Citra	Landsat MSS	Landsat TM	SPOT
1	Luas daerah liputan (km x km)	185 x 170	185 x 170	60 x 60
2	Ukuran piksel (m)	28,5 x 28,5	79 x 56	10 x 20
3	Total band	4	7	3
4	Format data	Fast (BSQ)	BSQ, Bill	Bill
5	Tinggi orbit (km)	919	705	632
6	Periode ulang perekaman	18	16	26
7	Sudut perekaman	11,56 <sup>o</sup>	7,7 <sup>o</sup>	27 <sup>o</sup>
8	Inclination	99 <sup>o</sup>	98,2 <sup>o</sup>	98,7 <sup>o</sup>

Sumber : Sukmantalya, 2004

Tabel 2.3. Resolusi spasial tiap jenis – jenis satelit

SATELITE	SPATIAL RESOLUTION
LANDSAT-TM	Non Thermal 30 meter X 30 meter
	Thermal 120 meter X 120 meter
SPOT	Multi Spektral 20 meter X 20 meter
	Panchromatic 10 meter X 10 meter
IKONOS	Multi Spektral 4 meter X 4 meter
	Panchromatic 1 meter X 1 meter
QUICK BIRD	Multi Spektral 2.4 meter X 2.4 meter
	Panchromatic 0.6 meter X 0.6 meter
NOAA	Multi Spektral 1.1 km X 1.1 km

Sumber : Sukmantalya, 2004

### 2.3. Landsat - TM

Dari sekian banyak satelit penginderaan jauh, yang sering digunakan untuk melihat penutupan lahan adalah Landsat (Land Satellite). Seri Landsat yang dikenal pertama kali adalah *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS). Penggunaan nama Land Satellite yang kemudian disingkat menjadi Landsat ini dimulai sejak satelit ini digunakan untuk mempelajari lautan dan daerah pesisir (Purwadi, 2001). Seri satelit ini terdiri dari dua generasi yaitu generasi pertama yang terdiri dari Landsat 1, Landsat 2 dan Landsat 3; dan generasi kedua yang terdiri dari Landsat 4 dan Landsat 5.

Salah satu sensor dari Landsat adalah *Thematic Mapper* (TM). Karakteristik Landsat - TM dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Karakteristik sensor *Thematic Mapper* (TM) (Purwadi, 2001)

Panjang gelombang	Kanal 1 : 0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$ (Biru) Kanal 2 : 0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$ (Hijau) Kanal 3 : 0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$ (Merah) Kanal 4 : 0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$ (IR dekat) Kanal 5 : 1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$ (IR menengah) Kanal 6 : 10.4 - 12.5 $\mu\text{m}$ (IR thermal jauh) Kanal 7 : 2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$ (IR menengah)
IFOV	0.043 mrad (kecuali kanal 6 : 0.170 mrad)
Lebar sapuan	185 km
Resolusi spasial	30 m x 30 m (kecuali kanal 6 : 120 m x 120 m)

Sensor ETM merupakan pengembangan dari sensor TM dengan menambahkan kanal pankromatik (0.50 - 0.90)  $\mu\text{m}$ , yang didesain mempunyai resolusi spasial 15 x 15 meter. Sensor ETM juga didesain dapat merekam citra multispektral dengan enam kanal seperti pada sensor TM, yaitu menggunakan panjang gelombang tampak (visible), inframerah dekat,

inframerah pendek dengan resolusi 30 meter, sedangkan satu kanal termal dengan resolusi diperbaiki menjadi 60 meter (Purwadhi, 2001).

Dari segi resolusi radiometrik citra landsat TM lebih baik dari citra landsat MSS. Perbaikan ketelitian radiometrik dari skala nilai digital dari 6 bit menjadi 8 bit atau memperbesar range nilai digital dari 64 (0-63) menjadi 256 (0-255). Resolusi spasial TM non termal adalah 30 meter. Namun dalam geometrik yang menggunakan proyeksi SOM (*Space Oblique Mercator*) ukuran pixel TM adalah 28.5 x 28.5 meter. Sedangkan data nontermal mempunyai resolusi 120 meter (Purwadhi, 2001).

Berdasarkan hasil penelitian Kuchler *et al.*, (1986) yang dikemukakan oleh Rauf (2000) menyatakan bahwa perkiraan penetrasi untuk kanal 0,5 – 0,6  $\mu\text{m}$  ke dalam tubuh air sekitar 10 m, 3 m untuk kanal 0,6 – 0,7  $\mu\text{m}$ , 1 meter untuk kanal 0,7 – 0,8  $\mu\text{m}$  dan hanya 10 cm untuk kanal 0,8 – 1,1  $\mu\text{m}$ . Penelitian lain dengan menggunakan citra Landsat MSS (*Multi Spectral Scanner*) di Bahama dan Great Barrier Reef Australia dapat diketahui bahwa dengan menggunakan kanal 4, dengan mudah dapat melihat distribusi terumbu karang sedangkan dengan kanal 5 dapat digunakan untuk mengevaluasi terumbu hingga kedalaman 10 m (Siswandono, 1988). Sementara penggunaan kanal 6 dan kanal 7 cocok untuk delineasi pulau pasir terumbu (sand cay), goba (lagoon) dan ratahan terumbu (reef flat).

Menurut Lillesand dan Kiefer (1990) menyatakan bahwa kanal pada sensor TM memiliki fungsi sebagai berikut :

- ⇒ Kanal 1 dirancang untuk pemetaan perairan daerah pesisir, penetrasi ke dalam tubuh air dan untuk mendukung analisis sifat khas penggunaan lahan, tanah dan vegetasi.

- ⇒ Kanal 2 terutama dirancang untuk mengindera puncak pantulan vegetasi pada spektrum hijau yang terletak antara dua kanal spektral serapan klorofil. Respon pada kanal ini dimaksudkan untuk menekankan perbedaan vegetasi dan penilaian kesuburan.
- ⇒ Kanal 3 merupakan kanal terpenting untuk memisahkan vegetasi. Kanal ini berada dalam salah satu bagian serapan klorofil dan memperkuat kontras kenampakan antara vegetasi serta menajamkan kontras antara kelas vegetasi (membedakan antara lahan terbuka dengan lahan bervegetasi).
- ⇒ Kanal 4 dipilih karena respon yang tinggi terhadap sejumlah biomassa vegetasi yang terdapat pada daerah yang dikaji. Hal ini akan membantu identifikasi tanaman dan memperkuat kontras antara tanaman-tanah dan lahan-air.
- ⇒ Kanal 5 adalah kanal yang digunakan dalam penentuan jenis tanaman, kandungan air pada tanaman dan kondisi kelembaban tanah.
- ⇒ Kanal 6 digunakan untuk pemisahan formasi batuan.
- ⇒ Kanal 7 merupakan saluran infra merah panas dan bermanfaat dalam klasifikasi vegetasi, analisis gangguan vegetasi, pemisahan kelembaban tanah dan gejala-gejala lain yang berhubungan dengan panas.

Menurut Manurung dkk. (2005) menyatakan bahwa citra Landsat memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut :

### Karakteristik spasial Citra Landsat 7 ETM+

Karakteristik spasial ditandai dengan resolusi spasial yang digunakan sensor untuk mendeteksi obyek. Resolusi spasial adalah daya pilah sensor yang

diperlukan untuk bisa membedakan obyek-obyek yang ada dipermukaan bumi. Istilah lain yang umum digunakan untuk resolusi spasial adalah medan pandang sesaat (*Instantaneous Field of View IFOV*).

Tabel 2.5. IFOV pada masing-masing kanal

No. Kanal	IFOV
1 – 5,7	30 m X 30 m
6	60 m
8	15 m

Karakteristik spektral

Karakteristik spektral terkait dengan panjang gelombang yang digunakan untuk mendeteksi obyek-obyek yang ada di permukaan bumi. Semakin sempit julat (range) panjang gelombang yang digunakan maka semakin tinggi kemampuan sensor itu dalam membedakan obyek.

Tabel 2.6. Nama gelombang dan range panjang gelombang pada masing-masing kanal

No. Kanal	Nama gelombang	Range panjang gelombang ( $\mu\text{m}$ )
1	Biru	0.45 – 0.52
2	Hijau	0.53 – 0.61
3	Merah	0.63 – 0.69
4	Infra merah dekat	0.78 – 0.90
5	Infra merah gelombang pendek	1.55 – 1.75
6	Infra merah tengah	10.4 – 12.5
7	Infra merah gelombang pendek	2.09 – 2.35
8	Pankromatik	0.52 – 0.9

Karakteristik Temporal

Landsat 7 merupakan satelit dengan orbit yang selaras matahari (*sun synchronous*), dan melintas di equator pada waktu lokal pukul 10:00 pagi. Landsat TM memiliki kemampuan meliputi *scenes* yang sama (*revisit opportunity*) setiap 16 hari.

Interaksi gelombang elektromagnetik dengan obyek

Ketika energi matahari mengenai obyek maka terdapat 5 kemungkinan interaksi yang terjadi yaitu:

Tabel 2.7. Interaksi gelombang elektromagnetik dengan obyek

Interaksi	Keterangan
Transmisi	Energi tersebut akan ditransmisikan (diteruskan) oleh obyek tersebut.
Absorpsi	Energi akan diserap oleh obyek tersebut
Refleksi	Energi akan dipantulkan sempurna dengan sudut datang energi tersebut sama dengan sudut pantulnya oleh obyek. Panjang gelombang yang dipantulkan oleh obyek (bukan yang diserap) akan mengindikasikan warna dari obyek tersebut.
Hamburan	Energi akan dihamburkan secara acak ke segala arah oleh obyek tersebut. Hamburan Rayleigh dan hamburan Mie merupakan tipe hamburan yang paling sering terjadi di atmosfer.
Emisi	Gelombang yang telah diserap akan dipancarkan lagi, biasanya pada panjang gelombang yang lebih panjang.

Sistem pada Landsat 7 dirancang untuk mengumpulkan energi pantulan yang dilakukan oleh kanal 1 – 5, 7,8 (7 kanal) dan energi pancaran yang dilakukan oleh kanal 6 (1 kanal). Sensor Landsat akan mengkonversi energi pantulan matahari yang diterimanya menjadi satuan radiansi. Radiansi adalah flux energi per satu satuan sudut ruang yang meninggalkan satu satuan area permukaan, pada arah tertentu. Radiansi ini terkait erat dengan kecerahan pada arah tertentu terhadap sensor. Radiansi adalah sesuatu yang diukur oleh sensor dan agak terkait dengan pantulan. Nilai radiansi kemudian dikuantifikasi menjadi nilai kecerahan (*brightness value*) citra yang tersimpan dalam format digital.

Karakteristik Produk

Produk keluaran satelit Landsat 7 dibagi menjadi 3 level produk yaitu:

Tabel 2.8. Karakteristik level Landsat 7 ETM +

Level	Karakteristik
0R	Level ini dapat dikatakan sebagai data mentahnya Landsat 7, dimana dalam data Landsat belum mengalami koreksi radiometrik dan geometrik.
1R	Produk pada level ini adalah level 0 – R yang telah mengalami koreksi radiometri.
1G	Produk pada level ini adalah level 1-R yang telah mengalami koreksi geometri pada proyeksi tertentu. Terdapat 7 pilihan proyeksi yang bisa digunakan yaitu: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Universal Transverse Mercator</li> <li>- Lambert Conformal Conic</li> <li>- Polyconic</li> <li>- Transverse Mercator</li> <li>- Polar stereografik</li> <li>- Hotine Oblique Mercator A</li> <li>- Space Oblique Mercator</li> </ul>

Klasifikasi Multispektral

Klasifikasi multispektral merupakan suatu algoritma yang dirancang untuk menyajikan informasi tematik dengan cara mengelompokkan fenomena berdasarkan satu kriteria yaitu nilai spektral pada beberapa kanal sekaligus. Tiap obyek cenderung memberikan pola respon spektral yang spesifik. Semakin sempit dan banyak kanal yang digunakan, semakin teliti hasil klasifikasi multispektral tersebut.

Klasifikasi multispektral diawali dengan menentukan nilai pixel representatif tiap obyek secara sampling. Nilai pixel dari tiap sampel tersebut digunakan sebagai masukan dalam proses klasifikasi. Ekstraksi informasi penutup lahan dikerjakan berdasarkan warna pada citra komposit, analisis statistik dan analisis grafis. Analisis statistik digunakan dengan memperhatikan nilai rerata, standar deviasi, varians, dan kovarians, dari setiap kelas sampel yang diambil guna menentukan keterpisahan sampel.

Analisis grafis digunakan untuk melihat sebaran piksel-piksel suatu kelas yang diasumsikan sebagai kelas yang homogen apabila piksel-piksel yang diambil sebagai sampel, bergerombol dalam satu gugus, dengan memperhatikan posisi gugus sampel dalam diagram pencar.

Dalam mengelaskan nilai-nilai spektral citra menggunakan banyak *feature* tersebut, dikenal istilah klasifikasi teracu (*supervised classification*) dan klasifikasi tak teracu (*unsupervised classification*). Istilah klasifikasi teracu digunakan, karena metode ini mengelompokkan nilai pixel berdasarkan informasi penutup lahan aktual di permukaan bumi, sedangkan istilah klasifikasi tak teracu digunakan, karena proses pengkelasannya hanya berdasarkan pada informasi gugus-gugus spektral yang tidak bertumpang susun, pada ambang jarak (*threshold distance*) tertentu, dan kanal-kanal yang digunakan.

### 2.4. ER Mapper

Salah satu software (perangkat lunak) yang digunakan untuk mengolah data citra atau satelit adalah ER Mapper. Adapun keunggulan software ER Mapper menurut Budhiman (2000) adalah dapat digunakan pada sistem operasi (*workstation*) UNIX dan komputer PCs (Personal Computers) dengan sistem operasi Windows 95/98, Windows XP dan Windows NT.

Pengolahan data citra merupakan suatu cara memanipulasi data citra atau mengolah suatu data citra menjadi suatu keluaran (*output*) yang sesuai dengan yang kita harapkan. Tujuan dari pengolahan citra adalah mempertajam data geografis dalam bentuk digital menjadi suatu tampilan

yang lebih berarti bagi pengguna dan dapat memberikan informasi kuantitatif suatu obyek, serta dapat memecahkan masalah (Budhiman, 2001).

Data digital disimpan dalam bentuk barisan kotak kecil dua dimensi yang disebut pixels (*picture elements*). Masing – masing pixel mewakili suatu wilayah yang ada dipermukaan bumi. Struktur ini disebut raster, sehingga data citra sering disebut juga data raster. Data raster tersusun oleh baris dan kolom dan setiap pixel pada data raster memiliki nilai digital (Budhiman, 2001).

Data yang didapat dari satelit umumnya terdiri beberapa bands (*layers*) yang mencakup wilayah yang sama. Masing – masing bands mencatat pantulan obyek dari permukaan bumi pada panjang gelombang yang berbeda. Data ini disebut *multispectral data*. Di dalam pengolahan citra, juga dilakukan penggabungan kombinasi antara beberapa band untuk mengekstraksi informasi dari obyek – obyek yang spesifik seperti indeks vegetasi, parameter kualitas air, terumbu karang dan lain – lain (Budhiman, 2001).

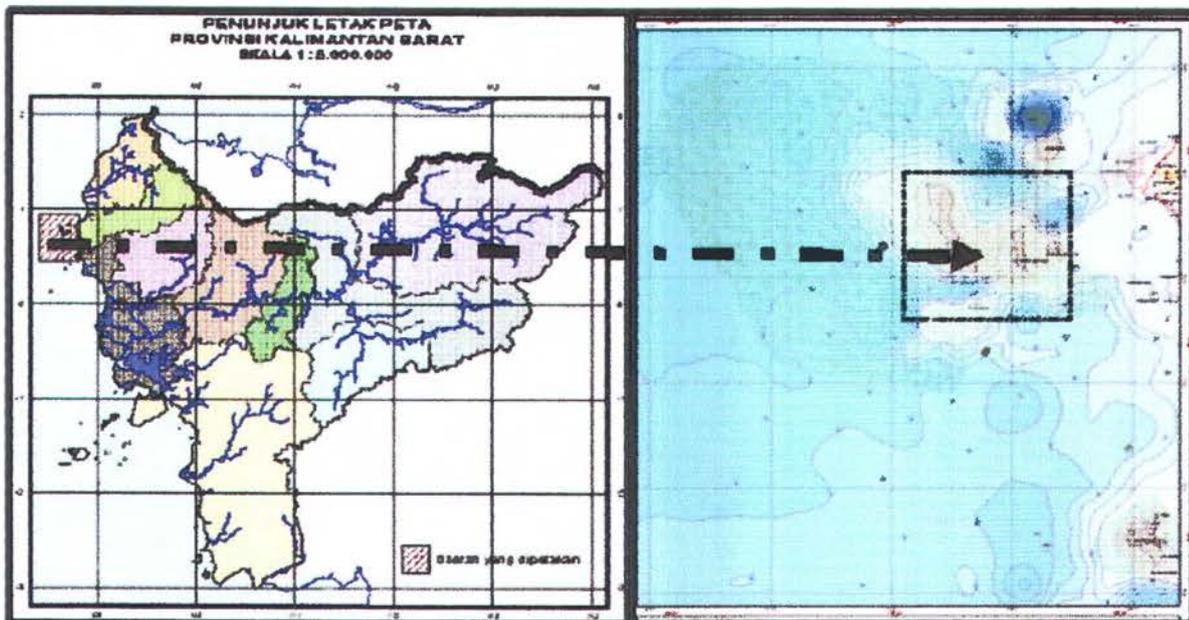
Keunggulan lain ER Mapper adalah kemampuannya untuk menghemat tempat pada hard disk komputer serta metode pengolahan data yang interaktif di mana setiap hasil proses dapat langsung dilihat tampilannya pada monitor. Selain itu pula beberapa kekhususan lainnya adalah ER Mapper didukung dengan 130 format pengimpor data, 230 format pencetakan data keluaran dan visualisasi tiga dimensi (Budhiman, 2001).

### BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1. Waktu dan Lokasi

Lokasi penelitian di Pulau Lemukutan dan sekitarnya – Kabupaten Bengkayang yang terletak di antara  $108^{\circ} 40'$  -  $108^{\circ} 55'$  BT dan  $0^{\circ} 35'$  -  $0^{\circ} 53'$  LU. Pelaksanaan penelitian terbagi menjadi dua tahap utama, yaitu pengambilan data lapangan dan pengolahan citra satelit. Pengambilan data lapangan dengan metoda *manta tow* dilakukan pada bulan April 2006 di perairan Kabupaten Bengkayang. Pengolahan citra dan pembuatan laporan dilakukan pada bulan April – Juni 2006 di kampus ITS Surabaya.



Gambar 3.1. Peta lokasi penelitian

### 3.2. Metode Pengolahan Data

Data citra satelit yang digunakan pada penelitian ini adalah Citra Landsat – 7 ETM akuisisi tanggal 18 Juli 2002 *path 122 row 59*.

Sedangkan tahapan utama yang dilakukan untuk pengolahan citra Landsat Thematic Mapper untuk terumbu karang, yaitu pre – klasifikasi, klasifikasi dan post klasifikasi.

#### 3.2.1. Pre - Klasifikasi

##### 3.2.1.1. Pemulihan Citra (*Image Restoration*).

Data yang ditransmisikan dari satelit ke bumi mengalami banyak distorsi geometrik dan radiometrik. Dalam kaitannya dengan tingkat energi obyek, letak obyek pada peta dan geometrik kenampakan obyek pada citra itu nilai digitalnya dipengaruhi oleh atmosfer. Koreksi data ini berfungsi untuk menanggulangi dan memperkecil distorsi yang ada sehingga dapat menciptakan data citra yang lebih teliti untuk kegiatan analisis.

Pengaruh atmosfer (*scattering dan absorpsi*) dan *noise* pada waktu transmisi data, perubahan cahaya, radiasi dan buramnya bagian optik pada sistem pencitraan menyebabkan distorsi radiometrik. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan **koreksi radiometrik**.

Sedangkan dalam distorsi geometrik terjadi pergeseran piksel dari letak sebenarnya yang disebabkan akibat kurang sempurnanya sistem kerja *Scan Deflection System*, ketidakstabilan sensor dan satelit. Untuk mengeliminir hal tersebut maka perlu dilakukan **koreksi geometrik**. Koreksi geometrik dilakukan untuk memperoleh citra dengan sistem koordinat dan proyeksi seperti yang ada pada peta. Ada 2 cara melakukan koreksi ini, yaitu

dengan cara mengkoreksi citra yang belum terkoreksi ke citra yang sudah terkoreksi (*image to image geo-correction*) dan koreksi dari citra ke peta (*image to map geo-correction*). Untuk melakukan proses koreksi geometrik diperlukan beberapa titik kontrol medan (*Ground Control Point, GCP*). Sedangkan akurasi dari hasil proses koreksi geometrik ditunjukkan oleh nilai RMS Error (*Root Mean Square Error*).

### 3.2.1.2. Pemotongan citra (*Cropping*)

Pemotongan citra dilakukan untuk mempermudah pengolahan data baik dari segi waktu pengolahan maupun besarnya memori yang disimpan dalam komputer. Data yang dipotong merupakan daerah pilihan yang akan diolah, jadi kita tidak perlu untuk mengolah seluruh *scene*.

### 3.2.1.3. Penajaman Citra (*Image Enhancement*)

Lillesand dan Kiefer (1990) menjelaskan bahwa tujuan dari penajaman citra adalah untuk meningkatkan kemampuan menginterpretasikan suatu citra secara visual sehingga antara satu obyek dengan obyek lainnya dalam citra akan lebih mudah dibedakan. Penajaman citra digunakan untuk memperjelas penampakan obyek yang terdapat pada citra sehingga dapat diperoleh citra yang lebih informatif.

Citra komposit yang dihasilkan merupakan gabungan dari 3 kanal citra asli. Citra komposit atau yang sering disebut RGB (Red, Green, Blue) ini harus disesuaikan dengan tujuan pengolahan data. Misalnya untuk pengolahan data terumbu karang, citra komposit (RGB) yang biasa digunakan

adalah RGB 542 dan 421 (gabungan dari kanal 5, kanal 4, kanal 2 dan kanal 4, kanal 2, kanal 1). Hal ini dikarenakan informasi mengenai terumbu karang yang ditampilkan dari kombinasi kanal 542 dan 421 dianggap lebih banyak daripada kombinasi kanal lainnya.

#### 3.2.1.4. Pengambilan *Training Area*

*Training area* yang dibuat harus tersebar merata di seluruh *scene* yang akan diolah kemudian akan dihitung nilai statistiknya (*training signature*).

#### 3.2.1.5. Analisis Citra (*Image Analysis*)

Khususnya untuk pemetaan sebaran terumbu karang dapat dilakukan dengan persamaan Lyzengga (1978), yaitu "Standard Exponential Attenuation Model".

$$L_i = L_{i\sim} + (0,54 L_{i_b} - L_{i\sim})^{exp-2k_i z}$$

Dimana :

$L_i$  = Reflektansi pada kanal  $i$

$L_{i\sim}$  = Rata – rata nilai reflektansi pada perairan laut dalam

$L_{i_b}$  = Reflektansi dasar perairan (0 meter), kanal  $i$

$z$  = Kedalaman perairan

$k_i$  = Koefisien atenuasi pada kanal  $i$

Pada persamaan di atas, terdapat beberapa parameter yang tidak diketahui nilainya antara lain nilai reflektansi dasar perairan, koefisien atenuasi dari masing – masing kanal dan kedalaman dari tiap piksel data.

Sehingga persamaan tersebut dikembangkan dengan menggunakan 2 kanal visible yaitu kanal 1 dan kanal 2 dari citra Landsat TM dan diperoleh persamaan berikut (Siregar, 1995) :

$$Y = \ln(TM1) + ki/kj . \ln(TM2)$$

di mana :

Y = Ekstraksi informasi dasar perairan

TM1 = Nilai piksel pada kanal 1

TM2 = Nilai piksel pada kanal 2

ki/kj = Rasio koefisien kanal 1 dan kanal 2

Koefisien atenuasi dihitung dari slope bi-plot nilai piksel kanal 1 dan kanal 2 yang telah ditransformasikan dengan ln (natural logaritma). Gradien bi-plot dihitung menggunakan rumus berikut :

$$ki/kj = a + \sqrt{(a^2 + 1)}$$

$$a = (\text{var}(TM1) - \text{var}(TM2)) / 2 \text{ covar}(TM1, TM2) \text{ (Siregar, 1995)}$$

Menggunakan metode ini, setiap piksel akan terkonversi menjadi indek tipe dasar perairan yang terbebas dari pengaruh kedalaman. Sehingga dengan metode ini diharapkan bahwa hasil klasifikasi merupakan kelas – kelas dari tipe dasar perairan, bukan lagi dari perbedaan kedalaman air.

Varian dan covarian dari band 1 dan band 2 didapatkan melalui perhitungan statistik training area. Proses selanjutnya yaitu mengaplikasikan formula Lyzenga dan nilai ki/kj yang didapat dari perhitungan statistik ke dalam file raster yang akan diolah.

### 3.2.2. Klasifikasi

Pemetaan sebaran terumbu karang diperoleh dari hasil klasifikasi multispektral citra digital. Klasifikasi multispektral merupakan suatu algoritma yang dirancang untuk menyajikan informasi tematik dengan cara mengelompokkan fenomena berdasarkan satu kriteria yaitu nilai spektral pada beberapa saluran sekaligus. Tiap obyek cenderung memberikan pola respon spektral yang spesifik. Semakin sempit dan banyak saluran yang digunakan, semakin teliti hasil klasifikasi multispektral tersebut (Purwadi, 2001).

Menurut Manurung dkk., (2005) menyatakan bahwa klasifikasi multispektral diawali dengan menentukan nilai piksel representatif tiap obyek secara sampling. Nilai pixel dari tiap sampel tersebut digunakan sebagai masukan dalam proses klasifikasi. Ekstraksi informasi terumbu karang dikerjakan berdasarkan warna pada citra komposit, analisis statistik dan analisis grafis. Analisis statistik digunakan dengan memperhatikan nilai rerata, standar deviasi, varians, dan kovarians, dari setiap kelas sampel yang diambil guna menentukan keterpisahan sampel. Analisis grafis digunakan untuk melihat sebaran piksel-piksel suatu kelas yang diasumsikan sebagai kelas yang homogen apabila piksel-piksel yang diambil sebagai sampel, bergerombol dalam satu gugus, dengan memperhatikan posisi gugus sampel dalam diagram pencar.

Dalam mengelaskan nilai-nilai spektral citra menggunakan banyak feature tersebut, dikenal istilah klasifikasi teracu (*supervised classification*) dan klasifikasi tak teracu (*unsupervised classification*). Istilah 'klasifikasi teracu digunakan, karena metode ini mengelompokkan nilai pixel berdasarkan

informasi aktual di permukaan bumi, sedangkan istilah 'klasifikasi tak teracu' digunakan, karena proses pengkelasannya hanya berdasarkan pada informasi gugus-gugus spektral yang tidak bertumpang susun, pada ambang jarak (*threshold distance*) tertentu, dan saluran-saluran yang digunakan (Purwadhi, 2001; Amri, 2004; Manurung dkk., 2005).

Informasi yang diperoleh dari proses pengelasan nilai-nilai spektral bukan merupakan tipe penggunaan lahan, melainkan berupa klas penutup lahan. Berdasarkan hal tersebut, penamaan sampel mengacu pada posisi sampel dalam *feature space*, dan diarahkan pada penyusunan klas-klas spektral seperti pada diagram pencar. Dengan mengacu diagram pencar tersebut, dapat diketahui bahwa terdapat suatu trend atau kecenderungan obyek permukaan bumi meliputi vegetasi, air dan tanah bahkan dapat dibedakan kondisi kerapatan vegetasi secara horisontal (*ground cover*) dan vertikal (*Leaf Area Index*) (Manurung dkk. 2005).

Pada penelitian ini digunakan klasifikasi hibrida (*hybrid classification technique*) yang merupakan analisis klasifikasi yang memadukan kelas spektral dari klasifikasi tak terselia dengan kategori informasi yang cocok dengan referensi (Purwadhi, 2001). Pendekatan ini melibatkan analisis data tak terselia dan terselia, dimana analisis *training sample* diambil dari cluster hasil klasifikasi tak terselia, sehingga terjadi pengelompokkan cluster terselia (*controlled clustering*).

### 3.2.3. Post-klasifikasi

Merupakan tahap akhir dengan memeriksa ketepatan dan ketelitian hasil klasifikasi yang telah dilakukan dengan mencocokkan dengan peta dan

data lapangan. Kemudian dilakukan penghitungan luas dari sebaran terumbu karang dengan menggunakan ER – Mapper 6.4, serta pembuatan lay out peta untuk menampilkan peta hasil klasifikasi menggunakan Arc View 3.2.

Adapun diagram alir tahapan kegiatan penelitian dapat dilihat pada gambar 3.2, sedangkan diagram alir pengolahan citra Landsat-TM menggunakan algoritma Lyzenga adalah seperti gambar 3.3.

Menurut Purwadhi, (2001) menyatakan bahwa untuk mengevaluasi daya pisah spektral dilakukan dengan klasifikasi pixel dari rangkaian data *training* menggunakan table persentase pixel yang mempunyai kategori sejenis dan pembaurannya (*confusion*) dengan pixel lain dalam bentuk matrik kesalahan (*error matrix*) atau disebut juga *confusion matrix*. Dari matriks ini didapat dua jenis ketelitian, yaitu ketelitian sebaran pixel tiap kelas atau *mapping accuracy* dan ketelitian keseluruhan hasil klasifikasi (*overall accuracy*).

Ketelitian tiap kelas (*mapping accuracy*) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$MA = \frac{X_{cr} \text{ pixel}}{X_{cr} \text{ pixel} + X_{o} \text{ pixel} + X_{co} \text{ pixel}}$$

dimana : MA = Ketelitian pemetaan (*mapping accuracy*)

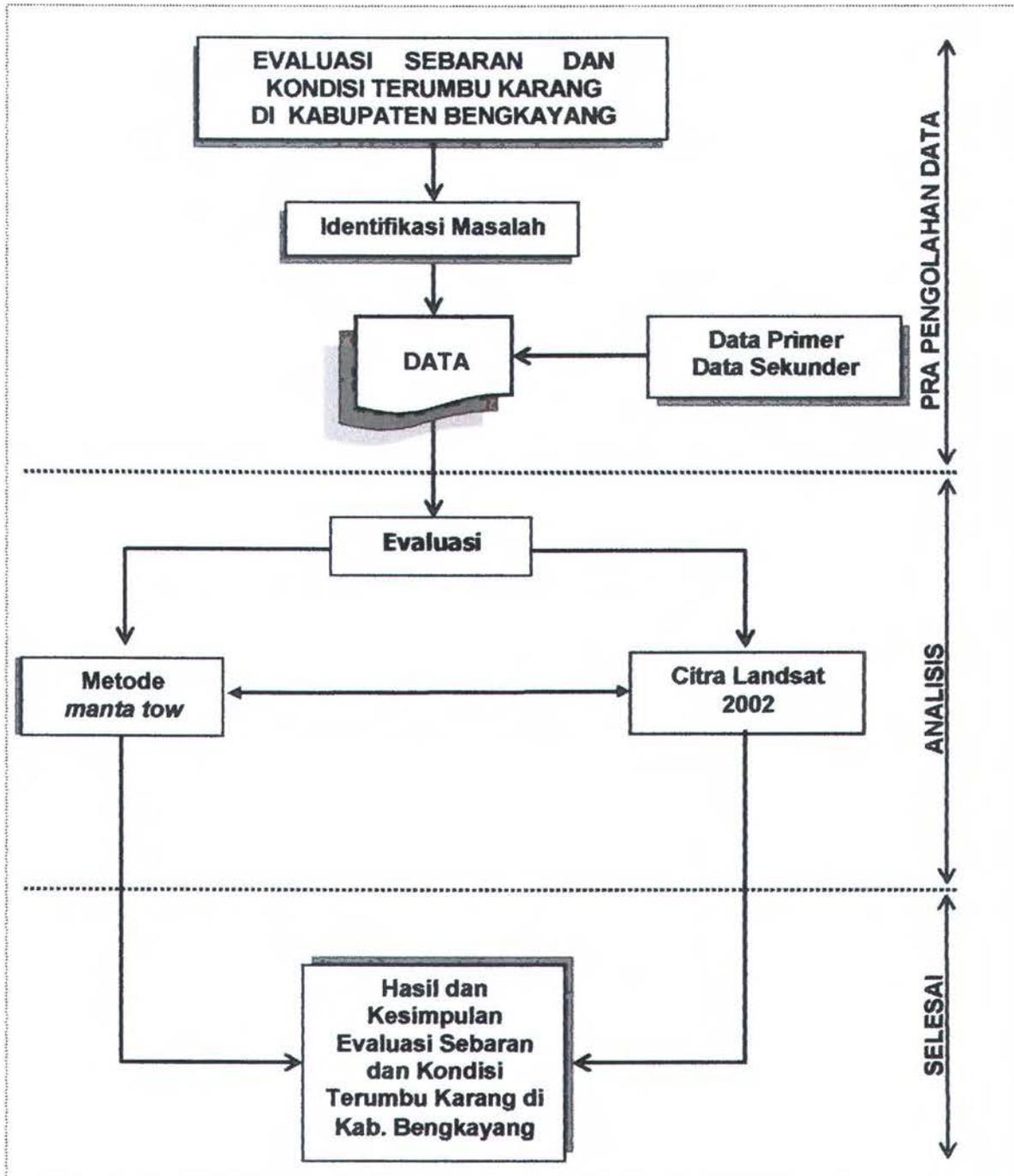
X<sub>cr</sub> = Jumlah kelas X yang terkoreksi

X<sub>o</sub> = Jumlah kelas X yang masuk ke kelas lain (omisi)

