

*A*nalisis Geomorfologi Terumbu di Kabupaten Sikka

Dra. Wikanti Asriningrum, M.Si
Muchlisin Arief, Ph.D
Dr. Boedi Tjahjono

Landsat RGB 421
Kabupaten Sikka, NTT

P. Sukun

P. Palue

P. Pomana

Gosong-goni

P. Babi

P. Besar

Kutipan Pasal 72

Ketentuan Pidana Pelanggaran Hak Cipta, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2002.

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/ atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/ atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/ atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Analisis Geomorfologi Terumbu di Kabupaten Sikka

Dra. Wikanti Asriningrum, M.Si
Muchlisin Arief, Ph.D Dr.
Boedi Tjahjono

Wikanti Asriningrum

**Analisis geomorfologi terumbu di Kabupaten
sikka / Wikanti Asriningrum, Muchlisin Arief,
Boedi Tjahjono. Jakarta : Massma Sikumbang,
2008.**

84 hal. ; 21 cm

**Termasuk Bibliografi ISBN :
978-979-18314-1-3**

**T. Terumbu Karang.
II. Muchlisin Arief.**

**I. Judul
III. Boedi Tjahjono.
578.778 9**

feover Design : Marhamis S
Layouter : Indrayadi, Andy Ferdinand

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak
dalam bentuk apapun, bila tidak ada izin
tertulis dari penerbit.

Diterbitkan oleh:
Massma Publishing, anggota IKAPI Jalan
Dermaga No. 57 Balekambang, Jakarta
13530 Telp. 021-8008227, Fax. 021-
8090526 Email:
massma_2006@yahoo.com

Percetakan: PT. Massma Sikumbang Isi
diluar tanggung jawab percetakan

Kata Sambutan

Saya menyambut dengan gembira kehadiran buku, yang berjudul "Analisis Geomorfologi Terumbu di Kabupaten Sikka", yang ditulis oleh para pakar dalam bidangnya masing-masing. Khususnya diterapkannya teknologi penginderaan jauh dalam analisis genesis terumbu karang. Walaupun buku ini mengkonsentrasi penelitiannya di Kabupaten Sikka, saya percaya, bahwa teknologi ini dapat diterapkan di mana saja di Indonesia.

Terumbu karang adalah salah satu ekosistem pesisir laut yang sangat peka terhadap ancaman antropogenik, dan antara lain, isu-isu yang dapat terjadi di Indonesia: (a) meningkatnya turbiditas air dan sedimentasi yang disebabkan oleh penggundulan hutan dan penggunaan jahan yang tak-lestari yang dibawa melalui aliran air dari daratan khususnya dalam suatu Daerah Aliran Sungai, (b) eksploitasi lebih dari sumberdaya pesisir dan laut, serta penggunaan bahan eksplosif dalam penangkapan ikan di daerah terumbu karang; (c) Eutrofikasi dan stress kimiawi dari pembangunan di lahan daratan, seperti urbanisasi, industrialisasi, pertanian dan pembuangan limbah.

Ekosistem terumbu karang juga memainkan peranan yang sangat penting dalam siklus bio-geokimiawi global. Terumbu karang di Indonesia mempunyai peranan khusus dalam melindungi ribuan pulau-pulau karang dari dampak naiknya muka laut global dengan laju yang diperkirakan saat ini 10 mm per tahun atau naik 1 m pada akhir abad ini, jika tidak ada usaha menghentikan emisi karbon dioksida pada tahun 2025, jikapun ada air laut akan naik sekitar 65 cm pada tahun 2100 berdasarkan prediksi IPCC (1993)

Untuk mengelola terumbu karang dari ancaman antropogenik maupun endogenik, diperlukan data dasar berupa karakter fisik terumbu karang dan klasifikasinya berdasarkan geomorfologis maupun berdasarkan dinamika substratnya. Dalam kaitan ini para penulis memperkenalkan pemanfaatan citra satelit, baik Landsat maupun Quickbird dalam analisis, dan dalam mengembangkan algoritma dalam evaluasinya.

Semoga buku ini bermanfaat bagi para peneliti khususnya maupun para pengelola sumberdaya pesisir dan laut umumnya.



Prof. Dr. Ir. Jacob Rais, M.Sc. .
Gurubesar Emeritus ITB
Anggota Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (AIPI)
Jakarta, 24 Juni 2008

-Kata Sambutan

Sebuah buku berjudul “Analisis Geomorfologi Terumbu di Kabupaten Sikka”, yang baru dipublikasikan ini, merupakan aplikasi penginderaan jarak jauh satelit yang secara khusus untuk menganalisis genesis terumbu karang. Sampai saat ini orang telah menggunakan teknologi penginderaan satelit untuk memprediksi luasan terumbu karang dan memisahkan bentang alam di pulau-pulau kecil, namun demikian metodenya masih belum terdokumentasi secara terstruktur, buku ini menjawab untuk melengkapi kekurangan dalam interpretasi data penginderaan jarak jauh satelit, melalui beberapa tahapan metode dan analisis. Dari pembelajaran hasil penelitian di Kabupaten Sikka, tentunya diharapkan teknologi ini dapat disebarluaskan untuk keperluan analisis di kepulauan seluruh Indonesia.

Potensi sumberdaya alam dan jasa lingkungan yang terdapat di Indonesia yang dikenal sebagai Pusat Keanekaragaman Terumbu Karang Dunia, telah memberikan makna yang sangat nyata bagi perekonomian dari sektor perikanan dan kelautan, khususnya bagi masyarakat pesisir (60% dari penduduk Indonesia), selain juga memberikan inspirasi bagi peneliti untuk terus melakukan penelitian untuk mendapatkan hasil yang *up to date* dan lebih obyektif tentang ekosistem terumbu karang, yang memang informasi tentangnya masih minim.

Metode analisis spektral dalam penginderaan jarak jauh yang dikembangkan pada buku ini berhasil membuat klasifikasi geomorfologi. Untuk kepentingan pengelolaan dan konservasi terumbu karang, maka karakter fisik dan dinamika substrat sangat penting, dimana klasifikasi prioritas dan target konservasi sangat ditentukan oleh karakter fisik dan dinamika substrat, selain aspek biologi dari terumbu karang itu sendiri.

Paradigma pengelolaan sumberdaya perikanan sedang mengarah kepada pendekatan non-konvensional yaitu pendekatan ekosistem (*ecosystem approach to fisheries management*), maka, kondisi dan perubahan ekosistem terumbu karang yang merupakan habitat ikan karang, perlu kiranya diketahui dengan lebih baik, baik dari aspek geomorfologi terumbu maupun aspek biologi karangnya,

karena keduanya merupakan kesatuan dari suatu ekosistem.
Mengingat luasnya terumbu karang di negara kita penggunaan teknologi
penginderaan jarak jauh sateit sangatlah
tepat digunakan.

Saya merekomendasikan buku ini untuk dibaca oleh para
peneliti dan mahasiswa pasca sarjana yang mendalami ilmu dan
teknologi pemanfaatan dan pengelolaan sumberdaya alam laut,
khususnya yang menekuni teknik penginderaan jarak jauh.

Dr Ir. Budy Wiryawan, M.Sc. Department Pemanfaatan Sumberdaya
Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB
Bogor, 25 Juni 2008

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan hanya kepada Allah Yang Maha Esa, karena kami dapat menyelesaikan penyusunan buku yang berjudul "Analisis Geomorfologi Terumbu di Kabupaten Sikka". Buku ini Menguraikan beberapa metodologi pemanfaatan data Penginderaan jauh satelit untuk perolehan informasi karakteristik fisik terumbu karang. Rangkaian dari seluruh penelitian ini memilih lokasi di Kabupaten Sikka, Propinsi Nusa Tenggara Timur dengan Perbagai terumbu karang di sekeliling pulau-pulau kecil.

Kondisi terumbu karang di daerah penelitian menarik untuk diteliti karena secara geomorfologis memiliki variasi bentuklahan yang relatif lengkap. Kelompok bentuklahan terumbu samudra dapat dijumpai serta dapat dirunut pertumbuhannya dari tahap awal hingga akhir. Sementara itu, kelompok bentuklahan terumbu Pasir juga dapat dijumpai yang mewakili sebagian dari proses pertumbuhannya.