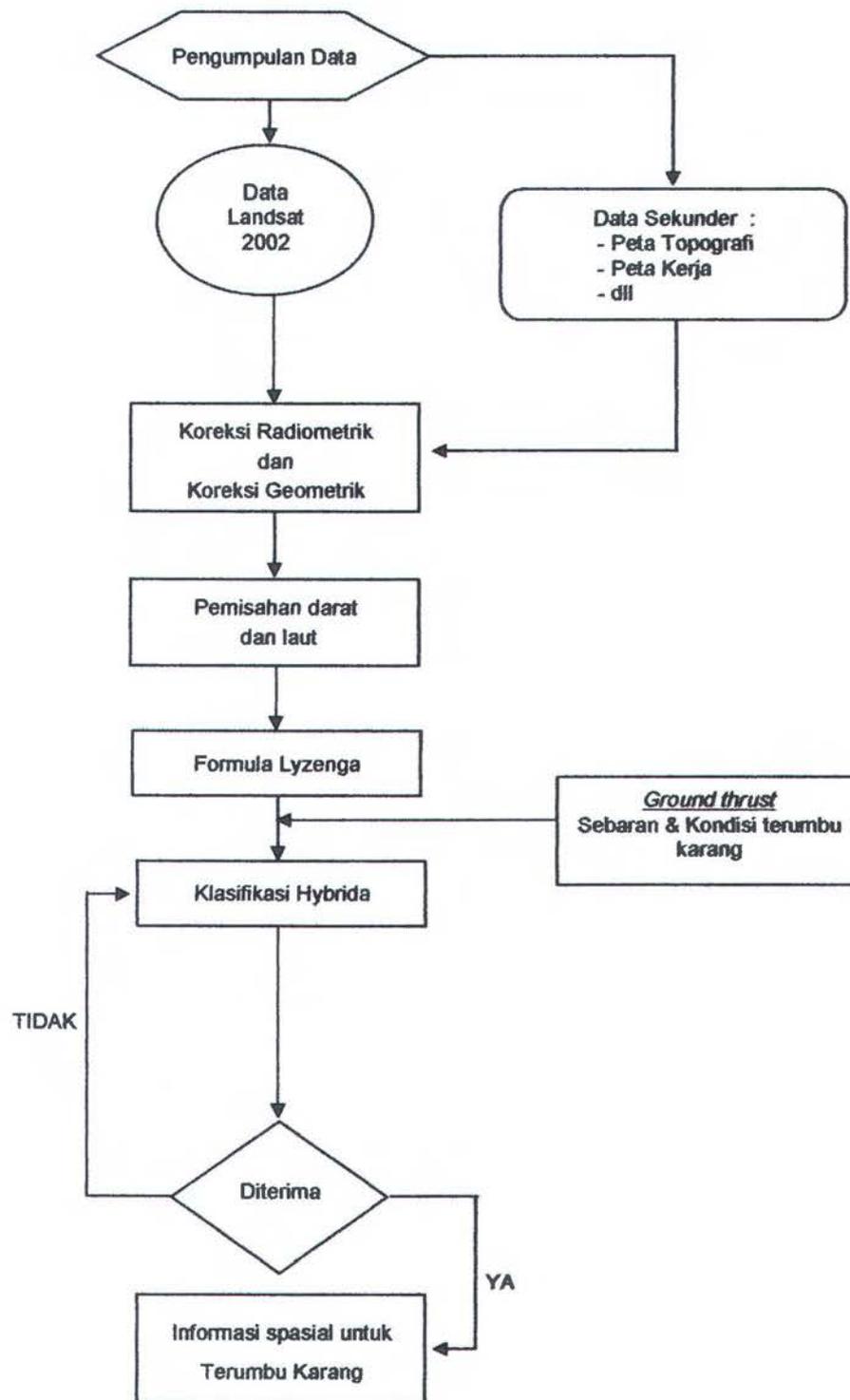
X<sub>cr</sub> = Jumlah kelas X tambahan dari kelas lain (komisi)

Sedangkan rumus ketelitian keseluruhan hasil klasifikasi :

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\text{Jumlah pixel murni semua kelas}}{\text{Jumlah semua pixel}}$$



Gambar 3.2. Diagram Alir Tahapan Penelitian

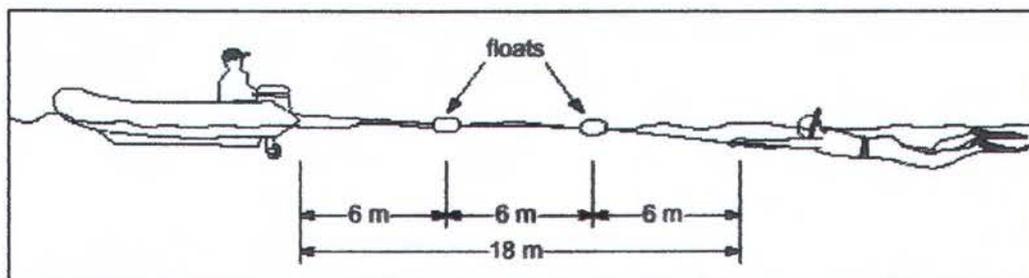


Gambar 3.3. Diagram Alir Pengolahan Citra dengan Algoritma Lyzenga

**3.3. Metode Survei : *manta tow***

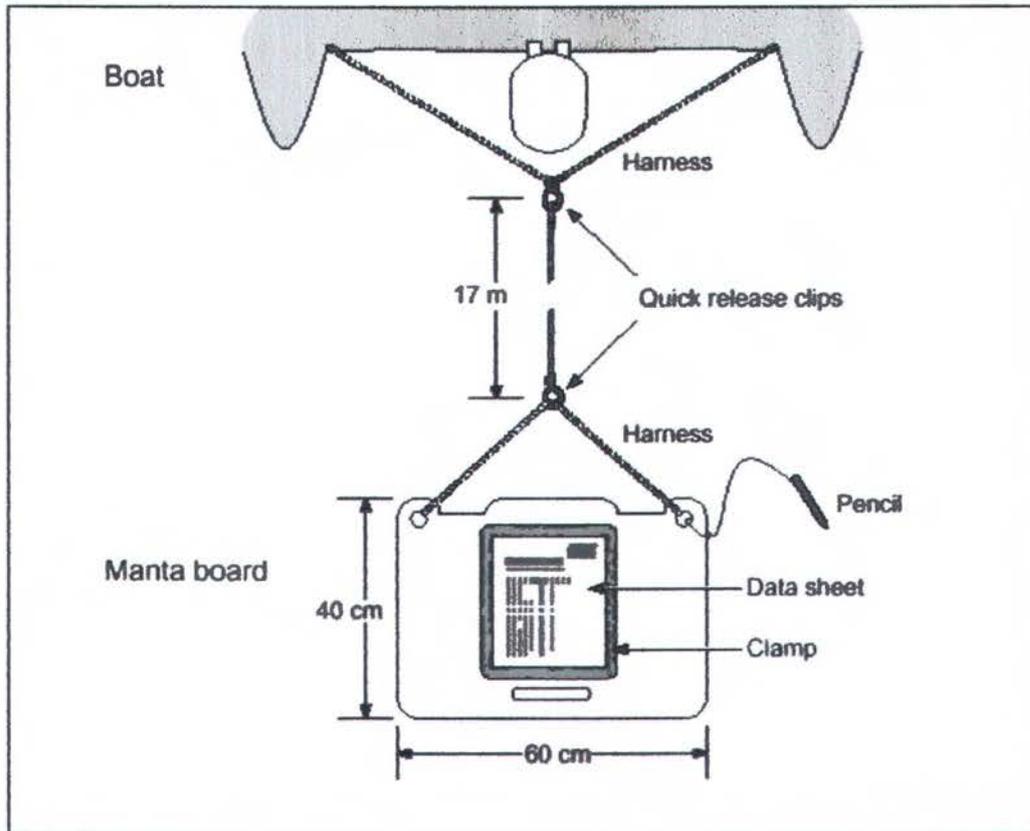
Metode survei yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metoda *manta tow*, yaitu untuk melihat dan memperkirakan perubahan secara luas dari kelompok biota laut yang hidup di atas terumbu karang tempat kelompok tersebut sering terlihat dan dijumpai, atau sekelompok biota laut yang berada dalam jumlah yang besar. Kelompok biota yang dimaksud adalah bintang laut berduri pemakan karang, dalam bahasa latin disebut *Acanthaster planci* dan dalam bahasa Inggris sering disebut *crown-of-thorns starfish* (CoTs). Kelompok biota tersebut dapat diamati dan diperkirakan berapa jumlahnya di dalam daerah terumbu karang yang luas dalam waktu yang singkat (English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ; Sukmara dkk. 2001).

Metoda *manta tow* adalah suatu teknik pengamatan terumbu karang dengan cara pengamatan di belakang perahu kecil bermesin dengan menggunakan tali sebagai penghubung antara perahu dengan peneliti (Gambar 3.4.).



Gambar 3.4. Cara melakukan survei dengan metoda *manta tow*

(Sumber : English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ;  
Sukmara dkk. 2001)



Gambar 3.5. Papan Manta dan Pemasangannya

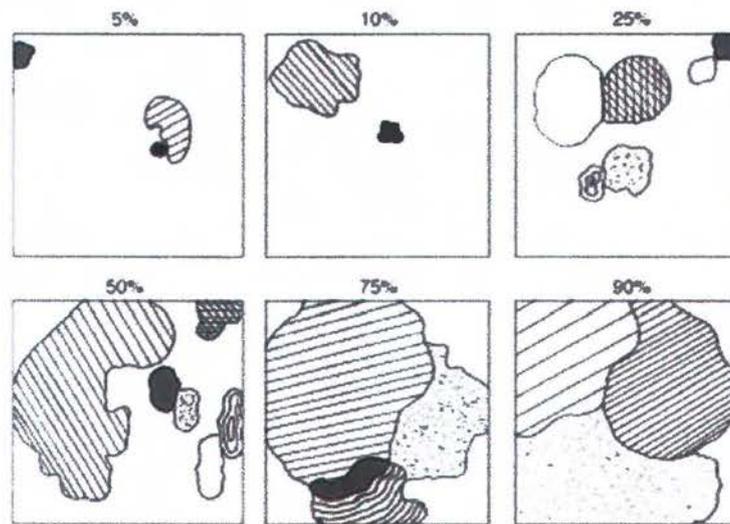
(Sumber : English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ;  
Sukmara dkk. 2001)

Pelaksanaan di lapangan, metode manta tow ini dengan cara menarik peneliti dengan menggunakan perahu selama dua menit dengan kecepatan tetap 3-5 km/jam atau seperti orang yang berjalan lambat. Apabila ada faktor lain yang menghambat seperti arus yang kencang, maka kecepatan perahu dapat ditambah sesuai dengan tanda dari si pengamat yang berada di belakang perahu (English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass and Miller, 1996 ; Sukmara dkk. 2001).

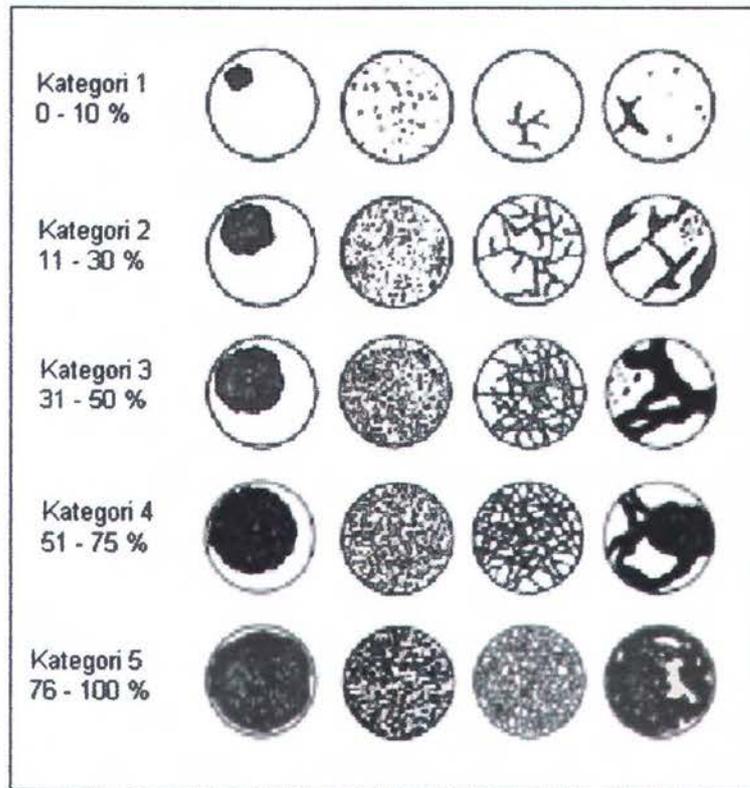
Peneliti akan mengamati beberapa objek sepanjang daerah yang dilewati dan persentase penutupan karang hidup (karang keras dan karang lunak) dan karang mati. Data yang diamati dicatat pada tabel data dengan menggunakan nilai kategori atau dengan nilai persentase bilangan bulat. Untuk tambahan informasi yang menunjang pengamatan, dapat pula memasukkan penutupan pasir, patahan karang, objek lain (*Tridacna*, *Diadema* dan *Acanthaster*) sebagai objek yang diamati, semua tergantung tujuan penelitian yang telah ditetapkan (English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ; Sukmara dkk. 2001; Johan O. 2003).

Dalam pengamatan penutupan karang (keras, lunak, dan mati), pengisian data untuk penutupan karang digunakan persentase. Hal ini untuk memudahkan pengamat dalam menentukan masing-masing tutupan karang. Pengamat harus memperhatikan total persen dari penjumlahan tutupan karang ditambah dengan pasir dan tutupan lainnya jangan sampai melebihi 100 % (English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ; Sukmara dkk. 2001).

Kalau menggunakan kategori (Gambar 3.7), pengamat harus hati-hati dalam penentuan ini. Adakalanya jumlah total dari persen tutupan karang dan obyek lainnya yang diamati lebih dari 100 % (English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ; Sukmara dkk. 2001).



Gambar 3.6. Persentase tutupan karang (English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ; Sukmara dkk. 2001)



Gambar 3.7. Kategori dan persentase tutupan karang untuk menilai berapa persentase karang hidup, karang mati, karang lunak, pasir dan kerikil (English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ; Sukmara dkk. 2001)

Tabel 3.1. Contoh tabel *manta tow* (English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ; Sukmara dkk. 2001)

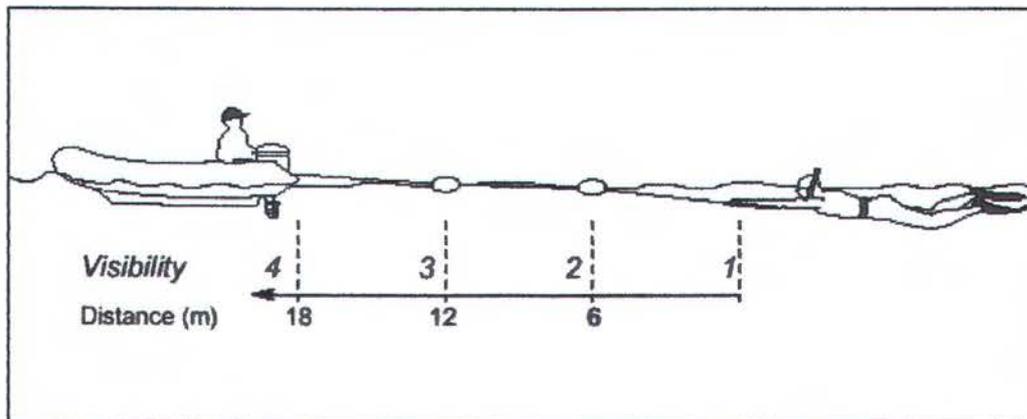
Sample Manta Tow Survey Data Sheet				
Location:			Date:	
Observer:			Time:	
Tow	Percent Live Cover			Other Features
	Stony Corals	Octo-corals	Algae	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Tabel 3.2. Contoh tabel data dimana seluruh keterangan dari hasil pengamatan dicatat (Sukmara dkk.2001)

No. Tarikan	Posisi		Tutupan Karang *			Kecerahan Air (Kategori)	Ket.
	Awal	Akhir	Keras	Lunak	Mati		

Keterangan : \* Tutupan karang dilihat dan dicatat dalam persentase

Untuk menentukan kategori kecerahan air laut dengan melihat pada pelampung yang berada pada tali *towing* di jarak 6 meter dari pengamat (Gambar 3.10). Bila pelampung terlihat pada jarak 6 meter dari papan manta, maka kategori yang dicatat adalah 1 (satu) atau jarak pandang di laut cukup untuk melakukan pengamatan. Bila pelampung yang terpasang pada jarak 12 meter dari papan manta terlihat maka kategori yang dicatat adalah 2 (dua) atau jarak pandang yang baik untuk melakukan pengamatan. Pengamatan kecerahan air ini dapat dilakukan setiap 15 kali tarikan sekali. Apabila pelampung pada jarak 6 meter tersebut tidak terlihat maka pengamatan pada saat itu ditunda, karena ini sangat mempengaruhi penglihatan pengamat terhadap perhitungan persen penutupan karang (English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ; Sukmara dkk. 2001).



Gambar 3.8. Cara menentukan kategori kecerahan air laut pada pengamatan dengan *manta tow* (English et al. 1994; Roger et al. 1994; Bass dan Miller, 1996 ; Sukmara dkk. 2001).

### 3.4. Peralatan Survei

Untuk melakukan pengamatan terumbu karang dengan menggunakan metoda *manta tow* diperlukan peralatan sebagai berikut ;

1. Kaca mata selam (*masker*)
2. Alat bantu pernapasan di permukaan air (*snorkel*)
3. Alat bantu renang di kaki (*fins*)
4. Perahu bermotor (minimal 5 PK)
5. Papan manta (*manta board*) yang berukuran panjang 60 cm, lebar 40 cm, dan tebal 2 cm
6. Tali yang panjangnya 20 meter dan berdiameter 1 cm.
7. Pelampung kecil
8. Kertas tahan air (untuk menulis)
9. Pensil
10. Penghapus
11. *Stop watch*/jam
12. *Global Positioning System (GPS)*

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

##### 4.1.1. Kondisi Geografis

Secara geografis Kabupaten Bengkayang terletak antara  $108^{\circ} 39'$  –  $110^{\circ} 04'$  BT dan  $0^{\circ} 33'$  –  $2^{\circ} 02'$  LU dengan luas daerah  $3.396,30 \text{ km}^2$  (3,68% dari luas wilayah Propinsi Kalimantan Barat) dan memiliki panjang garis pantai 68,5 km dengan luas laut sampai 4 mil dari daratan  $\pm 18.400$  ha. Kabupaten Bengkayang terbagi menjadi 10 kecamatan, yaitu : kecamatan Sungai Raya, Samalantan, Monterado, Bengkayang, Teriak, Ledo, Suti Semarang, Sanggau Ledo, Seluas dan Jagoi Babang. Namun hanya kecamatan Sungai Raya yang berada di pesisir Kabupaten Bengkayang. Wilayah pesisir dari Kabupaten Bengkayang berada pada koordinat  $108^{\circ}39'00''$  –  $109^{\circ}00'00''$  BT dan  $0^{\circ}33'46''$  –  $0^{\circ}51'24''$  LU, terletak di sebelah paling barat dari Kabupaten Bengkayang dan berbatasan dengan Laut Natuna dan Laut Cina Selatan.

##### 4.1.2. Iklim

Hasil laporan dari Dinas Kelautan dan Perikanan Propinsi Kalimantan Barat (2005) menyatakan bahwa daerah pesisir Kabupaten Bengkayang berdasarkan klasifikasi tipe hujan Schmidt dan Ferguson, termasuk ke dalam tipe hujan A yaitu basah. Sedangkan menurut peta zona agroklimat daerah Kalimantan Barat termasuk zone B1 dengan curah hujan tahunan 2.787 mm. Penyimpangan iklim kadang – kadang terjadi, yaitu berupa tingginya curah

hujan pada bulan – bulan di mana seharusnya hujan relatif rendah dan hari hujan lebih sedikit.

Kecepatan angin rata – rata bulanan berkisar antara terendah 12,0 km/jam dan tertinggi 21,6 km/jam, dengan rata – rata bulanan dalam setahun sebesar 14,95 km/jam. Sedangkan arah angin terbesar (41,7%) ke arah Barat ( $250^{\circ} - 285^{\circ}$ ), kemudian secara berturut – turut adalah 33,3% ke arah Selatan ( $181^{\circ} - 193^{\circ}$ ), 16,6% ke arah Barat Daya ( $210^{\circ} - 245^{\circ}$ ) dan 8,3% ke arah Barat Laut ( $302^{\circ}$ ).

### **4.1.3. Kondisi Wilayah Pesisir dan Laut**

#### **4.1.3.1. Morfologi Pantai**

Kondisi pantai di wilayah Kabupaten Bengkayang pada umumnya landai, gradien dasar dibandingkan permukaan laut berkisar kurang dari  $30^{\circ}$ . Dasar perairan terdiri dari lumpur dan berpasir. Di beberapa bagian pinggir pantai terjadi degradasi berupa pengurangan luas daratan akibat kikisan ombak / air laut (abrasi). Di sisi yang lain ditemukan adanya penambahan daratan di pinggir pantai (akresi) akibat terjadinya penumpukan sediment.

Sebagian besar di wilayah studi mempunyai kedalaman perairan laut relatif cukup dangkal, yaitu :

- 0 – 3 km dari pantai mempunyai kedalaman 0 – 5 meter
- 3 – 6 km dari pantai mempunyai kedalaman 5 – 10 meter
- 6 – 20 km dari daratan mempunyai kedalaman 10 – 20 meter

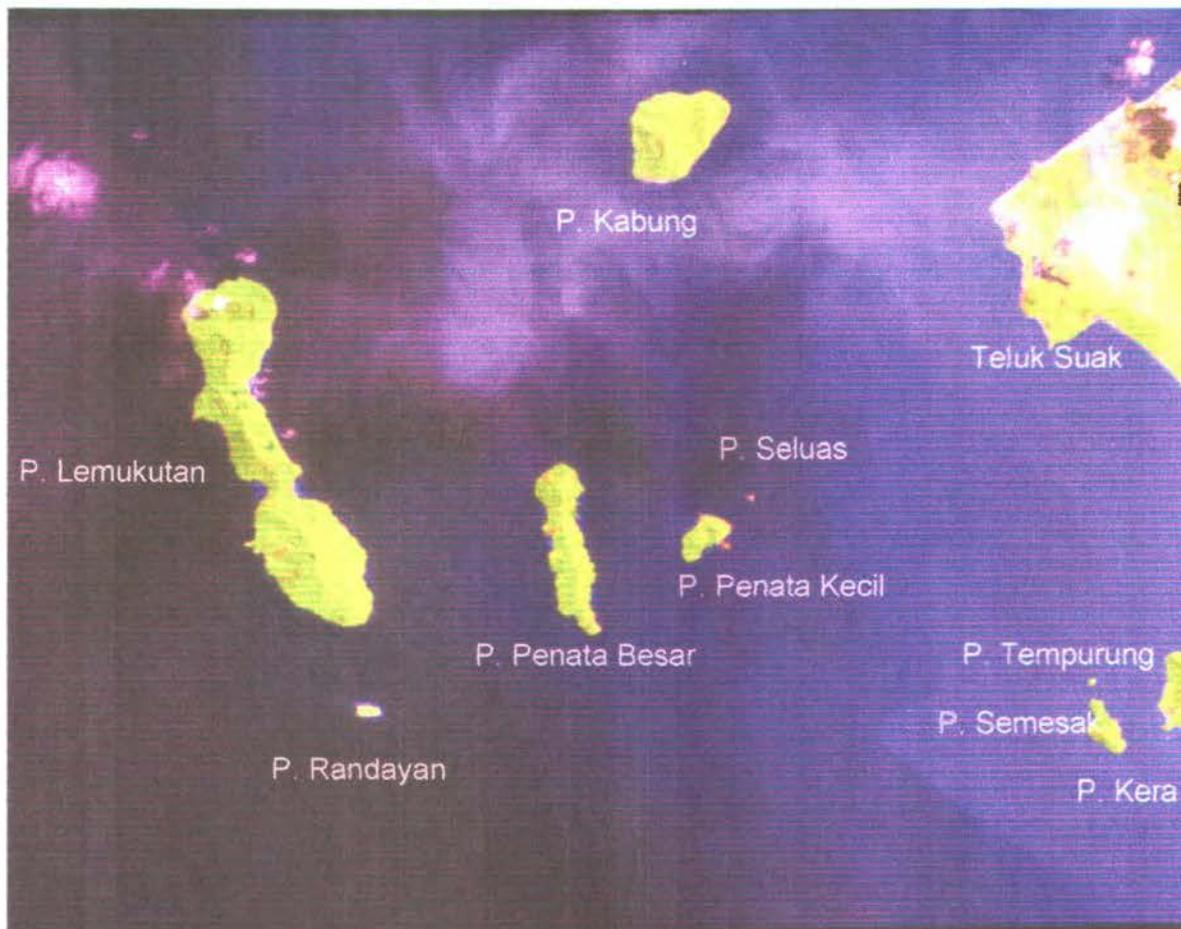
## 4.1.3.2. Pulau

Secara umum wilayah pantai dan laut Kabupaten Bengkayang berada pada pantai yang terbuka dan berhadapan langsung dengan Laut Cina Selatan. Menurut Dinas Kelautan dan Perikanan Propinsi Kalimantan Barat (2004), jumlah pulau – pulau yang terdapat di Kabupaten Bengkayang adalah 12 pulau besar dan kecil yang mempunyai luas berkisar antara 13 – 12.520 Ha. Jarak pulau – pulau yang ada ke arah daratan berkisar antara 0,4 – 38 km.

Tabel 4.1. Nama dan Luas Pulau di Kabupaten Bengkayang

No	Nama Pulau	Luas (Ha)	Jarak dari Darat (Km)	Wil. Desa	Keterangan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	Lemukutan	12.520	38	P. Lemukutan	Berpenghuni tetap
2	Penata Besar	4.875	28	Sungai Raya	Berpenghuni tetap
3	Kabung	1.015	20	Karimunting	Berpenghuni tetap
4	Penata Kecil	975	22	Sungai Raya	Berpenghuni tetap dan musiman
5	Semesak	952	0,8	Sungai Raya	Tidak berpenghuni
6	Randayan	487	38	P. Lemukutan	Berpenghuni tetap dan musiman
7	Baru	480	42	Sungai Raya	Berpenghuni tetap dan musiman
8	Tempurung	43	0,8	Sungai Raya	Tidak berpenghuni
9	Seluas	38	33	Sungai Raya	Berpenghuni musiman
10	Batu Payung	21	1	Karimunting	Tidak berpenghuni
11	Kera	22	1	Sungai Raya	Tidak berpenghuni
12	Batu Rakit	13	1	Sungai Raya	Tidak berpenghuni

Sumber : Dinas Kelautan dan Perikanan Prop. Kalimantan Barat (2004)



Gambar 4.1. Nama – nama pulau di Kabupaten Bengkayang

(Sumber Citra Landsat -7 ETM tahun 2002)

#### 4.1.3.3. Kondisi Gelombang

Gelombang laut yang terjadi di sekitar perairan Kalimantan Barat umumnya disebabkan oleh angin sehingga tinggi gelombang dan periode gelombang akan bergantung dari kekuatan dan arah angin yang bertiup di sekitar perairan tersebut. Selain itu yang mempengaruhi karakter gelombang adalah kedalaman perairan dan bentuk topografi dasar perairan. Frekuensi gelombang berkisar antara 10 – 30 cmdengan arah gelombang datang dari Barat Laut. Tinggi gelombang tersebut besarnya relatif sama antara di pinggir pantai 0 – 4 mil hingga 8 – 12 mil. Pada musim Barat Laut, tinggi gelombang

berkisar antara 0,5 – 1,5 meter bahkan dapat mencapai 2 meter (bulan Januari – Februari), demikian juga pada musim Tenggara, tinggi gelombang dapat mencapai 0,5 – 2 meter terutama pada bulan Juli – September. Di perairan sekitar Pulau Lemukutan dan sekitarnya, gelombang besar (1 – 2 meter) dengan periode sekitar 1 menit sering terjadi pada bulan September hingga Maret, sedangkan pada bulan April hingga Agustus gelombang di perairan tersebut terutama di selat – selat (di antara pulau – pulau) ketinggian gelombang tidak terlalu besar (0,05 – 1,00 meter) dengan periode sekitar 1 menit (Dinas Kelautan dan Perikanan Prop. Kalimantan Barat, 2005).

#### **4.1.3.4. Kondisi Perairan Pesisir dan Laut**

Berdasarkan hasil analisa laboratorium terhadap kondisi perairan kabupaten Bengkayang tahun 2005 yang dilakukan oleh Dinas Kelautan dan Perikanan Propinsi Kalimantan Barat secara umum dalam kondisi baik dan ditinjau dari segi kesuburan perairannya termasuk perairan yang subur. Jika dihubungkan dengan peruntukannya sebagai daerah budidaya perikanan laut, wisata bahari (mandi, renang dan selam), taman laut konservasi, pertambangan dan industri secara umum sesuai dengan baku mutu yang tercantum dalam SK Gubernur Kalimantan Barat No. 120 tahun 1989. Selain itu kualitas air tersebut jika dihubungkan dengan Baku Mutu berdasarkan KepMen LH No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut menunjukkan masih berada di bawah baku mutu yang ada.

Kondisi suhu air di perairan wilayah Kabupaten Bengkayang berkisar antara 28,7<sup>0</sup> – 30,2<sup>0</sup>C. Tingkat kecerahan air di pinggir pantai berkisar antara

1,5 – 4 meter, sedangkan di bagian tengah berkisar 5,3 – 6,1 meter. Variasi nilai pH air laut berkisar 8,2 – 8,3 dengan salinitas berkisar 25,6 – 26,8 ‰ di tengah sedangkan di pinggiran berkisar 18 – 27‰ (Dinas Kelautan dan Perikanan Prop. Kalimantan Barat, 2005).

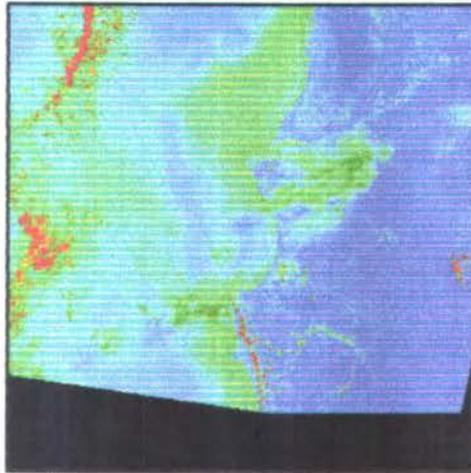
Kekeruhan dan warna perairan mempunyai kisaran yang besar. Perairan yang mempunyai nilai kekeruhan dan warna yang kurang baik terdapat pada muara perairan Sungai Raya. Hal ini terjadi dikarenakan terdapat masukan air dari Sungai Raya pada musim penghujan. Banyak sedimentasi dan partikel lainnya yang terbawa masuk ke perairan tersebut yang mengakibatkan nilai kekeruhan dan padatan tersuspensi total (nilai kekeruhan 3,49 skala NTU dan nilai padatan 4,20 – 30,2 mg/l) lebih tinggi jika dibandingkan dengan areal perairan lainnya (perairan lainnya mempunyai nilai kekeruhan 0,75 – 5,52 skala NTU) (Dinas Kelautan dan Perikanan Prop. Kalimantan Barat, 2005).

Konsentrasi oksigen terlaruh (*Dissolve Oxygen*) berkisar antara 6,59 – 7,37 mg/l, BOD<sub>5</sub> 1,74 – 2,07 mg/l, pospat (<0,02 – 0,12 mg/l), konsentrasi nitrat (<0,02 – 0,036 mg/l), konsentrasi amoniak (0,189 – 0,225 ppm), kandungan sianida (<0,002 – 0,015 mg/l), konsentrasi rendah, senyawa logam – logam terlarut masih berada di bawah baku mutu; konsentrasi Hg (<0,0002 – 0,0004 mg/l), Arsen (<0,0005 mg/l), Cu (0,001 mg/l) Pb (0,005 – 0,020 mg/l). Berdasarkan nilai kandungan bahan – bahan kimia di perairan tersebut dapat dikatakan bahwa kondisi perairan masih dikatakan baik dan subur (Dinas Kelautan dan Perikanan Prop. Kalimantan Barat, 2005).

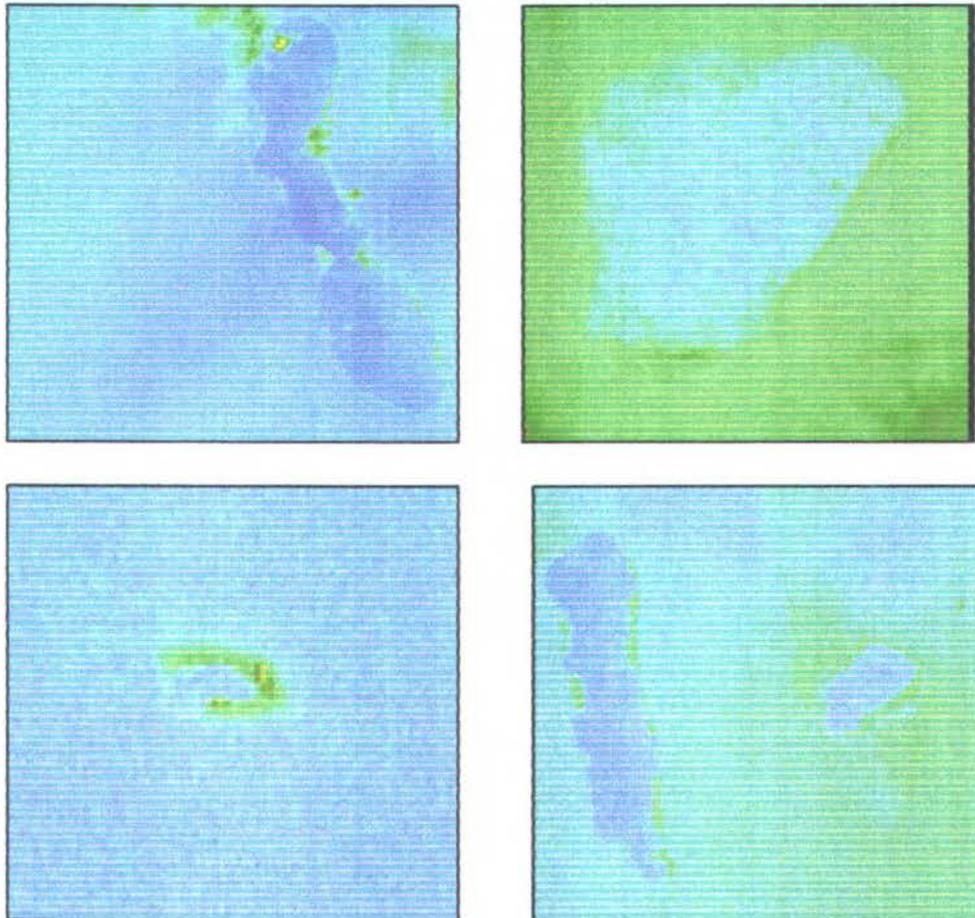
## 4.2. Hasil dan Pembahasan Proses Pengolahan Citra

### 4.2.1. Pemotongan Citra (*Cropping*)

Data citra satelit yang asli / utuh satu *scene* mempunyai file dengan *space* yang besar sehingga tidak efektif dalam proses pengolahannya, karena akan menambah waktu pengolahan serta mengurangi ruang pada *hard disk*. Sehingga data citra satelit dipotong (*cropping*) terlebih dahulu sesuai dengan lokasi penelitian (Pulau Lemukutan, Pulau Kabung, Pulau Randayan dan Pulau Penata). Pemotongan ini juga berfungsi untuk membatasi daerah penelitian.



Gambar 4.2. Citra Landsat – 7 ETM 2002 *path* 122 *row* 59



Gambar 4.3. Citra Landsat hasil cropping tahun 2002 (P. Lemukutan, P. Kabung, P. Randayan dan P. Penata)

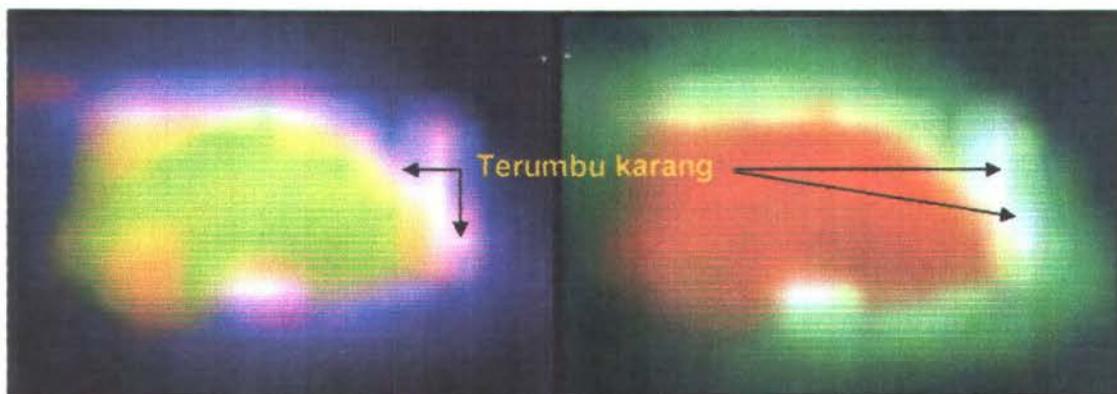
#### 4.2.2. Penajaman Citra (*Image enhancement*)

Penajaman citra dilakukan dengan cara mengkombinasi warna yang merupakan variasi dari 3 kanal (RGB / Red, Green, Blue) sekaligus. Tujuannya adalah untuk lebih mempertajam kenampakan obyek terumbu karang, sehingga mempermudah dalam melakukan interpretasi citra manual. Dalam penelitian ini komposisi kanal yang digunakan adalah kombinasi band 542 dan 421.