Langkah ini dimaksudkan sebagai upaya untuk Mengembangkan teknik perolehan informasi fisik terumbu karang secara cepat dengan ketelitian lebih baik. Karakteristik fisik terumbu karang diteliti untuk dapat diperoleh informasi spesifik dari asal terbentuknya. Berdasarkan informasi ini maka pengembangan Potensi di bidang ekonomi dan sosial diharapkan dapat bertolak dari sifat dasar terumbu karang. Upaya ini juga merupakan bentuk kontribusi untuk mempromosikan potensi terumbu karang di pulau-pulau kecil bagi pengembangan investasi.

Kondisi fisik terumbu karang dibahas dengan menggabungkan antara analisis geomorfologi dan ekologi. Analisis dilakukan secara visual dan digital dengan memanfaatkan citra penginderaan jauh satelit resolusi menengah dan tinggi. Kegiatan penelitian diawali dari Pengumpulan citra penginderaan jauh satelit, pengolahan data hingga pengecekan di lapangan. Kegiatan di lapangan dilakukan dengan mengamati terumbu karang melalui penyelaman dan Melacak proses terbentuknya pulau kecil dalam kaitannya Pembentukan substrat dasar melalui pendakian ke pegunungan dan Perbukitan. Tema penelitian dirangkai dari persiapan data yang terseleksi hingga pemodelan untuk menyajikan gambaran secara

menyeluruh dan utuh tentang rangkaian langkah-langkah perolehan informasi karakter fisik terumbu karang.

Isi bahasan dikelompokkan menjadi tujuh tema yang menjadi judul masing-masing bab pada buku ini. Seleksi dan pengolahan data yang dilengkapi dengan berbagai teknik penajaman mengawali rangkaian penelitian (Bab 1), kemudian dilanjutkan dengan analisis spektral terumbu karang menggunakan data Landsat dan QuickBird (Bab 2). Penelitian tentang kaitan antara gunungapi aktif dan terumbu karang (Bab 3), dimaksudkan untuk menyajikan gambaran terbentuknya substrat dasar tempat tumbuh terumbu karang dan pengaruhnya bagi pertumbuhan tahap awal terumbu samudra yaitu terumbu pinggiran (*fringing reef*). Pertumbuhan tahap kedua yaitu terumbu penghalang (*barrier reef*) disajikan dengan penelitian di **gugus pulau (Bab 4) dan dirangkai dengan pertumbuhan tahap akhir** yaitu atol (*atoll*) (Bab 5). Sementara itu, penelitian tentang terumbu paparan melengkapi kelompok bentuklahan terumbu (Bab 6) dan ditutup dengan pemodelan bentuklahan terumbu yang sekaligus merangkum seluruh proses perolehan informasi karakter fisik terumbu karang (Bab 7).

Kami menyadari bahwa buku ini masih banyak kekurangan sehingga sangat *diharapkan saran* dan kritik dari pembaca untuk perbaikan. Tak lupa kami mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penelitian terumbu karang di Kabupaten Sikka. Semoga sumbangan kecil dari buku ini dapat memberikan tambahan wawasan yang berguna bagi masyarakat luas dan *pihak-pihak* terkait dalam mengelola sumberdaya *terumbu karang*

Jakarta, Juni 2008

Para penulis,



Dra. Wikanti Asriningrum, M.Si., dkk.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Bab 1 Model Analisis Terumbu Karang Menggunakan Data Penginderaan Jauh	1
1.1. Abstrak.....	1
1.2. Pendahuluan.....	2
1.3. Kondisi umum daerah penelitian	3
1.4. Metodologi	3
1.5. Hasil pengolahan data	5
1.6. Terumbu karang Pulau Sukun.....	8
1.7. Kesimpulan	12
Daftar Pustaka	13
Bab 2 Analisis Spektral Terumbu Karang Menggunakan Data Landsat dan QuickBird.....	14
2.1. Abstrak.....	14
2.2. Pendahuluan.....	14
2.3. Studi Pustaka.....	15
2.4. Metodologi	19
2.5. Hasil dan pembahasan.....	22
2.6. Kesimpulan	24
Daftar Pustaka	25
Bab 3 Kaitan Aktivitas Gunungapi dengan Pertumbuhan Terumbu Karang	26
3.1 Abstrak.....	26
3.2 Pendahuluan.....	26
3.3 Aktivitas Gunung Rokatenda.....	27
3.4 Pulau vulkanik dan gunungapi	29
3.5 Pertumbuhan terumbu karang.....	32
3.6 Kesimpulan	36
Daftar Pustaka	36

Bab 4 Model Analisis Pertumbuhan Terumbu Karang di Gugus-	
pulau ..	37
4.1 4.1 Abstrak.....	37
4.2. Pendahuluan.....	37
4.3. Metodologi.....	38
4.4. Pembahasan	40
Kesimpulan	44
Daftar Pustaka	44
Bab 5 Analisis Morfologi Atol di Gosong-goni	46
5.1. Abstrak	46
5.2. Pendahuluan.....	46
5.3. Penajaman citra untuk atol.....	47
5.4. Pulau atol.....	49
5.5. Morfologi atol.....	51
5.6. Terumbu karang di atol	53
5.7. Penutup.....	54
Daftar Pustaka	56
Bab 6 Analisis Pertumbuhan Terumbu Menggunakan Data	
QuickBird di Pulau Pomana	57
6.1. Abstrak	57
6.2. Pendahuluan.....	58
6.3. Geomorfologi Daerah penelitian.....	59
6.4. Nilai digital terumbu karang.....	62
6.5. Pertumbuhan terumbu.....	65
6.6. Penutup.....	70
Daftar Pustaka	70
Bab 7 Pemodelan Identifikasi Bentuklahan Terumbu	71
7.1 Abstrak.....	71,
7.2. Pendahuluan.....	71
7.3. Daerah penelitian.....	73
7.4. Geomorfologi terumbu	75
7.5. Pengolahan data	77
7.6. Identifikasi bentuklahan	77,
7.7. Bentuklahan pulau kecil dan terumbu.....	78:
7.8. Penutup.....	83!
Daftar Pustaka	83

Bab 1

MODEL ANALISIS TERUMBU KARANG MENGGUNAKAN DATA PENGINDERAAN JAUH

Oleh: Wikanti Asriningrum

1.1 ABSTRAK

Terumbu karang merupakan ekosistem yang memberikan banyak manfaat bagi manusia. Namun, informasi mengenai kondisi dan karakter terumbu karang masih sulit diperoleh karena lokasinya sulit dijangkau dan posisinya di bawah permukaan air. Teknologi penginderaan jauh dapat menyajikan terumbu karang sampai pada batas tertentu, informasi yang dapat diperoleh dari citra penginderaan jauh antara lain melalui analisis geomorfologi. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan membangun model analisis terumbu karang menggunakan data penginderaan jauh yaitu citra Landsat. Daerah penelitian dipilih Pulau Sukun di-Kabupaten Sikka yang dapat mewakili variasi terumbu samudra dengan variasi topografi pulau.

Hasil pengolahan data diperoleh bahwa untuk pulau kecil tipe vulkanik adalah citra RGB 542 dan untuk terumbu karang adalah RGB 421 dan keduanya diperlukan proses penajaman dan pemfilteran untuk memperjelas tampilan obyek. Fusi multispasial sesuai untuk pulau kecil tetapi tidak sesuai untuk terumbu karang. Dari citra penginderaan jauh dapat dikenali morfologi terumbu karang dan pulau kecil. Bentuklaharv'terumbu yang dijumpai di daerah penelitian adalah terumbu pinggiran, terumbu pinggiran bergoba, dan terumbu penghalang. Pertumbuhan terumbu ini terkait dengan faktor sedimentasi dari pulau kecil. Terumbu karang di bagian timur kurang berkembang karena dekat dengan perbukitan, sedangkan terumbu di bagian barat berkembang lebih baik karena dekat dengan dataran. Pengaruh gelombang dan arus juga terkait dengan morfologi pulau dalam posisinya terhadap laut lepas. Goba lebih banyak dijumpai di perairan yang menghadap laut lepas dan di sini terumbu karang berkembang lebih baik.

Kata kunci: terumbu karang, penginderaan jauh, geomorfologU bentuklahan, pulau kecil.