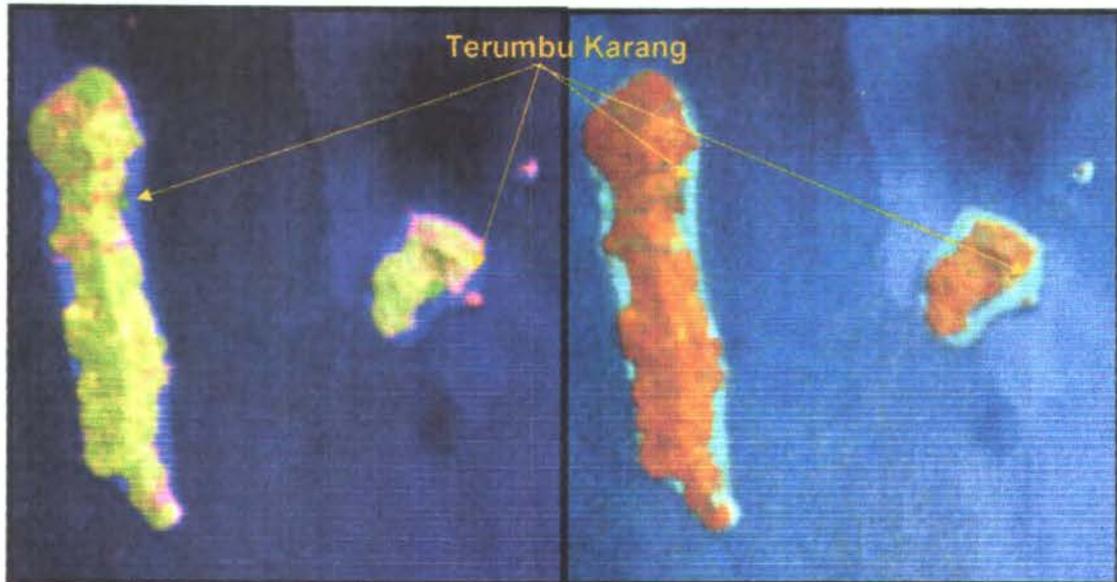
Untuk membedakan karang dengan kekeruhan dengan melihat batas warna; dimana warna karang akan terlihat tegas sementara kekeruhan tidak tegas dan menyebar pada kenampakan 542, sedangkan pada kenampakan 421 terumbu karang akan terlihat terang sementara kekeruhan akan terlihat agak gelap.



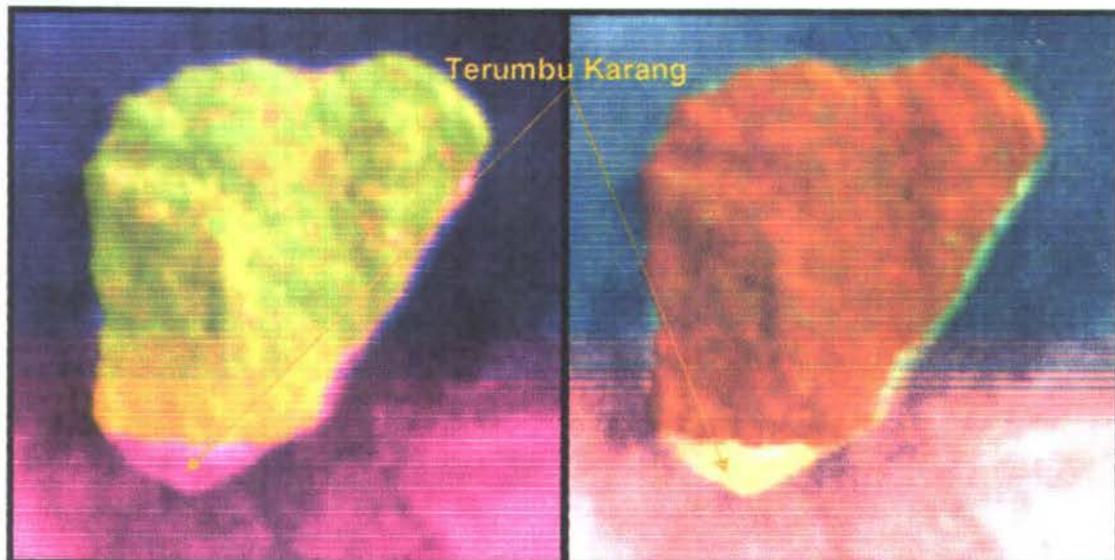
Gambar 4.4. Hasil Color Composite RGB 542 dan 421 untuk menajamkan obyek terumbu karang di Pulau Lemukutan tahun 2002



Gambar 4.5. Hasil Color Composite RGB 542 dan 421 untuk menajamkan obyek terumbu karang di Pulau Randayan tahun 2002



Gambar 4.6. Hasil Color Composite RGB 542 dan 421 untuk menajamkan obyek terumbu karang di Pulau Penata Besar dan Penata Kecil tahun 2002



Gambar 4.7. Hasil Color Composite RGB 542 dan 421 untuk menajamkan obyek terumbu karang di Pulau Kabung tahun 2002

**4.2.3. Training Area**

Tahap pembuatan *training area* merupakan analisis penyusun kunci interpretasi (Amri, 2005). Kunci interpretasi diartikan sebagai tahapan mempelajari, menyusun, mengenal dan mengukur pola tanggapan spektral bagi setiap kategori kenampakan obyek sebelum dilakukan klasifikasi.

Tujuan lainnya adalah untuk mendapatkan nilai *ki* dan *kj* yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan algoritma Lyzenga. Pembuatan *training area* dilakukan dengan membuat poligon pada citra terhadap tiap-tiap daerah perairan dangkal yang homogen dan diperkirakan merupakan area terumbu karang. Region diambil secara merata pada citra sehingga bisa mewakili setiap kondisi spektral citra.

Perhitungan statistika untuk mendapatkan nilai koefisien *ki/kj* terhadap nilai digital band 1 dan band 2 dari training area yang dibuat pada citra landsat tahun 2002 khususnya pada Pulau Lemukutan, Pulau Randayan, Pulau Penata Besar, Pulau Penata Kecil dan Pulau Kabung dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Nilai Koefisien *ki/kj*

No.	Nama Pulau	Varian band 1	Varian band 2	Covarian band 1 & 2	a	Nilai <i>ki/kj</i>
1.	Lemukutan	1008.696	611.5344	757.6235	0.26211	1.295891
2.	Randayan	2358.562	2002.213	1952.294	0.091264	1.09542
3.	Penata	5.062659	11.81677	6.929071	-0.48738	0.62507
4.	Kabung	19.46875	23.53171	17.43336	-0.11653	0.890238

Keterangan :

Nilai *ki/kj* didapat dari persamaan berikut :

$$ki/kj = a + \sqrt{(a^2 + 1)}$$

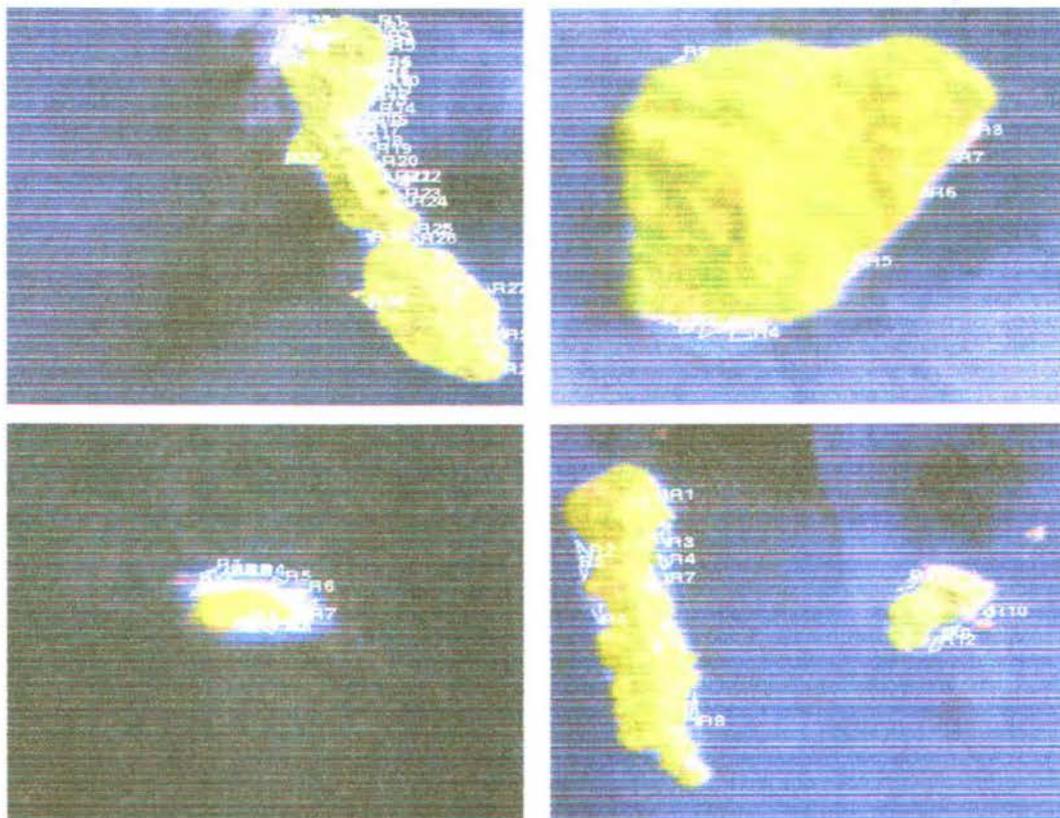


$$a = (\text{Var}(\text{TM1}) - \text{Var}(\text{TM2})) / 2 \text{Covar}(\text{TM1}, \text{TM2}) \text{ (Siregar, 1996)}$$

Dari nilai  $k_i/k_j$  tersebut kemudian dilakukan penghitungan statistik dengan menggunakan persamaan algoritma Lyzenga secara otomatis menggunakan software Er - Mapper 6.4 terhadap citra tahun 2002 untuk Pulau Lemukutan, Pulau Randayan, Pulau Penata Besar, Pulau Penata Kecil dan Pulau Kabung;

$$Y = \ln(\text{TM1}) + k_i/k_j \cdot \ln(\text{TM2})$$

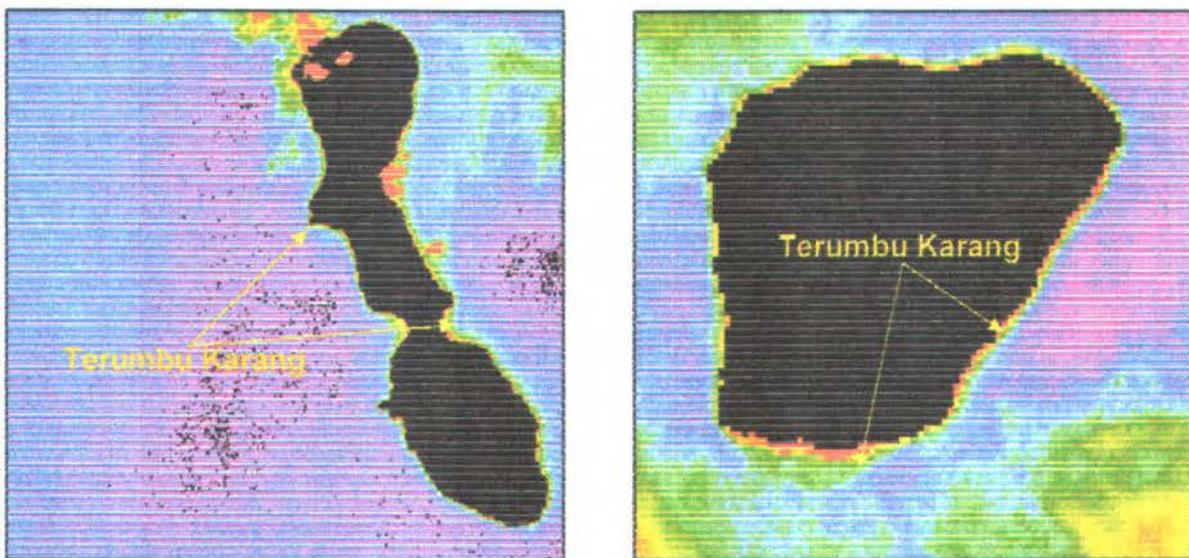
Y adalah citra baru hasil algoritma Lyzenga sedangkan TM1 dan TM2 adalah citra landsat band 1 dan band 2. Citra baru ini memiliki satu band yang merupakan gabungan dari band 1 dan band 2 citra asal.



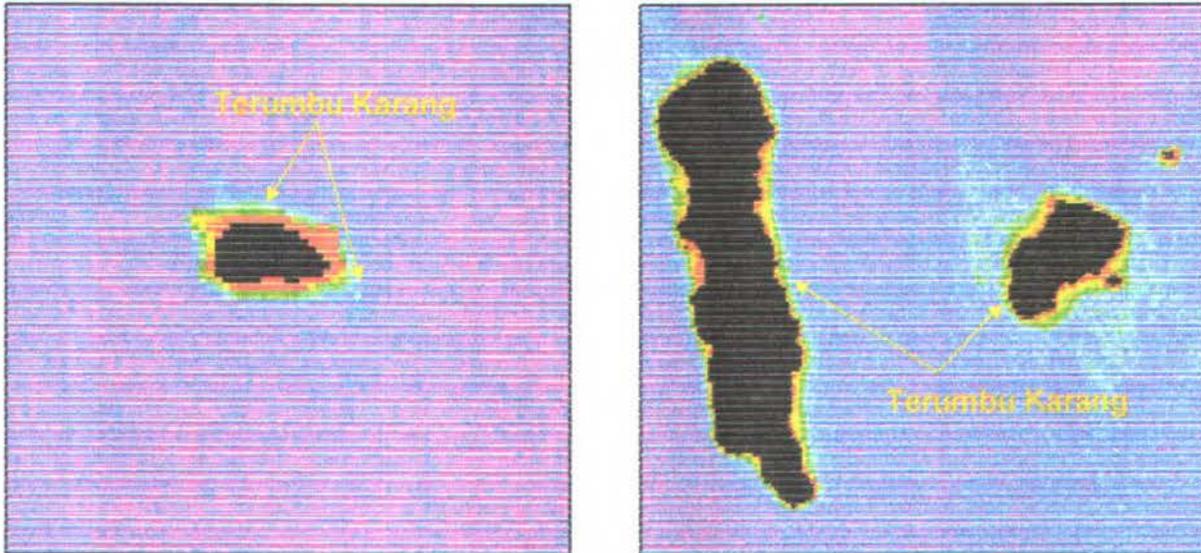
Gambar 4. 8. Pembuatan training area pada citra P. Lemukutan, P. Kabung, P. Randayan, dan P. Penata (RGB 542)

#### 4.2.4. Transformasi Lyzenga

Transformasi adalah teknik peningkatan kontras warna dan cahaya dari suatu citra sehingga memudahkan untuk interpretasi dan analisis citra. Transformasi citra dengan menggunakan algoritma Lyzenga berguna untuk mengurangi efek perbedaan kedalaman dan pergerakan air, sehingga informasi yang didapatkan merupakan informasi pantulan obyek bawah permukaan perairan. Kenampakan berbagai obyek bawah permukaan menjadi lebih menonjol dengan penggunaan algoritma Lyzenga.



Gambar 4.9. Hasil Transformasi Lyzenga Pulau Lemukutan dan Pulau Kabung



Gambar 4.10. Hasil Transformasi Lyzenga Pulau Randayan, Pulau Penata Besar dan Penata Kecil

#### 4.2.5. Klasifikasi

Klasifikasi merupakan suatu proses untuk mendapatkan citra baru yang telah dikelompokkan dalam kelas-kelas tertentu berdasarkan nilai reflektansi tiap-tiap obyek, sehingga mudah untuk dikenal serta mempermudah dalam pengecekan di lapangan. Proses ini dilakukan setelah didapat citra hasil transformasi algoritma Lyzenga.

Proses klasifikasi unsupervised dilakukan oleh software secara otomatis dengan masukan jumlah kelas maksimal adalah 20 kelas dengan iterasi 10 kali. Pembatasan jumlah kelas ditentukan berdasarkan kemungkinan jumlah kelompok obyek yang ada, sedangkan jumlah iterasi didasarkan pada efisiensi dan lama proses klasifikasi.

Proses identifikasi jenis obyek dari klasifikasi tak terselia dilakukan dengan menggunakan kenampakan warna citra hasil transformasi Lyzenga;

dimana daratan menjadi hitam sedangkan perairan dangkal terbagi menjadi beberapa warna (gambar 4.9 dan 4.10). Yaitu:

- Warna merah menunjukkan pasir (*sand*)
- Oranye menunjukkan lamun/rumput laut (*seagrass/seaweed*)
- Kuning menunjukkan pecahan karang (*rubble*)
- Hijau menunjukkan karang mati (*dead coral*)
- Cyan menunjukkan karang hidup (*live coral*)

Setelah dilakukan klasifikasi secara tak terselia, maka dilakukan pengkelasan kembali secara terselia (*reclass*) terhadap kelas yang dihasilkan pada tahap pertama. Pada tahap ini dilakukan identifikasi jenis obyek yang telah diklasifikasikan secara tak terselia dan penggabungan kelas kenampakan berdasarkan kelas obyek hasil pengamatan lapangan dengan menggunakan metode *manta tow*. Proses *reclass* dilakukan dengan bantuan citra komposit 421, citra komposit 542 dan citra hasil transformasi *lyzenga*.