1 2 PENDAHULUAN

Terumbu karang sangat bermanfaat bagi manusia baik

dirasakan secara langsung maupun tidak langsung. Beberapa produksi yang dihasilkan dari fungsi terumbu karang antara lain di bidang ekologis, pariwisata, perikanan, dan pelindung pantai. Sementara itu, Indonesia merupakan tempat tumbuh terumbu karang yang baik karena berada di daerah tropis dan merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Perairan laut dangkal di sekeliling pulau-pulau kecil di samudra adalah wilayah yang bagus bagi tempat tumbuh terumbu karang.

Ekosistem terumbu karang tumbuh dari hewan karang pada suatu substrat dasar. Substrat dasar ini banyak dijumpai di sekeliling perairan laut dangkal pulau-pulau kecil yang tersebar di 2/3 wilayah Indonesia. Identifikasi terumbu karang tidak dapat dipisahkan dengan kondisi substrat dasar ini serta proses-proses yang terkait dengan iingkungan pembentukannya yaitu pulau kecil.

Ada beberapa tipe pulau berdasarkan proses terbentuknya seperti pulau tektonik, pulau vulkanik, atau pulau terumbu. Oleh karena karakteristik setiap tipe *pulau* berbeda maka akan berpengaruh terhadap tumbuh kembang terumbu karang. Pulau tipe vulkanik adalah salah satu tipe pulau yang terbentuk di samudra (Hehanusa, 1993). Pulau ini diperkirakan relatif banyak dijumpai karena Indonesia berada di antara tiga lempeng tektonik dan ada busur magmatik. Pulau tipe vulkanik di Indonesiadijumpai pada jalur magmatik yaitu Sumatra, Jawa, Bali, Nusa Tenggara Sulawesi dan Maluku.

posisi lokasi, dan kondisi terumbu karang merupakan informasi yang sangat dibutuhkan. Di sisi lain, analisis terumbu karang menggunakan data penginderaan jauh diyakini lebih efisien karena relatif cepat dan sesuai untuk daerah-daerah yang sulit dijangkau. Namun perolehan informasinya perlu cara tertentu karena obyek ini permukaan air laut. Di sisi lain, keragaman terumbu karang dan keterbatasan nilai digital data penginderaan jauh masih menyisakan berbagai persoalan. Banyak jenis informasi kondisi terumbu karang yang ingin diperoleh dari teknik penginderaan jauh. Dalam hal ini, penerapan teknologi penginderaan jauh perlu disiasati dengan landasan memahami karakteristik obyek yang akan dikenali.

Beberapa kondisi tersebut menjadi pertimbangan dalam penelitian ini yang bertujuan untuk menyusun model analisis terumbu karang menggunakan data Landsat. Proses pengolahan data menjadi fokus penelitian ini untuk mendapatkan data terseleksi yang baik untuk analisis visual dan digital.

1.3 KONDISI UMUM DAERAH PENELITIAN

Daerah penelitian dipilih Pulau Sukun yaitu sebuah pulau kecil di Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur yang terletak di bagian paling utara. Secara geografis pulau ini berada pada $8^{\circ}6'21''$ - $8^{\circ}7'53''$ LS dan $122^{\circ}6'20''$ - $122^{\circ}8'45''$ BT. Luas daratan Pulau Sukun sekitar 36,04 Hektar. Pulau kecil ini berpenghuni dan terdapat satu desa yang termasuk Kecamatan Maumere.

Pulau Sukun termasuk kategori pulau tipe vulkanik dengan gunungapi yang sedang tidak aktif. Bentuk pulau ini didominasi oleh sisa tubuh gunungapi. Ciri khas yang menarik dari pulau ini adalah berupa danau yang berada di bagian timur pulau. Danau ini merupakan kawah vulkanik. Danau ini selalu tergenang dan di pulau ini banyak dijumpai nyamuk, sehingga masyarakat kepulauan ini juga menyebutnya dengan istilah "Pulau Nyamuk".

Pemilihan Pulau Sukun untuk lokasi penelitian didasari oleh pertimbangan adanya variasi pada unsur daratan dan unsur perairan laut dangkal berupa terumbu. Daratan Pulau Sukun dapat dipilah menjadi dua topografi umum yaitu pegunungan dan dataran. Sementara itu, bentuk terumbu yang berkembang juga ada dua jenis yaitu terumbu pinggir dan terumbu penghalang.

1.4 METODOLOGI

Data yang digunakan adalah citra Landsat ETM+ P/R 111/66 akuisisi tanggal 1 Juni 2002 daerah Pulau Sukun Kabupaten Sikka- NTT. Peta yang digunakan adalah Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 lembar Sukun; Peta Geologi skala 1:250.000 lembar Ende serta Peta Pelayaran skala 1:100.000 lembar 11 daerah Flores NTT.

Pengolahan citra dilakukan pada data set citra Landsat daerah model. Data set Landsat tersusun oleh kanal-kanal 1,2,3,4,5, dan 7 resolusi spasial 30 m serta data set kanal 8 resolusi spasial 15 m. Pengolahan digital untuk setiap data set meliputi seleksi *fusi multispektral*, penajaman, dan pemfilteran.

Fusi multispektral digunakan untuk memperoleh informasi ci yang optimal (ER MAPPER, 1997). Proses fusi multispektral diawa» dengan memilih 3 (tiga) kanal yang digunakan untuk membuat ci warna komposit dengan memasukkan setiap kanal ke dalam filte merah, hijau, dan biru (RGB). Tiga kanal dipilih dengan menggunakan *Optimum Index Factor (OIF)*, dengan formula sebagai berikut:

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{j=1}^3 Abs(r_j)}$$

dimana:

S_k : standar deviasi nilai-nilai spektral pada kanal
 $Abs(r_j)$: nilai absolut koefisien korelasi antara tiap dua dari tiga kanal. Fusi multispektral dari 3 (tiga) kanal ini dipilih dari 6 (enam) kanal citra Landsat, yaitu kanal-kanal 1, 2, 3, 4, 5, dan 7. Proses tersebut mbnghasilkan kombinasi kanal sebanyak:

$$C_3^6 = \frac{6!}{(3!)(6-3)!} = 20 \text{ kombinasi kanal.}$$

Proses penajaman dimaksudkan untuk menghasilkan citra yang lebih jelas/tajam. Penajaman dilakukan menggunakan enam algoritma pada *software ER MAPPER 6.4.*, yaitu *default linier transform*, *autoclip transform*, *level slice transform*, *histogram equalize*, *gaussian equalize*, dan *default logaritmic*.

Pemfilteran adalah proses modifikasi nilai piksel berups pengurangan atau penambahan nilai spektral. Proses tersebu menghasilkan citra yang lebih tajam. Pemfilteran dilakukan dengar menggunakan aplikasi yang terdapat pada *software ER-MAPPEF*

6.4., yaitu *low pass filter*, *high pass filter*, dan *edge detection filter*. -

Analisis terumbu karang secara visual dengan pendekatan geomorfologi menggunakan aspek-aspek morfologi, morfogenesis morfokronologi, dan morfoarrangement. Hasil analisis geomorfolog

adalah klasifikasi bentuk Jahan pulau kecil dan terumbu. Hasil analisis ini diuraikan dalam pembahasan dan disajikan dalam bentuk peta.

Analisis terumbu karang secara digital menggunakan algoritma Lyzengga. Aplikasi algoritma Lyzengga akan mengelaskan terumbu karang menjadi enam kelas dan selanjutnya diverifikasi dengan analisis visual untuk mendapatkan kelas yang sesuai dengan keadaan di lapangan.

1.5 HASIL PENGOLAHAN DATA

Hasil perhitungan OIF ditunjukkan pada Tabel 1.1 dan

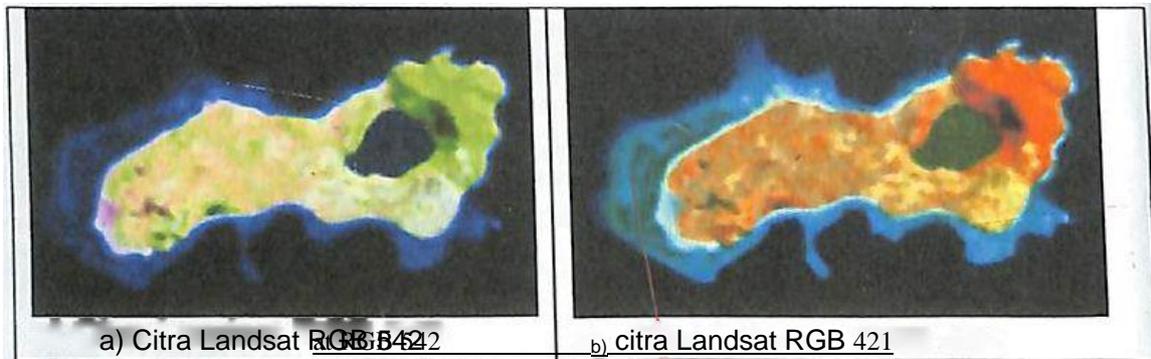
A diketahui bahwa kombinasi 245 memiliki nilai tertinggi yaitu 34,366.

Di sini kombinasi dengan kanal 1 tidak dipilih karena, kanal 1 memiliki hamburan tinggi yang tidak sesuai untuk tampilan citra komposit pulau kecil ini. Kombinasi kanal 245 dipilih untuk membangun citra komposit warna semu. Ada enam citra komposit warna semu yang dapat dibangun dan salah satunya yaitu RGB 542 (Gambar 1.1 a).

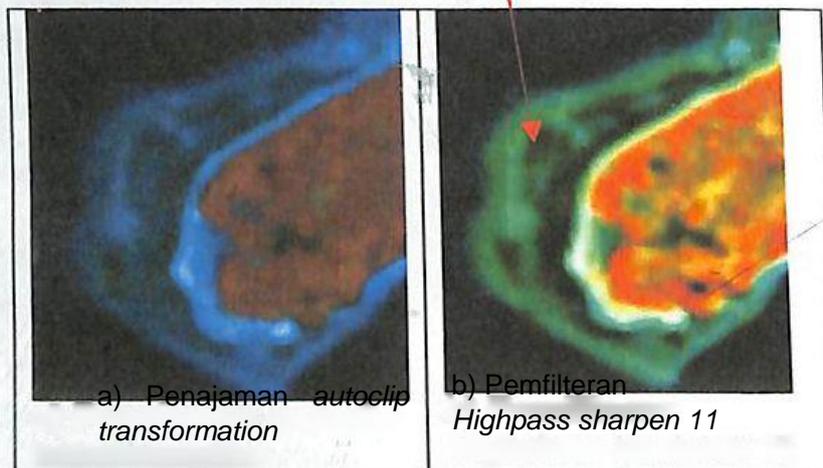
Nilai OIF tertinggi menunjukkan variasi nilai spektral terbanyak, artinya kombinasi kanal-kanal 2, 4, dan 5 mempunyai kisaran nilai digital terbanyak dan sesuai untuk membuat citra komposit dari pulau kecil tipe vulkanik seperti Pulau Sukun ini. Dengan kata lain citra RGB 542 dapat menjadi model citra komposit untuk pulau tipe vulkanik ataupun bentukan vulkanik lainnya.

Selanjutnya, guna meningkatkan resolusi spasial dilakukan fusi multispasial yaitu melakukan superposisi dengan kanal 8 (pankromatik). Hasilnya adalah citra dengan resolusi spasial 15 meter yang memberikan tampilan obyek-obyek dengan lebih detail, fusi multispasial sesuai untuk obyek pulau kecil karena meningkatkan ketajaman tampilan morfologi pulau.

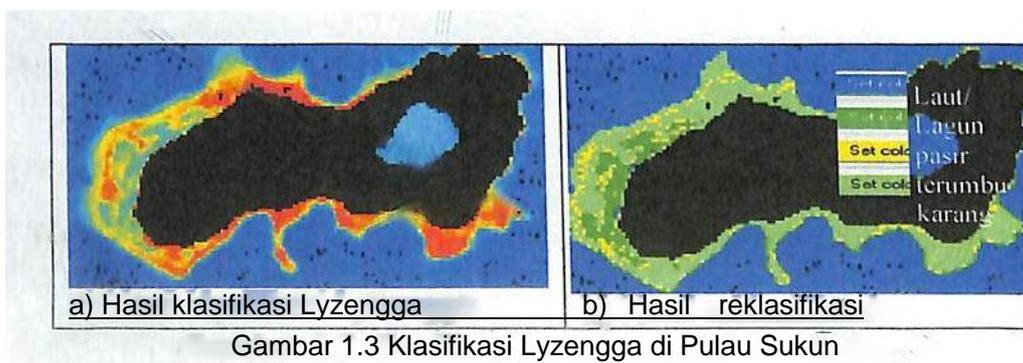
Kombinasi kanal 245 yang dipilih dilakukan uji penajaman spektral. Hasil penajaman spektral terpilih adalah penajaman *autoclip transform*, sedangkan pemfilteran terpilih adalah *highpass sharpen* 11. Hasil seleksi ini menghasilkan gambar yang paling tajam dibandingkan dengan algoritma penajaman lain. Seleksi kanal untuk citra komposit dengan nilai OIF tertinggi dan diikuti dengan tahap-tahap penajaman (fusi multispasial, fusi multispektra dan pemfilteran) ini digunakan untuk analisis geomorfologi pulau kecil.



Gambar 1.1 Citra Landsat Pulau Sukun.



Gambar 1.2 Hasil penajaman dan pemfilteran citra Landsat



Gambar 1.3 Klasifikasi Lyzengga di Pulau Sukun

Tabel 1.1 Urutan nilai OIF Pulau Sukun

Kombinas	Jumlah std	Korelasi	OIF
145	73.145	1.43	51.150
47	56.63J	1.412	40.107
157	61.675	1.569	39.308
134	58.335	1.634	35.701
135	63.379	1.781	35.586
245	77.805	2.264	34.366
125	59.254	1.793	33.047
124	54.210	1.687	32.134
345	81.930	2.593	31.597
257	66.335	2.333	28.433
457	80.226	2.831	28.338
235	68.039	2.432	27.977
247	61.291	2.206	27.784
234	62.995	2.315	27.212
357	70.460	2.714	25.962
347	65.416	2.546	25.694
137	46.865	1.836	25.526
127	42.740	1.837	23.266
237	51.525	2.447	21.056
123	44.444	2*396	18.5492

Model pengolahan data yang bertolak dari pemahaman karakter tipe pulau ini menuntun tahap-tahap proses penyiapan citra Vang sesuai dengan kondisi obyek sebenarnya. Adanya berbagai Pilihan penajaman pada software pengolahan citra dapat memberi kemudahan hanya jika kondisi obyeknya dipahami. Pengolahan citra Vang kurang sesuai dapat menimbulkan kesalahan interpretasi.

Citra komposit untuk analisis terumbu karang berbeda dengan citra komposit untuk analisis pulau kecil. Kanal yang sesuai untuk obyek-obyek di air adalah kanal 1 dan 2. Untuk itu, citra komposit dibangun dengan kedua kanal ini seperti RGB 421. Citra komposit ini untuk menampilkan obyek-obyek di bawah permukaan air yang Melanjutnya dianalisis secara visual. Pada citra komposit 421 dilakukan enam jenis penajaman dan enam jenis pemfilteran^

Penajaman terpilih adalah *autoclip transform* dan pemfilteran terpilih adalah *highpass sharpen* 11. Hasil penajaman ini akan membantu dalam proses identifikasi terumbu karang dengan metode analisis visual dari data citra Landsat. Hasil penajaman citra ditunjukkan dalam Gambar 1.2.

Fusi multispasial tidak sesuai diterapkan pada citra komposit dengan obyek-obyek di bawah permukaan air laut. Peningkatan resolusi spasial justru membuat obyek menjadi kurang tajam atau mengkaburkan obyek. Artinya, obyek-obyek di bawah permukaan air membutuhkan kisaran panjang gelombang lebih spesifik. Hal ini disebabkan antara lain oleh pengaruh karakter obyek-obyek di bawah permukaan air, seperti pola yang kurang teratur dan variasi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan obyek-obyek di daratan.

Citra RGB 542 dan RGB 421 yang telah ditajamkan digunakan untuk analisis visual terumbu karang ' dengan pendekatan geomorfologi daratan. Analisis pada pulau kecil atau daratan menggunakan citra RGB 542, sedangkan pada terumbu menggunakan citra RGB 421. Analisis ini dibantu dengan Peta Rupa Bumi Indonesia, Peta Geologi, Peta Pelayaran, dan cek lapangan.