Obyek kenampakan pada citra selanjutnya dipisahkan menjadi 5 kelas warna, yaitu (1) Laut berwarna putih; (2) Karang hidup berwarna cyan; (3) Karang mati berwarna merah; (4) Lamun berwarna hijau; (5) Pasir berwarna kuning.



Gambar 4.11. Hasil *Reclass* Pulau Lemukutan dan Pulau Kabung



Gambar 4.12. Hasil *Reclass* Pulau Randayan, Pulau Penata Besar dan  
Penata Kecil

Keterangan :

(1) Laut berwarna putih; (2) Karang hidup berwarna cyan; (3) Karang mati berwarna merah; (4) Lamun berwarna hijau; (5) Pasir berwarna kuning.

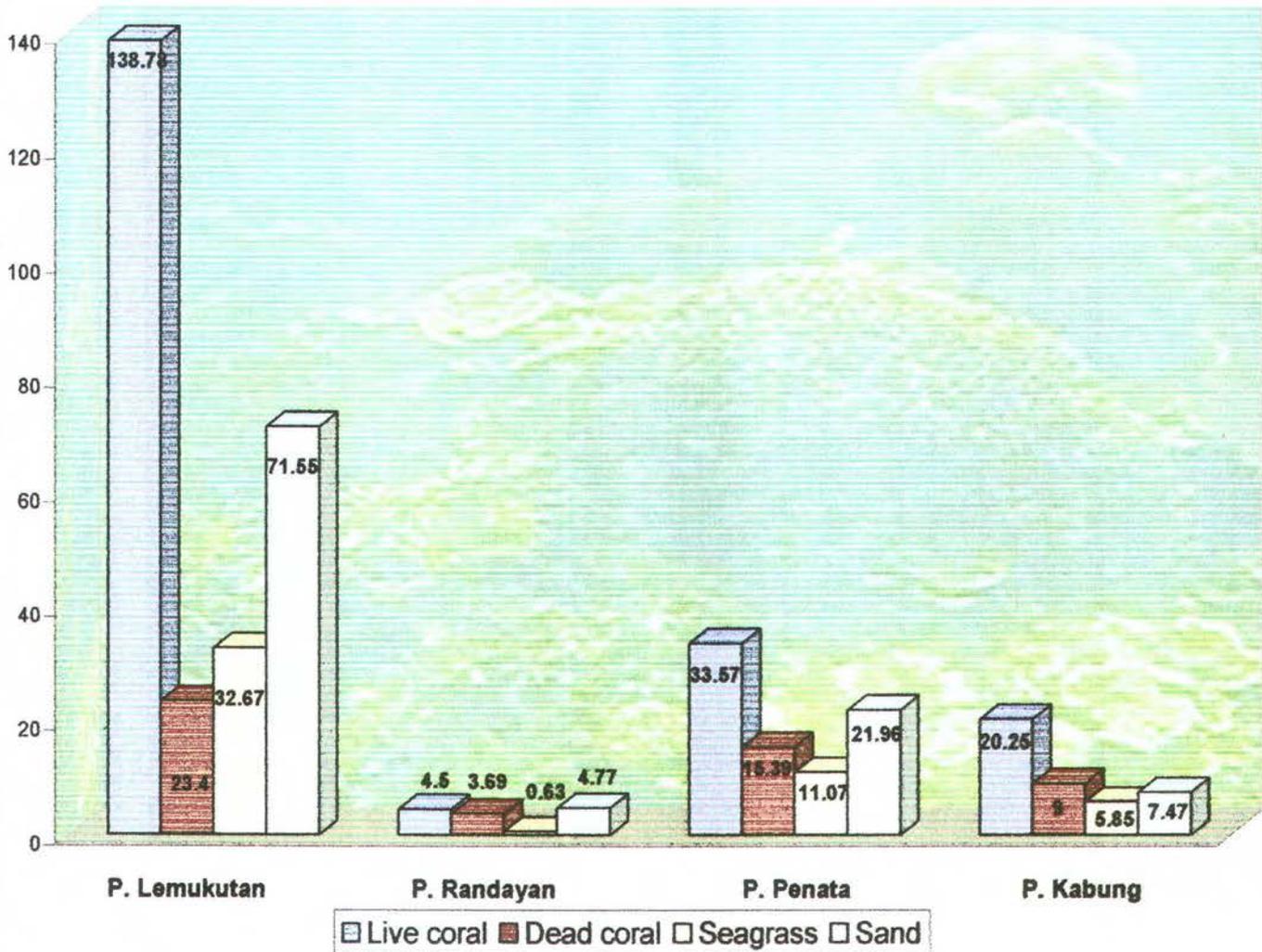
#### 4.2.6. Post Klasifikasi

Berdasarkan hasil klasifikasi dan perhitungan luas area di Pulau Lemukutan memiliki karang hidup 138,78 ha, karang mati 23,40 ha, lamun 32,67 ha dan pasir 71,55 ha; Pulau Randayan memiliki karang hidup 4,50 ha, karang mati 3,69 ha, lamun 0,63 ha dan pasir 4,77 ha; Pulau Penata memiliki karang hidup 33,57 ha, karang mati 15,39 ha, lamun 11,07 ha dan pasir 21,96 ha; Pulau Kabung memiliki karang hidup 20,25 ha, karang mati 9 ha, lamun 5,85 ha dan pasir 7,47 ha. Hasil dari perhitungan statistik terhadap tiap – tiap kelas pada citra dilakukan dengan menggunakan ER – Mapper 6.4 dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Luas area tiap – tiap kelas hasil klasifikasi

Citra Landsat tahun 2002

No.	Kelas	Luas (Ha)				Total
		Lemukutan	Randayan	Penata	Kabung	
1	Laut	5.946,93	451,26	1.897,20	431,01	8.726,40
2	Karang Hidup	138,78	4,50	33,57	20,25	197,10
3	Karang Mati	23,40	3,69	15,39	9	51,48
4	Lamun	32,67	0,63	11,07	5,85	50,22
5	Pasir	71,55	4,77	21,96	7,47	105,75
	JUMLAH	6.213,33	464,85	1.979,19	473,58	9.130,95



Gambar 4.13. Grafik perbandingan luas tutupan lahan di Pulau Lemukutan, Randayan, Penata dan Kabung tahun 2002

Tahap akhir dari post-klasifikasi adalah dengan uji ketelitian terhadap hasil klasifikasi hybrida karena hasil uji ketelitian akan mempengaruhi besarnya kepercayaan pengguna terhadap peta spasial yang dihasilkan. Dalam penelitian ini metoda yang dilakukan untuk uji ketelitian klasifikasi adalah dengan membuat *confusion matrix*. Matriks ini dibuat dari perhitungan pada setiap bentuk penutup lahan dari hasil klasifikasi citra satelit.

Jenis ketelitian yang didapat dari *confusion matrix* ada dua, yaitu ketelitian tiap kelas atau *mapping accuracy* (MA) dan ketelitian keseluruhan hasil klasifikasi (*overall accuracy*). Berdasarkan tabel 4.4 didapatkan *mapping accuracy* (MA) masing-masing kelas adalah kelas laut 84%, karang hidup sebesar 83,33%, karang mati 57,69%, lamun 66,67%, pasir 73,44 %, dan darat memiliki ketelitian 78,26%. Menurut Purwadi (2001), citra hasil klasifikasi dapat dikatakan baik apabila memiliki ketelitian total hasil klasifikasi sebesar 70 %.

Tabel 4.4. Matrik Ketelitian Klasifikasi (*Confusion Matrix*)

Survei Lapangan	Hasil Interpretasi	1	2	3	4	5	6	Total	Omisi Pixel	MA (%)
1. Laut		42	1	2	0	0	0	45	3	84.00
2. Karang Hidup		2	50	1	0	1	0	54	4	83.33
3. Karang Mati		3	2	30	2	6	2	45	15	57.69
4. Lamun		0	1	1	20	3	2	27	7	66.67
5. Pasir		0	2	3	1	47	1	54	7	73.44
6. Daratan		0	0	0	0	0	18	18	0	78.26
Total /KH		47	56	37	23	57	23	243	36	85.19
Komisi (pixel)		5	6	7	3	10	5	36	14.81%	

Dalam penelitian ini, ketelitian keseluruhan hasil klasifikasi (*overall accuracy*) adalah 85,19% , yang didapat dari perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Overall accuracy} &= \frac{\text{Jumlah pixel murni semua kelas}}{\text{Jumlah semua pixel}} \\
 &= \frac{42 + 50 + 30 + 20 + 47 + 18}{243} = 85,19\%
 \end{aligned}$$

### 4.3. Hasil dan Pembahasan Data Lapangan (metode *manta tow*)

Berdasarkan hasil pengamatan dengan menggunakan metode *manta tow* yang dilakukan pada bulan April 2006 bahwa terumbu karang yang terdapat di pulau Lemukutan dan sekitarnya pada umumnya adalah terumbu karang pinggir (*fringing reef*) dan dijumpai beberapa variasi bentuk pertumbuhan terumbu karang, yaitu (1) tipe bercabang (*branching*) yaitu tipe karang yang memiliki cabang dengan ukuran cabang lebih panjang dibandingkan dengan ketebalan atau diameter yang dimilikinya; (2) tipe padat (*massive*) yaitu tipe karang yang berbentuk seperti bola, ukurannya bervariasi mulai dari sebesar telur sampai sebesar ukuran rumah; (3) tipe kerak (*encrusting*) yaitu tipe karang yang tumbuh menutupi permukaan dasar terumbu atau sering ditemukan merambat di atas permukaan biota karang *massive* ataupun karang yang sudah mati; (4) tipe meja (*tabulate*) yaitu tipe karang yang menyerupai meja dengan permukaan yang lebar dan datar; (5) tipe daun (*foliose*) yaitu tipe karang yang tumbuh dalam bentuk lembaran – lembaran yang menonjol pada dasar terumbu, membentuk lipatan yang melingkar dan (6) tipe jamur (*mushroom*) yaitu tipe karang yang berbentuk oval dan tampak seperti jamur.

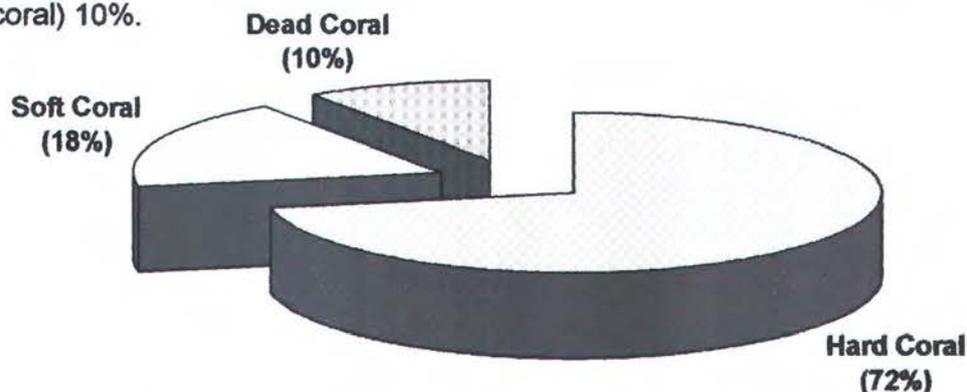
Selain itu juga dijumpai jenis karang lunak (*soft coral*) atau dikenal sebagai *Alcyonaria* merupakan salah satu jenis coelentrata yang tidak kalah penting peranannya dalam pembentukan fisik terumbu karang. Tubuhnya lembek tetapi disokong oleh sejumlah besar duri – duri yang kokoh, berukuran kecil dan tersusun sedemikian rupa sehingga lentur dan tidak mudah putus.

Adapun data tabel *manta tow* dari hasil pengamatan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4. Data dari survey *manta tow*  
(survey dilakukan pada bagian timur pulau Lemukutan, 6 April 2006)

No. Tarikan	Tutupan Karang *			Kedalaman (m)	Kecerahan Air (Kategori)**
	Keras	Lunak	Mati		
1	3	1	1	4	1
2	4	1	1	3,5	1
3	4	1	1	3,5	1
4	2	1	1	5	1
5	4	1	1	4,5	1
6	4	1	1	2,5	1
7	4	1	1	7	1
8	5	1	-	3,5	1
9	3	1	-	3,5	1
10	4	1	-	2	1
11	2	-	-	4,5	1
12	-	-	-	9	1
13	-	-	-	9	1
14	4	1	-	1,5	1
15	4	1	-	4	1
16	4	1	-	6	1

Lokasi survey pada pulau Lemukutan memiliki sisi pantai yang terdiri dari batuan vulkanik dan pasir putih. Tingkat kecerahan (*visibility*) perairan berkisar antara 5 – 7 meter. Berdasarkan tabel 4.4. data dari survey *manta tow* di P. Lemukutan jika di persentase karang keras (*hard coral*) pada kondisi bagus (72%), karang lunak (*soft coral*) 18 %, dan karang mati (*dead coral*) 10%.



Gambar 4.14. Persentase Tutupan Karang di P. Lemukutan

Untuk lokasi survey di Pulau Randayan memiliki hamparan pasir putih yang mengelilingi hampir seluruh pulau dengan kondisi kecerahan air (*visibility*) 10 meter. Kondisi terumbu karang pada bagian barat pulau memiliki kondisi sangat bagus sedangkan di sisi timur pulau tutupan terumbu karang sangat kurang dan didominasi oleh karang mati dengan persentase hard coral 45%, soft coral 27% dan dead coral 28%.

Tabel 4.5. Data dari survey *manta tow*  
(survey dilakukan mengelilingi pulau Randayan, 8 April 2006)

No. Tarikan	Tutupan Karang *			Kedalaman (m)	Kecerahan Air (Kategori)**
	Keras	Lunak	Mati		
1	4	3	2	6	1
2	4	3	2		1
3	3	1	2		1
4	4	3	2		1
5	4	1	2	5,5	1
6	3	3	2		1
7	3	3	2		1
8	4	3	2		1
9	4	3	2	5,5	1
10	4	1	2		1
11	4	3	2		1
12	3	1	2		1
13	3	1	2		1
14	3	3	2	4	1
15	3	3	2		1
16	4	1	2		1
17	3	2	2		1
18	3	2	2		1
19	3	1	2		1
20	3	1	2		1
21	3	2	2		1
22	3	1	2		1
23	2	1	2	4,5	1
24	3	1	2		1
25	2	1	2		1

**Keterangan :**

\* Kategori dari persentase tutupan karang

Kategori 1 = 0 – 10 %

Kategori 2 = 11 – 30 %

Kategori 3 = 31 – 50 %

Kategori 4 = 51 – 75 %

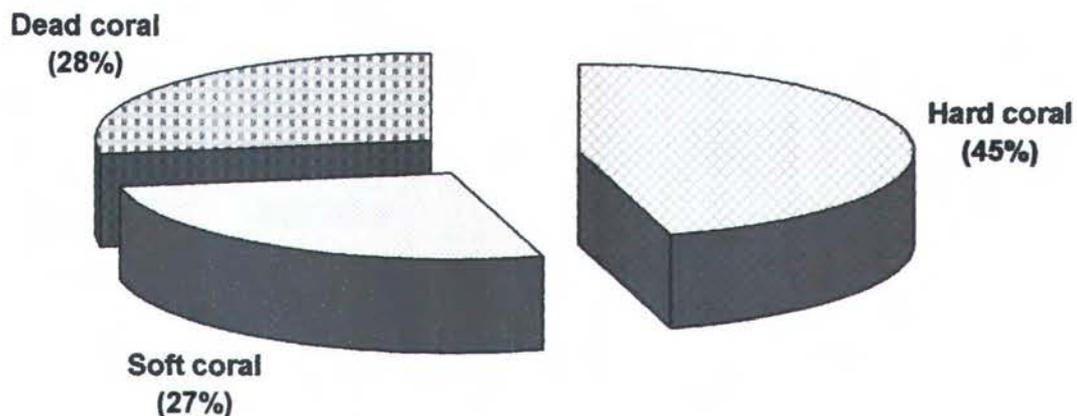
Kategori 5 = 76 – 100 %

\*\* Kategori dari kecerahan air

Kategori 1 = 0 – 6 meter

Kategori 2 = 7 – 12 meter

Kategori 3 = 13 – 18 meter



Gambar 4.15. Persentase Tutupan Karang di P. Randayan

Dari pengamatan yang dilakukan dan hasil dari wawancara dengan nelayan serta penduduk setempat bahwa kerusakan dan penurunan kualitas terumbu karang di kawasan sekitar pulau Randayan adalah akibat aktivitas eksploitasi perikanan yang tidak ramah lingkungan, seperti penggunaan bahan peledak, pembiusan untuk ikan, dan bubu tindis. Selain itu pula beberapa faktor alamiah seperti tingginya tingkat kekeruhan perairan menyebabkan kurangnya penetrasi cahaya matahari yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan karang. Rata – rata perairan di kawasan ini memiliki

pertumbuhan karang hanya sampai pada kedalaman 10 meter karena adanya faktor pembatas dari penetrasi sinar matahari.

Untuk jenis ikan-ikan karang di Pulau Lemukutan dan sekitarnya masih dijumpai ikan yang memiliki nilai ekonomis penting seperti ikan kerapu, baronang, lobster, kakap, tiram dan algae (rumput laut).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi sebaran dan kondisi terumbu karang dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh dan metode manta tow maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- (1) Dari hasil klasifikasi hibrida terhadap Citra Landsat – 7 ETM tahun 2002 *path 122 row 59* didapat 5 kelas tutupan lahan di Pulau Lemukutan, Pulau Randayan, Pulau Penata dan Pulau Kabung; yaitu laut, karang hidup, karang mati, lamun dan pasir.
- (2) Luas tiap – tiap kelas berdasarkan perhitungan statistik terhadap hasil klasifikasi dengan menggunakan algoritma Lyzenga yaitu Pulau Lemukutan memiliki karang hidup 138,78 ha, karang mati 23,40 ha, lamun 32,67 ha dan pasir 71,55 ha; Pulau Randayan memiliki karang hidup 4,50 ha, karang mati 3,69 ha, lamun 0,63 ha dan pasir 4,77 ha; Pulau Penata memiliki karang hidup 33,57 ha, karang mati 15,39 ha, lamun 11,07 ha dan pasir 21,96 ha; Pulau Kabung memiliki karang hidup 20,25 ha, karang mati 9 ha, lamun 5,85 ha dan pasir 7,47 ha.
- (3) Hasil uji ketelitian dengan menggunakan *confusion matrix* terhadap tiap – tiap kelas adalah laut 84%, karang hidup sebesar 83,33%, karang mati 57,69%, lamun 66,67%, pasir 73,44 %, dan darat memiliki ketelitian 78,26% dengan nilai ketelitian keseluruhan hasil klasifikasi (*overall accuracy*) adalah 85,19%.