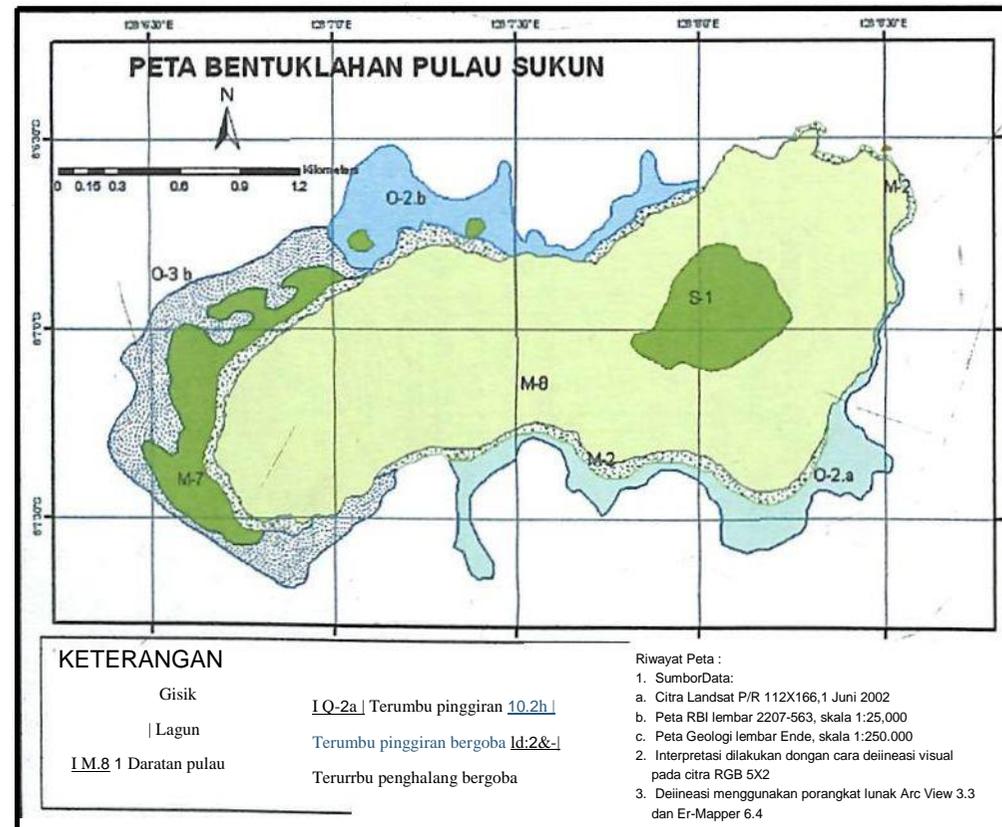
\ Hasilnya adalah peta bentuklahan Pulau Sukun (Gambar 1.4). *peta* irtenunjukkan klasifikasi bentuklahan yang ada di pulau kecil dan jSnjs bentuklahan terumbu di sekeliling pulau.

1.6 TERIJMBU KARANG PULAU SUKUN

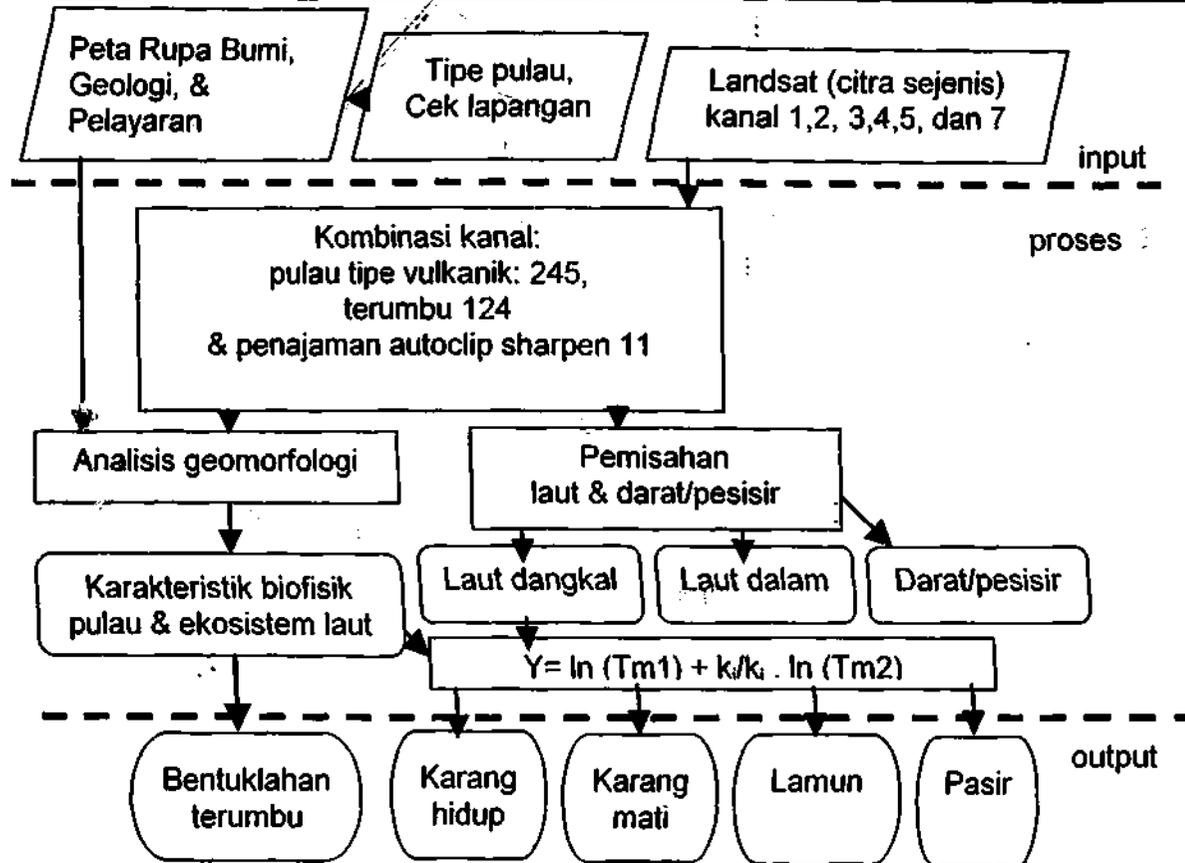
1.6.1 Bemuklahan terumbu

Pulau Sukun merupakan pulau tipe vulkanik yang terbentuk dalam satu rangkaian jalur magmatik daratan Pulau Flores. Pulau Sukun terletak dalam satu jalur hubungan tali busur vulkanik yang menghubungkan sistem vulkanik dari selatan (Laut Sawu) hingga ke Utara (Laut Makasar) (Bemmelen, 1970). Aktivitas magmatik di Pulau Sukun sedang tidak aktif, meskipun hasil kegiatan magmatik terlihat dari adanya danau kaw§h vulkanik di bagian timur pulau.

Morfokronologi Pulau Sukun ynng merupakan pulau tipe vulkanik, memiliki potensi yang tinggi sebagai tempat tumbuh terumbu karang. Identifikasi pertumbuhan terumbu karang di Pulau ini dilakukan dengan analisis visual menggunakan data citra Landsat RGB 421 dengan penajaman dan pemfilteran.



Gambar 1.4 Peta bentuklahan Pulau Sukun.



Gambar 1.5 Model analisis terumbu karang.

Di Pulau Sukun terdapat beberapa bentuk terumbu. Di antaranya adalah bentuk terumbu pinggir di bagian selatan, bentuk terumbu pinggir bergoba di bagian utara, dan bentuk terumbu penghalang bergoba di bagian barat (Gambar 1.4). Di bagian barat dan utara dijumpai beberapa goba atau lagun. Terumbu penghalang adalah tahap lanjut setelah terumbu pinggir dari jenis terumbu samudra. Terumbu pinggir adalah bentuk awal yang terbentuk pada pulau vulkanik. Sementara itu, goba dan terumbu penghalang dapat dijadikan sebagai indikasi tahap lanjut pertumbuhan terumbu karang.

Pertumbuhan terumbu di bagian barat berkembang lebih baik dibandingkan dengan di bagian timur pulau. Secara umum, bentuk terumbu di bagian barat lebih lebar dan dijumpai goba, sedangkan di bagian timur lebih sempit dan tidak ada goba.