- (4) Berdasarkan hasil pengamatan dengan menggunakan metode *manta tow* yang dilakukan pada bulan April 2006 bahwa terumbu karang yang terdapat di pulau Lemukutan dan sekitarnya pada umumnya adalah terumbu karang pinggir (*fringing reef*) dan dijumpai beberapa variasi bentuk pertumbuhan terumbu karang, yaitu tipe bercabang (*branching*), padat (*massive*), kerak (*encrusting*), meja (*tabulate*), daun (*foliose*) dan jamur (*mushroom*). Selain itu juga dijumpai jenis karang lunak (*soft coral*).
- (5) Kondisi terumbu di Pulau Lemukutan dalam kondisi masih baik namun telah terjadi kerusakan dan penurunan kualitas terumbu karang di kawasan sekitar Pulau Randayan dikarenakan adanya aktivitas eksploitasi perikanan yang tidak ramah lingkungan, seperti penggunaan bahan peledak, pembiusan untuk ikan, dan bubu tindis. Selain itu pula beberapa faktor alamiah seperti tingginya tingkat kekeruhan perairan menyebabkan kurangnya penetrasi cahaya matahari yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan karang.

### 5.2. Saran

Pembinaan oleh pemerintah atau lembaga pemerhati terumbu karang terhadap masyarakat Pulau Lemukutan dan sekitarnya sangat diperlukan agar tidak terjadi kerusakan yang lebih parah terhadap ekosistem terumbu karang yang masih ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri Nur Kholis, 2005. Pemetaan Sebaran Terumbu Karang di Kepulauan Karimun Jawa Menggunakan Citra Satelit Landsat. Skripsi. Fakultas Teknik Geodesi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Anonymous, 2004. *Laporan Akhir : Identifikasi Potensi Pulau – Pulau Kecil Propinsi Kalimantan Barat*, Dinas Kelautan dan Perikanan Propinsi Kalimantan Barat.
- Anonymous, 2005. *Laporan Akhir : Penyusunan Master Plan Kawasan Konservasi Laut Daerah Kabupaten Bengkayang*, Dinas Kelautan dan Perikanan Propinsi Kalimantan Barat.
- Bass, D.K. and Miller, I.R., 1996. Crown-of-thorns starfish and coral surveys using the manta tow and scuba search techniques, Long-term Monitoring of the Great Barrier Reef Standard Operational Procedure Number 1; Australian Institute of Marine Science Townsville
- Bengen, Dietrich, G., 2004. *Ragam Pemikiran Menuju Pembangunan Pesisir dan Laut Berkelanjutan Berbasis Eko – Sosiosistem*. Pusat Pembelajaran Dan Pengembangan Pesisir dan Laut, Bogor.
- Budhiman Syarif, 2001. *Praktikum Umum : Pendidikan dan Pelatihan Penginderaan Jauh Tingkat Dasar Terampil Angkatan I*.
- Burke Laretta, Selig Elizabeth, and Spalding Mark, 2001. *Terumbu Karang Yang Terancam Di Asia Tenggara*. ISBN 1-56973-490-9

- Dahuri, R., Rais J., Ginting, S.P., Sitepu, M.J., 2001. *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. Edisi Revisi Cetakan Ketiga Penerbit PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- English A., Wilkinson C. And Baker J. 1994. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. Australian Institute of Marine Science. Townsville.
- Green. P, Clark, Edwards, 1999. *Remote Sensing Handbook For Tropical Coastal Management*. CSI-UNESCO.
- Johan, Ofri, 2003. *Metode Survei Terumbu Karang Indonesia*. Disampaikan pada acara Training Course: Karakteristik Biologi Karang, tanggal 7-12 Juli 2003, yang diselenggarakan oleh PSK-UI dan Yayasan TERANGI, dan didukung oleh IOI-Indonesia.
- Kuchler, A.D., D.L.B. Jupp, R. Clasen, W. Bour, 1986. *Coral Reef Remote Sensing Applications*. Regional Seminar on The Application of remote Sensing Techniques to Coastal Zone Management and Environmental Monitoring, Dhaka. Bangladesh.
- Lillesand, Thomas, M. and Kiefer, Ralph, W., 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Terjemahan dari *Remote Sensing and Image Interpretation* oleh Dulbari. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Lyzenga, D. R., 1978. *Shallow Water Bathymetry Using Combined Lidar and Passive Multispectral Scanner Data*. *International Journal Remote Sensing* Vol. 6 No. 1.

- Lyzenga, D. R., 1981. Remote Sensing Of Bottom Reflectance And Water Attenuation Parameters. *International Journal of Remote Sensing* Vol 2, 2, 71-82.
- Manurung, T., Wijayanto I., Sumantri H., Nugroho A.T., Christianto A., Nugroho Y., 2005. Pemetaan Land Use Land Cover (LULC) dari Citra Penginderaan Jauh Landsat7 ETM+ untuk Wilayah Mamberamo dan Raja Ampat Provinsi Papua
- Purwadhi, H.Sri, 2001. *Interpretasi Citra Dijital*. Jakarta
- Rauf Abdul , 2000. Penentuan Zonasi dan Kondisi Terumbu Karang Dengan Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh di Kepulauan Spermonde Selat Makasar, Sulawesi Selatan. Tesis, Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Roger, C.S., Garrison, G., Grober, R., Hillis, Z.M., Franke, M.A., 1994. *Coral Reef Monitoring Manual for The Caribbean and Western Atlantic*
- Siswandono, 1988. *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.
- Siregar, V., 1995. Pemetaan Terumbu Karang dengan Menggunakan Kombinasi Citra Satelit SPOT – 1 Kanal XS1 dan XS2. Aplikasi pada Karang Congkak dan Karang Lebar di Kepulauan Seribu, Jakarta Utara. *Buletin PSP Volume 1 Nomor 1*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- Suharsono, 1998. Jenis – jenis Karang Yang Umum Dijumpai di Perairan Indonesia. Proyek Penelitian dan Pengembangan Daerah Pantai. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oceanologi – LIPI. Jakarta.
- Sukmara, A., A.J. Siahainenia dan C. Rotinsulu. 2001. Panduan Pemantauan Terumbu Karang Berbasis-Masyarakat Dengan Metoda Manta Tow. Proyek Pesisir. Publikasi Khusus. University of Rhode Island, Coastal Resources Center, Narragansett, Rhode Island, USA.
- Sukmantalya, I Nyoman, 2004. Penginderaan Jauh dan Peta Tematik (Studi Kasus Pengenalan Bentuk Lahan Wilayah Pesisir Teluk Banten dan Derah Sekitarnya, Propinsi Banten) Materi Pelatihan : Aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis Untuk Pemetaan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut, BAKOSURTANAL – Cibinong.
- Sulma, Sayidah. 2000. Aplikasi Penginderaan Jauh Dalam Kajian Sebaran Karakteristik Dasar Perairan Ekosistem Terumbu Karang Di Kepulauan Kangean, Jawa Timur. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Sutanto, 1992. Penginderaan Jauh Jilid I dan II. Gajah Mada Press. Yogyakarta



ITS  
Institut Teknologi  
Sepuluh Nopember

**EVALUATING DISTRIBUTION AND CONDITION  
OF CORAL REEFS USING REMOTE SENSING  
TECHNOLOGY AND MANTA TOW METHOD  
IN BENGKAYANG REGENCY**

**MAP OF DISTRIBUTION  
OF CORAL REEF  
IN BENGKAYANG REGENCY**

**NOTE :**

-  Live coral
-  Dead coral
-  Sand
-  Seagrass
-  Sea
-  Land

**BY :**

**KRIS HANDOKO  
NRP. 4104 205 707**

**SUPERVISOR :**

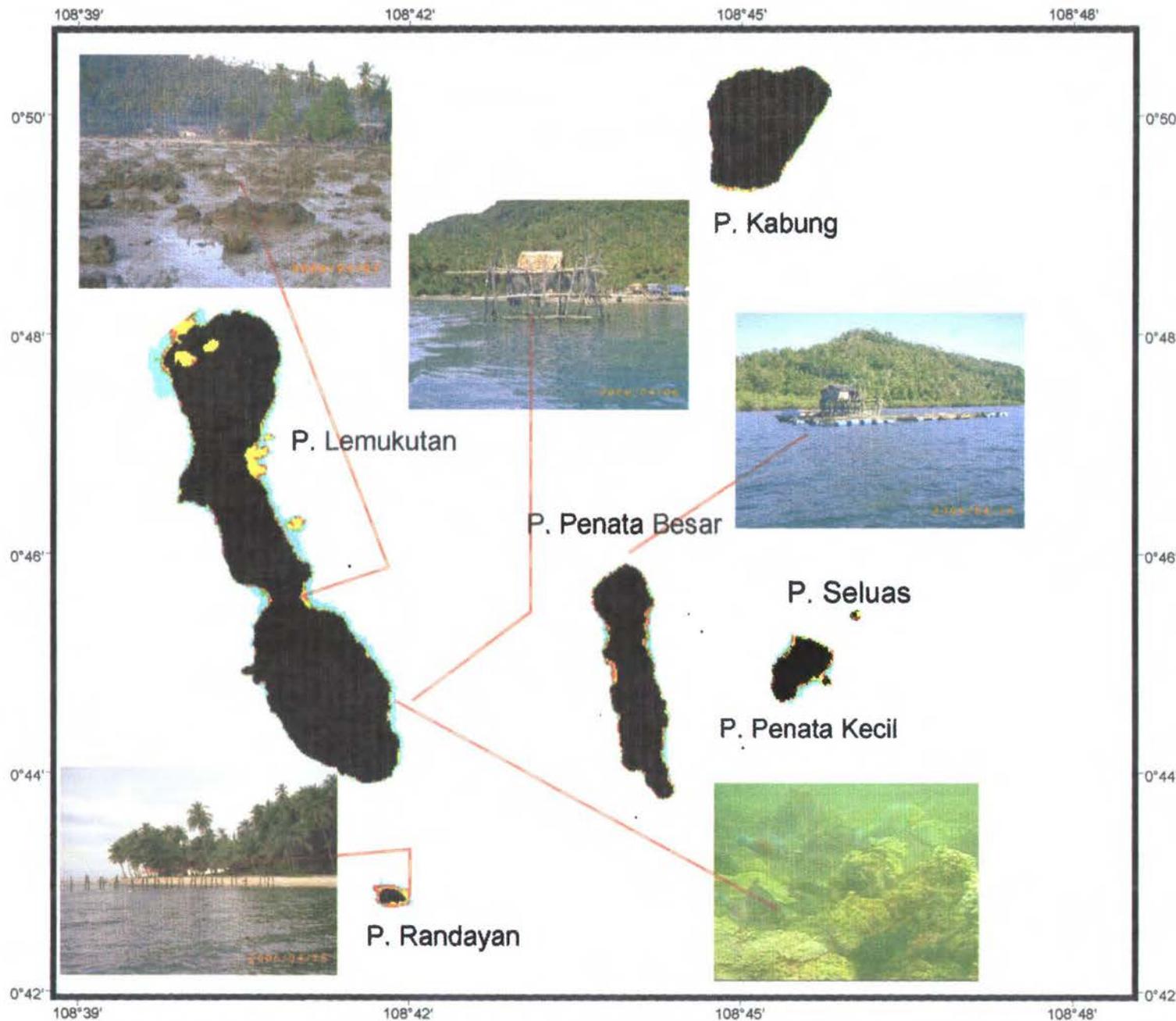
1. Dr. Ing. Ir. Teguh Haryanto, M.Sc.
2. Ir. Arief Suroso, M.Sc.

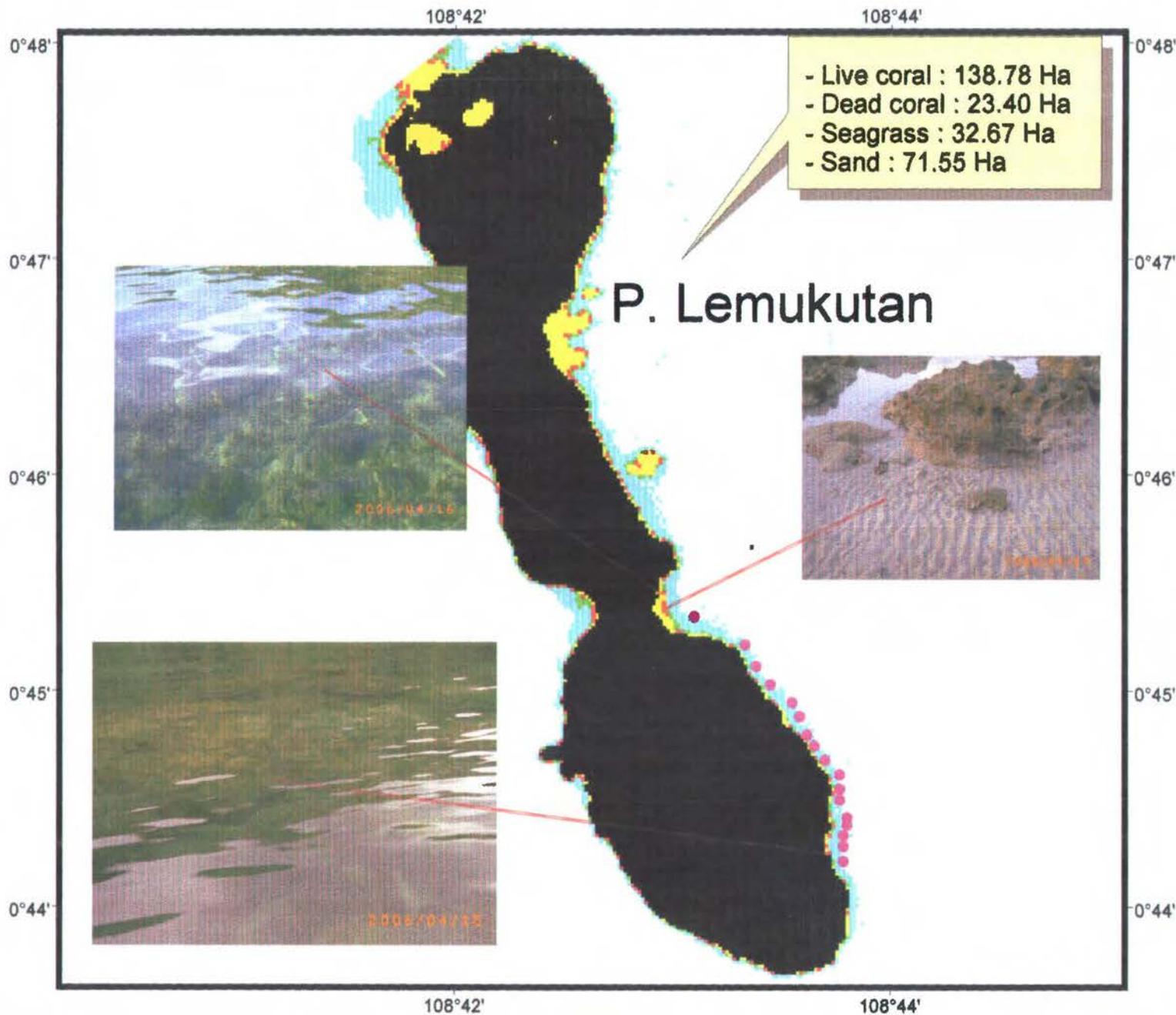


Scale 1 : 100.000

**Sources :**

- Landsat TM 7 at 2002
- Manta Tow Survey at May 2006





**THESIS**  
 INTERNATIONAL/SANDWICH MASTER DEGREE  
 TECHNIQUE AND COASTAL MANAGEMENT  
 ITS - SURABAYA  
 2006

EVALUATING DISTRIBUTION AND CONDITION  
 OF CORAL REEFS USING REMOTE SENSING  
 TECHNOLOGY AND MANTA TOW METHOD  
 IN BENGKAYANG REGENCY

MAP OF DISTRIBUTION  
 OF CORAL REEF  
 AT LEMUKUTAN ISLAND

**NOTE :**

- Position of manta tow survey
- Live coral
- Dead coral
- Sand
- Sea grass
- Sea
- Land

BY :

**KRIS HANDOKO**  
 NRP. 4104 205 707

SUPERVISOR :

1. Dr. Ing. Ir. Teguh Haryanto, M.Sc.
2. Ir. Arief Suroso, M.Sc.



Skala 1 : 50.000

Sources :

- Landsat TM 7 at 2002
- Manta Tow Survey in May 2006

108°43'30"

108°44'00"

0°43'00"

0°43'00"

0°42'30"

0°42'30"

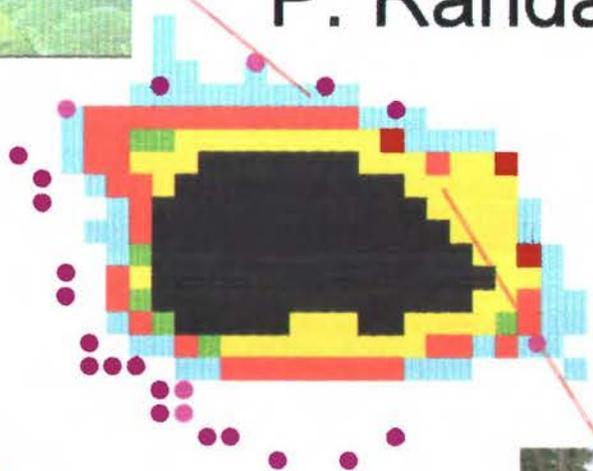
108°43'30"

108°44'00"



- Live coral : 4.50 Ha  
 - Dead coral : 3.69 Ha  
 - Seagrass : 0.63 Ha  
 - Sand : 4.77 Ha

# P. Randayan



**THESIS**  
 ITS  
 INTERNATIONAL SANDWICH MASTER DEGREE  
 TECHNIQUE AND COASTAL MANAGEMENT  
 ITS - SURABAYA  
 2008

EVALUATING DISTRIBUTION AND CONDITION  
 OF CORAL REEFS USING REMOTE SENSING  
 TECHNOLOGY AND MANTA TOW METHOD  
 IN BENGKAYANG REGENCY

MAP OF DISTRIBUTION  
 OF CORAL REEF  
 AT RANDAYAN ISLAND

**NOTE :**

- Position of manta tow survey
- Live coral
- Dead coral
- Sand
- Sea grass
- Sea
- Land

BY :  
 KRIS HANDOKO  
 NRP. 4104 205 707

SUPERVISOR :  
 1. Dr. Ing. Ir. Teguh Haryanto, M.Sc.  
 2. Ir. Arief Suroso, M.Sc.