Terumbu karang di bagian timur dikenali sangat tipis dan yang tampak dari citra Landsat (di bagian permukaan) adalah pasir atau hasil sedimentasi. Hal ini terkait dengan kondisi pulau yang merupakan bukit terjal dengan beberapa torehan yang menandakan bahwa erosi masih berlangsung secara intensif. Bentuk terumbu di sini adalah terumbu pinggir yang dijumpai di bagian selatan dan timur. Ada perbedaan kondisi morfologi pulau antara bagian selatan dan timur. Morfologi Pulau Sukun berbentuk melengkung ke selatan sehingga pantainya relatif terlindung dari gelombang dan arus. Kondisi ini mempengaruhi kekuatan gelombang dan arus.

Secara garis besar, ada dua hal yang diduga menyebabkan perbedaan kondisi terumbu karang di Pulau Sukun, yaitu faktor sedimentasi dan hidrologi. Sedimentasi di sebelah barat lebih rendah karena merupakan dataran rendah, sedangkan di bagian timur lebih intensif karena berupa lereng gunung. Sementara itu, faktor hidrologi adalah berupa gelombang dan arus. Gelombang dan arus yang datang dari arah barat diduga lebih besar dibandingkan dari timur. Kedua faktor ini pula yang mempengaruhi terbentuknya bentuk terumbu penghalang di bagian barat.

Dijumpainya goba dan terumbu penghalang berarti menunjukkan bahwa di sini merupakan lokasi yang baik bagi pertumbuhan terumbu karang. Tahap pertumbuhan bentuk terumbu penghalang merupakan tahap dewasa dari pertumbuhan terumbu samudra, sehingga terumbu karangnya berada pada

kondisi yang bagus. Di daerah seperti ini upaya konserpasi akan memberi pengaruh yang luas bagi ekosistem terumbu karang. Keistimewaan lain dari terumbu penghalang barrier reef adalah keindahan terumbu karangnya.

Daerah bentuklahan terumbu penghalang di Indonesia belum diidentifikasi dan belum diinventarisasi Bentuk lahan ini dapat dijumpai di sekeliling perairan pulau tipe vulkanik dengan gunung api yang sudah lama tidak aktif Lokasi pulau berada disepanjang busur magmatik. Tahap pertumbuhan trumbu penghalang yang telah matang merupakan aset berharga untukbeberapa fungsinya dari sektor kelautan seperti di bidang ekologis, pariwisata, perikanan, dan pelindung pantai

1.6.2 Terumbu karang

1.6.2 Terumbu karang

Citra Landsat RGB 421 menunjukkan keberadaan wilayah terumbu karang dan morfologi terumbu, tetapi belum diketahui secara lebih rinci dan detail kelas-kelas terumbu karang yang menyusun daerah perairan laut dangkal sekitar pulau tersebut. Tahapan analisis digital terumbu karang selengkapnya diuraikan pada Bab 2 yang menggunakan algoritma Lyzengga. Sementara itu, hasil klasifikasi terumbu karang di Pulau Sukun ditunjukkan pada Gambar 1.3. Hasil algoritma lyzengga kemudian direklasifikasi dan menghasilkan tiga kelas utama yaitu pasir, karang hidup dan lagun. Data Landsat mampu mengidentifikasi keberadaan terumbu karang, pasir serta lagun yang ada. Hasil reklasifikasi ini memberikan gambaran tentang terumbu karang di sekitar Pulau Sukun. Tahapan analisis terumbu karang ditunjukkan pada Gambar 1.5.

1.7 KESIMPULAN

Pemilihan kombinasi kanal berdasarkan nilai Optimum Index Factor di daerah penelitian atau di pulau tipe vulkanik adalah kombinasi 245. Penajaman spektral terseleksi adalah algoritma *autoclip* dan pemfilteran terseleksi adalah *high pass sharpen 11*. Fusi multispasial sesuai untuk pulau kecil tetapi kurang sesuai untuk terumbu karang. Tahapan pengolahan data tersebut bermanfaat untuk analisis pulau kecil. Analisis terumbu karang lebih sesuai menggunakan kanal 2 dan 1 karena kanal-kanal ini lebih baik menampilkan obyek-obyek di bawah permukaan air dan citra

komposit yang sesuai adalah dengan menempatkan kanal 2 pada Green dan kanal 1 pada Blue seperti RGB 421. Kombinasi kanal yang sesuai untuk pulau kecil ditentukan oleh penutup lahannya yang biasanya relatif homogen karena ukuran pulau yang kecil. Homogenitas obyek ini pulalah yang menyebabkan pilihan jenis penajaman yang lebih sesuai untuk pulau kecil adalah autoclip dengan jenis pemfilteran high pass sharpen 11.*

Hasil penajaman data citra /mampu mengidentifikasi bentuklahan terumbu yaitu terumbu pinggir dan terumbu penghalang. Terumbu penghalang dominan terbentuk di bagian barat, sedangkan terumbu pinggir terbentuk di bagian selatan Pulau Sukun. Di samping itu, model analisis ini juga menggali faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan terumbu karang yaitu sedimentasi dan hidrologi. Model analisis terumbu karang ini mengarahkan bentuk pertimbangan penentuan lokasi konservasi ditinjau dari proses pertumbuhan terumbu karang. Kasus di Pulau Sukun, diketahui bahwa daerah konservasi yang sesuai adalah di bagian barat yaitu tempat terumbu penghalang berkembang .dengan **baik.**

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R.W.V., 1970, *The Geology of Indonesia Vol.IA General Geology*, Martinus Nijhoff, the Hague Netherlands.
- DKP (Departemen Kelautan dan Perikanan). 2001. *Pedoman Umum Pengelolaan Pulau-pulau Kecil yang Berkelanjutan dan Berbasis Masyarakat* Direktorat Jendral Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. Jakarta.
- Hehanussa, P.E., 1993. Geohydrology of Uplifted Island Arc with Special Reference to Ambon, Nusa Laut, and Iei Islands, *Indonesia. Proc. Southeast'Asia and the Pacific Regional Workshop on Hydrology and Water Balance of Small Island*. Nanjing, China.
- Selby, M. J. 1985. *Earth's Changing Surface. An Introduction to Geomorphology*. Oxford University Press. New York.
- Strahler, A.N. and Strahler, A.H. 1978. *Modern Physical Geography*. John Willey & Sons. New York.

Bab 2

ANALISIS SPEKTRAL TERUMBU KARANG MENGGUNAKAN DATA LANDSAT DAN QUICKBIRD

Oleh: Muchlisin Arief

2.1 ABSTRAK

Dalam ekstraksi informasi citra atau mengidentifikasi obyek yang berada di bawah permukaan air laut khususnya terumbu karang dapat dilakukan baik dengan superposisi antar *band spectral* yang biasanya disebut dekomposisi R(red)G(green)B(blue) ataupun dapat dilakukan dengan cara klasifikasi. Dalam paper ini diterangkan metode analisis spektral dengan cara mensuperpbsisikan antara dua band atau lebih dengan menggunakan data Landsat dan QuickBird dan klasifikasi citra Landsat menggunakan Lyzengga. Metode tersebut telah dicoba untuk identifikasi terumbu karang dan diverifikasi melalui cek lapangan. Pada makalah ini dijelaskan ^mengidentifikasi terumbu karang serta distribusinya yang terdapat di Pblau Babi, Kabupaten Sikka.

Kata kunci: spektral, terumbu karang, Landsat, QuickBird

2.2 PENDAHULUAN

Saat ini kemajuan teknologi informasi sangat pesat sekali perkembangannya, khususnya dalam bidang persatelitan, begitu pula dengan kemajuan data satelit penginderaan jauh (baik resolusi spasial maupun spektral), sehingga kini data satelit telah digunakan dalam berbagai bidang/domain ilmu pengetahuan di antaranya: pertahanan, kelautan, perikanan dan sebagainya.

Dengan bertambah baiknya f^solusi ©pasial data penginderaan jauh, maka dimungkinkan untuk mengekstraksi obyek-obyek yang relatif lebih rinci dalam ukurannya. Begitu pula dengan bertambah baiknya resolusi spektral dari data satelit penginderaan jauh (antara lain data satelit Landsat dan QuickBird), maka memungkinkan data satelit dapat digunakan untuk mengekstraksi informasi atau obyek didasarkan pada nilai spektral dari obyek tertentu. Nilai spektral dari

setiap obyek yang diobservasi biasanya berbeda. Khusus untuk obyek yang berada di bawah permukaan laut (seperti terumbu karang, lamun, dan sebagainya), nilai spektral dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: sifat fisik obyek, dimensi obyek, kejernihan atau kekeruhan air, kedalaman air dan sebagainya.

Terumbu karang (*coral reefs*) adalah bentuklahan submarin perairan laut dangkal yang banyak dijumpai pada pantai-pantai di daerah tropik. Bentuklahan ini dibangun oleh organisme karang (*coral*) dan alga penghasil kapur (*calcareous algae*) (Guilcher, 1988). Pada umumnya, terumbu tumbuh pada kedalaman 25 meter atau kurang (kurang dari 100ft).

Lautan Indonesia mempunyai terumbu karang yang terbesar di dunia. Dimana fungsi terumbu karang merupakan rumah bagi lebih dari 76% jenis karang dan 50% jenis ikan karang dan otomatis merupakan penyedia makanan bagi jutaan lainnya. Terumbu karang di kawasan ini telah ada sejak jutaan tahun, dan sampai saat ini tampak mampu bertahan terhadap dampak dari pemucatan karang secara luas terkait dengan kecenderungan peningkatan pemanasan global [CCMA.Com]. Meskipun mampu bertahan, lebih dari 80% terumbu karang mengalami ancaman akibat aktivitas manusia seperti menangkap ikan secara berlebihan dan dengan cara-cara merusak serta pembangunan di wilayah pesisir. Dalam beberapa tahun belakangan ini, berbagai langkah utama telah dilakukan untuk melindungi terumbu karang dan sumberdaya perikanan mereka.

Dalam rangka perlindungan tersebut di atas, maka dalam penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi keberadaan terumbu karang yang terdapat di Pulau Babi, Kabupaten Sikka dengan menggunakan data penginderaan jauh berdasarkan analisa spektralnya.

2.3 STUDI PUSTAKA

2.3.1. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh adalah tehnik dan seni yang menggunakan gelombang elektromagnetik, sedemikian rupa sehingga dapat dibangun suatu relasi antara sifat-sifat fisik obyek dengan *flux* yang diterima oleh sensor. Gelombang elektromagnetik yang datang dari obyek tersebut, baik yang dipantulkan, diemisikan, maupun dihamburkan.

Data penginderaan jauh satelit disifati dengan dua resolusi, yaitu resolusi spektral/specfra/ dan resolusi spasial. *Resolusi* spektral dari suatu sensor adalah banyaknya saluran yang dapat diserap oleh sensor.

Tabel 2.1 Karakteristik data *Landsat-7* ETM

Ka nal	Panjang gelombang (m)	Resolusi spasial (m)	Karakteristik
1	0,45-0,515	30	Biru. Penetrasi maksimum pada air berguna untuk pemetaan batimetri pada air dangkal.
2	0,525-0,605	30	Hijau. Sesuai untuk mengindera puncak pantulan vegetasi
3	0,63-0,69	30	Merah. Sesuai untuk membedakan absorpsi klorofil dan tipe vegetasi.
4 r'	0,75-0,90		Inframerah dekat. Untuk menentukan kandungan biomas, tipe vegetasi, pemetaan garis pantai
5	1,55-1,75	30	Inffa-merah tengah I. Menunjukkan kandungan kelembaban tanah dan kekontrasan tipe vegetasi.
6	10,4-12,5	60	Infra merah termal. Untuk mendeteksi gejala alam yang berhubungan dengan panas.
7	2,09-2,35	30	Infra-merah tengah II. Rasio antara kanal 5 dan 7 untuk pemetaan perubahan batuan secara hidrotermal dan sensitif terhadap kandungan kelembaban vegetasi.
8	0,52-0,90	15	Parikromatik. Bermanfaat untuk identifikasi obvek lebih detail.

Sumber: EROS Data Center (1995)

Semakin banyak saluran yang dapat diserap maka resolusi spektralnya semakin tinggi. Resolusi spektral ini berkaitan langsung dengan kemarpuhan sensor untuk dapat mengidentifikasi obyek. Resolusi spasial suatu sensor inderaja adalah ukuran kemampuan sensor tersebut untuk dapat membedakan dua obyek yang berdekatan. Resolusi temporal satelit adalah kemampuan sensor untuk mendeteksi daerah yang/ sama pada perolehan data berikutnya. Resolusi temporal berkaitan langsung dengan waktu pengulangan satelit melewati daerah yang sama.

Dalam penelitian ini digunakan 2 macam data satelit yaitu:

i) . Data LANDSAT 7 ETM⁺. Instrumen ETM⁺ merupakan *enchanced thematic mapper* yang menyajikan sembilan saluran *multispectral scanning radiometer*, yang dirancang untuk menerima, memfilter, dan mendeteksi radius bumi dengan cakupan 185 km melalui gerakan *cross-track scanning* sepanjang lintasan satelit, dan resolusi temporalnya 16 hari. Saluran spektral yang digunakan dalam sistem J-andsat 7 disajikan pada Tabel 2.1

Reflektansi pada air dipengaruhi oleh beberapa faktor terutama kedalaman dan kekeruhan air (kandungan bahan organik dan anorganik). Sementara itu, pada panjang gelombang lebih besar dari 0.75 pm, air dalam dan jernih pada umumnya tidak lagi memantulkan sinar (Lillesand dan Kiefer, 1987). Dengan demikian, reflektansi pada air berlumpur (keruh) akan lebih besar dibandingkan dengan air yang jernih dan dalam. Peningkatan reflektansi ini akan terjadi apabila di dalam air terjadi peningkatan konsentrasi klorofil

ii) . QuickBird adalah citra observasi bumi komersial resolusi tinggi kepunyaan *Digital Globe* dengan ketinggian orbit 450 l<m, inklinasi 97,2°, dengan orbit yang melintas ekuator pada pukul 10.30 waktu setempat dengan periode ulang 1 sampai 3,5 hari tergantung posisi lintang. Jumlah kanal ada lima dengan karakteristik disajikan pada Tabel 2.2.

Dalam menganalisis nilai spektral, diperlukan juga teknologi GIS (*Geographyc Information System*) yang merupakan suatu perangkat software untuk mengoreksi, menyimpan, menggali kembali, men-transformasi, dan menyajikan data spasial dari aspek-aspek permukaan bumi. Dalam GIS tidak hanya data yang berbeda yang dapat diintegrasikan, prosedur yang berbeda juga dapat dipadukan. Dengan demikian, pemakai menjadi lebihJanySIT

memperoleh informasi baru dan dapat menganalisisnya sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

Tabel 2.2 Karakteristik kanal citra QuickBird

Ka nal	Panjang - gelombang (jim)	Resolusi spasial (m)	Daerah spektrum
1	0,450-0,520	2,44	Biru
2	0,520-0.600	2.44	Hiiiau
3	0,630-0,690	2,44	Merah
4	0,760-0,900	2,44	Inframerah dekat
5	0,450-0.900	0,61	Pankromatik

Sumber: <http://www.Cigitalglobe.com>

2.3.2. Algoritma Lyzengga

Algoritma lyzengga digunakan untuk klasifikasi daerah perairan dangkal.

$$Y = [\ln(TM1)] - \left[\left(\frac{k_i}{k_j} \right) (\ln(TM2)) \right] \dots\dots\dots(\text{Formula 1})$$

di mana:

Y : Hasil klasifikasi algoritma Lyzengga

TM1 : kanal 1 citra Landsat; TM2 : kanal 2 citra Landsat

Koefisien k_i dan k_j diperoleh dengan cara :

- 1) Mengukur secara in-situ dengan menerapkan model pengurangan eksponensial
- 2) Menghitung slope k_i/k_j

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

$$a = \frac{[Var_{TM1} - Var_{TM2}]}{2 \times (Co var_{TM1TM2})} \dots\dots\dots(\text{Formula 3})$$

Algoritma pada Formula 1 diubah dari tanda negatif (-) menjadi positif (+) untuk dapat mengenali variasi terumbu karang secara tegas, yaitu menjadi:

$$Y = [\ln(TM1)] + \left[\left(\frac{k_i}{k_j} \right) (\ln(TM2)) \right] \dots \dots \dots (\text{Formula 4})$$

2.3.3 Kondisi Aktual Pulau Babi

Pulau Babi merupakan salah satu pulau yang termasuk dalam Kabupaten Sikka, dengan luas 46,45 Ha memiliki morfologi kubah dengan topografi bergunung dan elevasi tertinggi 338 mdpal. Material yang dominan adalah lava dan breksi andesit berumur Pleistosen. Kubah lava ini mengalami denudasi menjadi bentuk lahan kubah lava terdenudasi. Kenampakan di lapangan menunjukkan material ini mempunyai garis-garis kekar hasil proses intrusi.