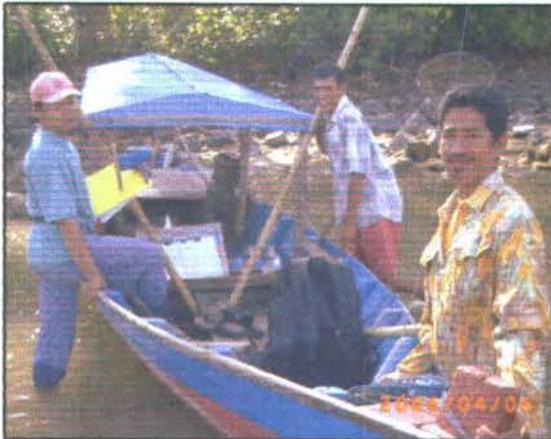
Skala 1 : 10.000

Sources :  
 - Landsat TM 7 at 2002  
 - Manta Tow Survey in May 2006

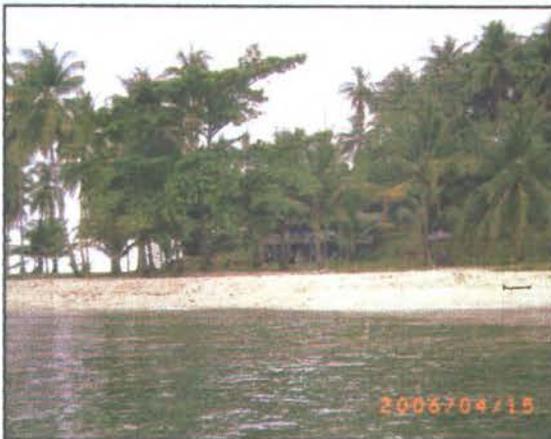
Lampiran 1. Peralatan dan Aktivitas Pengambilan Data *Manta Tow*



Papan manta, tali, masker, snorkel, fin, alat tulis bawah air, GPS



Perahu dan wet suit yang digunakan saat pengambilan data *manta tow*

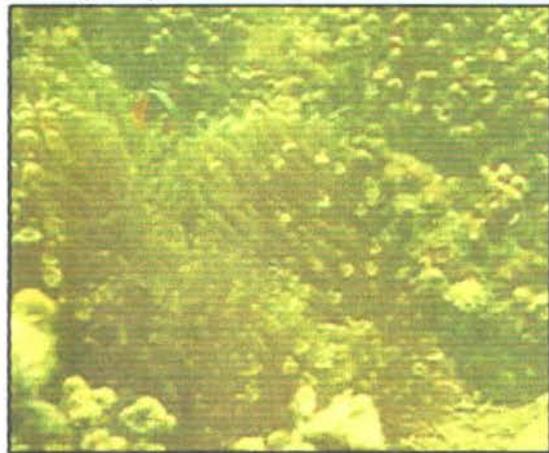


Aktivitas penyelaman di sekitar Pulau Randayan bersama Club Diving dari Pontianak

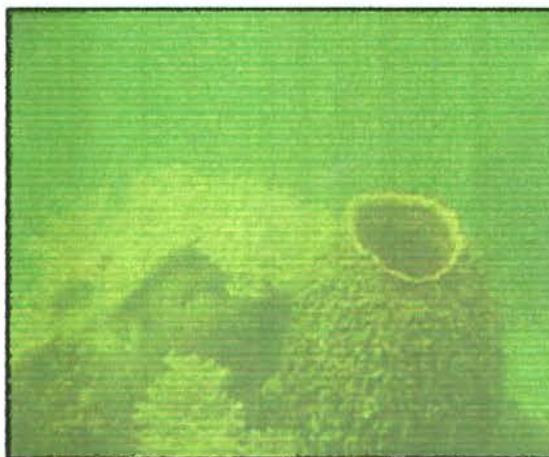
Lampiran 2. Beberapa Jenis Terumbu Karang Yang dijumpai di Perairan Kabupaten Bengkayang



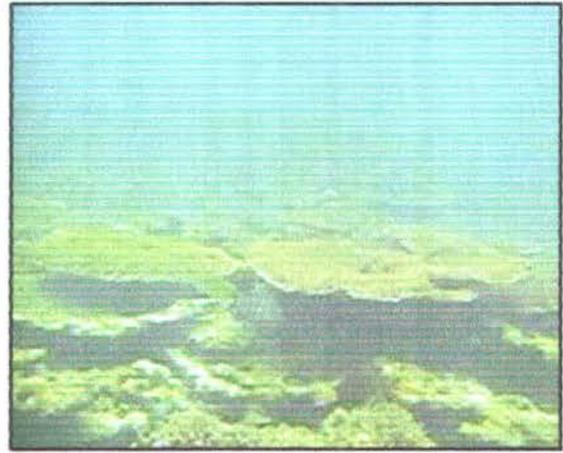
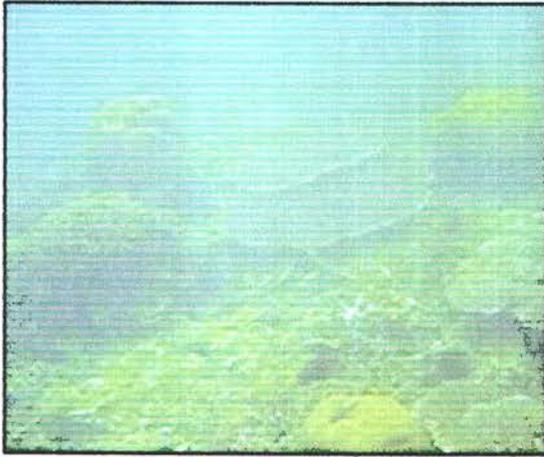
Acropora Tabulate (ACT)



Acropora Submassive (ACS)



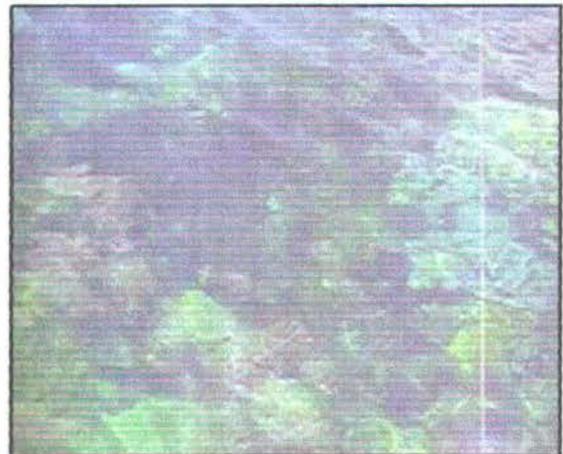
Sponge (Sp)



**Acropora Tabulate (ACT)**



**Acropora Branching (ACB)**

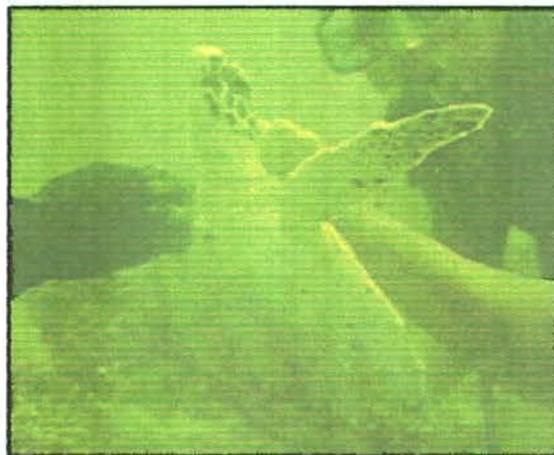
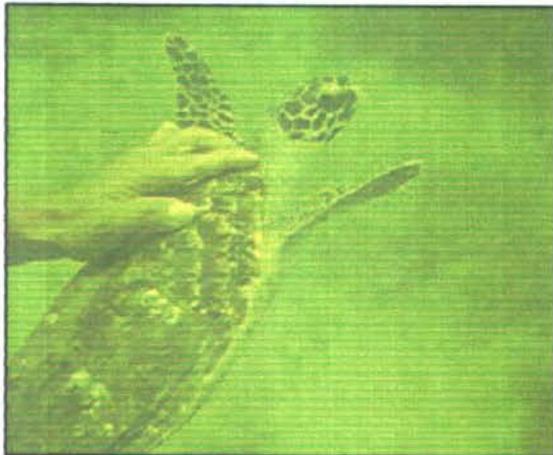


**Acropora Encrusting (ACE)**

Lampiran 3. Beberapa Jenis Ikan Yang dijumpai di Perairan Kabupaten Bengkayang



Parot Fish (Ikan Kakak Tua)



Penyu Sisik (*Eretmochelys imbricata*)

## Lampiran 4. Data koordinat dari survey manta tow di Pulau Lemukutan

Hari/ Tanggal : Kamis, 6 April 2006

Waktu : 15.54 – 17.00 Wib.

No. Tarikan	Posisi			
	Awal		Akhir	
	North	East	North	East
0	00° 45' 35'	108° 42' 57'	00° 45' 28'	108° 43' 08'
1	00° 45' 27'	108° 43' 11'	00° 45' 23'	108° 43' 13'
2	00° 45' 21'	108° 43' 14'	00° 45' 18'	108° 43' 17'
3	00° 45' 16'	108° 43' 18'	00° 45' 12'	108° 43' 23'
4	00° 45' 11'	108° 43' 24'	00° 45' 08'	108° 43' 25'
5	00° 45' 07'	108° 43' 26'	00° 45' 03'	108° 43' 27'
6	00° 45' 02'	108° 43' 28'	00° 45' 00'	108° 43' 30'
7	00° 44' 59'	108° 43' 30'	00° 44' 56'	108° 43' 33'
8	00° 44' 55'	108° 43' 33'	00° 44' 51'	108° 43' 36'
9	00° 44' 51'	108° 43' 37'	00° 44' 48'	108° 43' 36'
10	00° 44' 47'	108° 43' 37'	00° 44' 44'	108° 43' 37'
11	00° 44' 44'	108° 43' 37'	00° 44' 39'	108° 43' 38'
12	00° 44' 39'	108° 43' 39'	00° 44' 37'	108° 43' 39'
13	00° 44' 37'	108° 43' 39'	00° 44' 34'	108° 43' 38'
14	00° 44' 34'	108° 43' 38'	00° 44' 32'	108° 43' 38'
15	00° 44' 31'	108° 43' 38'	00° 44' 28'	108° 43' 38'
16	00° 44' 27'	108° 43' 38'	00° 44' 23'	108° 43' 39'

## Lampiran 5. Data koordinat dari survey manta tow di Pulau Randayan

Hari/ Tanggal : Sabtu, 8 April 2006

Waktu : 09.00 – 10.32 Wib.

No. Tarikan	Posisi			
	Awal		Akhir	
	North	East	North	East
0	00° 42" 58'	108° 43" 42'	00° 43" 00'	108° 43" 39'
1	00° 43" 00'	108° 43" 38'	00° 43" 01'	108° 43" 36'
2	00° 43" 01'	108° 43" 35'	00° 43" 01'	108° 43" 32'
3	00° 43" 02'	108° 43" 32'	00° 43" 01'	108° 43" 28'
4	00° 43" 01'	108° 43" 28'	00° 43" 00'	108° 43" 24'
5	00° 43" 00'	108° 43" 24'	00° 42" 59'	108° 43" 22'
6	00° 42" 58'	108° 43" 22'	00° 42" 57'	108° 43" 23'
7	00° 42" 57'	108° 43" 23'	00° 42" 56'	108° 43" 23'
8	00° 42" 56'	108° 43" 23'	00° 42" 53'	108° 43" 24'
9	00° 42" 53'	108° 43" 24'	00° 42" 52'	108° 43" 24'
10	00° 42" 52'	108° 43" 24'	00° 42" 51'	108° 43" 24'
11	00° 42" 51'	108° 43" 29'	00° 44" 50'	108° 43" 25'
12	00° 42" 50'	108° 43" 25'	00° 44" 49'	108° 43" 25'
13	00° 42" 49'	108° 43" 25'	00° 43" 49'	108° 43" 26'
14	00° 42" 49'	108° 43" 26'	00° 43" 49'	108° 43" 27'
15	00° 42" 49'	108° 43" 27'	00° 43" 49'	108° 43" 27'
16	00° 42" 48'	108° 43" 28'	00° 43" 48'	108° 43" 29'
17	00° 42" 48'	108° 43" 29'	00° 43" 47'	108° 43" 29'
18	00° 42" 47'	108° 43" 29'	00° 43" 47'	108° 43" 29'
19	00° 42" 47'	108° 43" 28'	00° 43" 46'	108° 43" 29'
20	00° 42" 46'	108° 43" 30'	00° 43" 46'	108° 43" 31'
21	00° 42" 46'	108° 43" 31'	00° 43" 46'	108° 43" 33'
22	00° 42" 45'	108° 43" 33'	00° 43" 45'	108° 43" 35'
23	00° 42" 45'	108° 43" 36'	00° 42" 46'	108° 43" 37'
24	00° 42" 46'	108° 43" 38'	00° 42" 49'	108° 43" 43'
25	00° 42" 50	108° 43" 44'	00° 42" 52'	108° 43" 45'

Lampiran 6. Perhitungan nilai statistik nilai digital band 1 dan band 2 pada citra Pulau Penata

No Titik Sampel	Nilai Digital	
	Band 1	Band 2
1	79	56
2	86.167	66.5
3	85.273	65.182
4	82.7	62
5	81.4	60.7
6	85.75	67
7	83.556	64.667
8	80.444	59.333
9	85	66.4
10	85.333	67
11	83.357	63.214
12	83.818	63.091

Varian Band 1 : 5.062659

Varian Band 2 : 11.81677

Covarian Band 1,2 : 6.929071

$$a = \frac{\text{Varian Band 1} - \text{Varian Band 2}}{\text{Covarian Band 1,2}}$$

-0.48738

=

$$ki/kj = \frac{a}{a + \sqrt{a^2 + 1}}$$

= 0.62507

Lampiran 7. Perhitungan nilai statistik nilai digital band 1 dan band 2 pada  
citra Pulau Kabung

No Titik Sampel	Nilai Digital	
	Band 1	Band 2
1	92.75	72.25
2	100.667	80.667
3	102.875	82.25
4	102.889	83.778
5	93.75	73.75
6	93	75
7	93.25	74.5
8	96	80
9	93	70

Varian Band 1 : 19.46875

Varian Band 2 : 23.53171

Covarian Band 1,2 : 17.43336

$$a = \frac{\text{Varian Band 1} - \text{Varian Band 2}}{\text{Covarian Band 1,2}}$$
$$= -0.11653$$

$$k_i/k_j = \frac{a + \sqrt{a^2 + 1}}{2}$$
$$= 0.890238$$

Lampiran 8. Perhitungan nilai statistik nilai digital band 1 dan band 2 pada citra Pulau Lemukutan

No Titik Sampel	Nilai Digital	
	Band 1	Band 2
1	85	67
2	87	69
3	84	66
4	97.333	71.667
5	88.75	69.25
6	111.444	90.833
7	98.28	80.56
8	99	79.333
9	80	60
10	0	0
11	78	57.5
12	78.25	60.083
13	107.647	83.294
14	77.667	55
15	76	56
16	80.111	61.222
17	86.4	69
18	79.667	56.667
19	82.625	63.125
20	76.667	54.667
21	77	56
22	83.75	66.75
23	77	54
24	84	58
25	84.5	61
26	106	79.75
27	77.667	55.667
28	79.5	59
29	85	67
30	82	64
31	81.5	58.5

Varian Band 1 : 1008.696  
 Varian Band 2 : 611.5344  
 Covarian Band 1,2 : 757.6235

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\text{Varian Band 1} - \text{Varian Band 2}}{\text{Covarian Band 1,2}} \\
 &= 0.26211 \\
 ki/kj &= \frac{a + \sqrt{a^2 + 1}}{1} \\
 &= 1.295891
 \end{aligned}$$

Lampiran 9. Perhitungan nilai statistik nilai digital band 1 dan band 2 pada citra Pulau Randayan

No Titik Sampel	Nilai Digital	
	Band 1	Band 2
1	82	60
2	113	105
3	85.5	68.5
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	85	66
8	127.667	123
9	116	109.667
10	87	71.5
11	97.333	84.333

Varian Band 1 : 2358.562  
Varian Band 2 : 2002.213  
Covarian Band 1,2 : 1952.294

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{Varian Band 1} - \text{Varian Band 2}}{\text{Covarian Band 1,2}} \\ &= 0.091264 \\ ki/kj &= a + \sqrt{a^2 + 1} \\ &= 1.09542 \end{aligned}$$