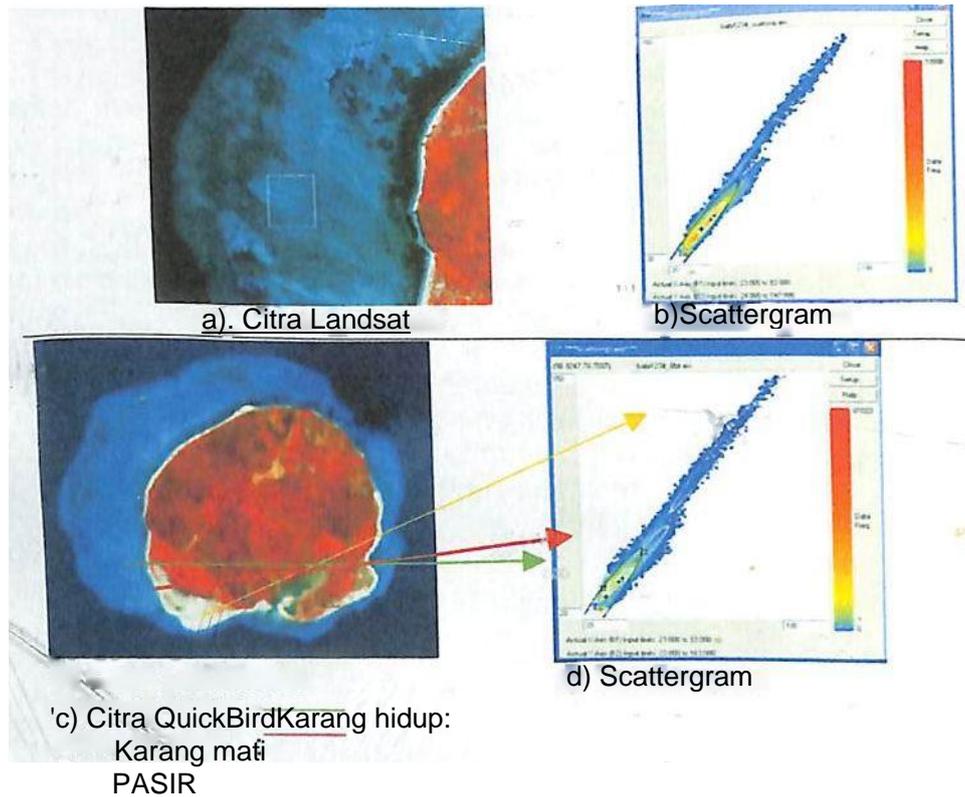
Bagian selatan Pulau Babi berupa dataran dan dijumpai sumur dengan kedalaman air tanah berkisar 2-5 meter. Kedalaman sumur ini dipengaruhi oleh lapisan batuan tak tembus air yang membatasi akuifer. Bagian atas peralihan batuan tersebut tertutupi oleh material pasir yang diidentifikasi sebagai hasil pelapukan fisik pantai berbatu oleh proses abrasi air laut. Bukti dari proses abrasi air laut adalah berupa gerong laut (*notch*) di kaki gunungapi dengan jarak berkisar 670 meter dari pantai, dan kondisi ini menegaskan bahwa dataran ini merupakan bentuklahan rataan pasang surut. Di bagian selatan juga dijumpai bentuklahan rawa payau yang ditumbuhi mangrove. Lereng terjal yang terbentuk di sisi luar terumbu karang mengindikasikan batas dari terumbu pinggir (*fringing reefs*) dan terbentuk bentuklahan terumbu pinggir bergoba.

2.4 METODOLOGI

Cara yang paling mudah dalam merepresentasikan citra digital berwarna pada komputer yang paling dasar dan original dapat dilakukan dengan bitmap. Bitmap adalah memunculkan warna suatu piksel dengan cara dekomposisi tiga warna dasar yaitu warna Merah (Red), Hijau (Green) dan Biru (blue). Metode ini dikenal sebagai RGB *encoding* atau citra RGB. Sehingga setiap obyek akan diwakili oleh warna tertentu dan setiap perubahan obyek akan diikuti oleh perubahan nilai spektral yang secara otomatis warnanya berubah. Dengan demikian identifikasi obyek akan mudah dilakukan dengan

Analisis geomorfologi Terumbu Karang di "KjiBupaicr. SiS&a

menganalisa nilai tingkat keabuan/ spektral a^{tau} perubahan warnanya.



Gambar 2.1 Citra Pulau Bali

Untuk mengetahui hubungan nilai spektral dengan obyek Papat dilakukan dengan mengamati tingkat distribusi spektral dalam aua dimensi (scatterqram) secara berurutan untuk citra Landsat (Gambar 2.1).

Pada Gambar 2.1 (a) dan Gambar 2.1 (b) menunjukkan bahwa P a Citra Landsat akan sangat sulit mernS>edakan beberapa obyek q⁹, ukurannya relatif kecil, akan tetapi pada citra QuickBird serT⁻²⁻¹ dan Gambar 21 akan tampak dengan mudah spk³ Je¹as membedakan beberapa obyek (seperti karang, pasir dan p 44⁹ainyaA' 1431 ini disebabkan 0,eb resolusi spasial dari QuickBird t . nieter) lebih baik dibandingkan dengan Landsat (30 meter).

Walaupun demikian, untuk mengidentifikasi terumbu karang langsung dari nilai spektral, juga akan mendapatkan kesulitan, karena nilai spektral terumbu karang dari tiap lokasi di daerah Pulau Babi sangat bervariasi. Kisaran nilai spektral terumbu karang di Pulau Babi dari data citra QuickBird dapat dilihat di bawah ini (Tabel 2.3).

Tabel 2.3. Nilai spektral terumbu karang dari data QuickBird

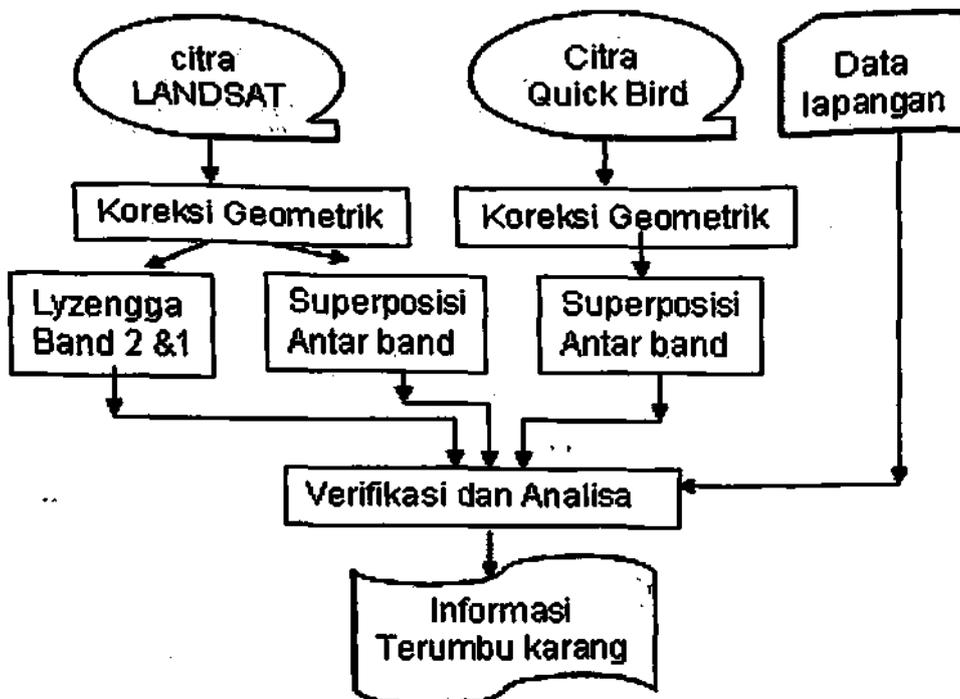
	Kanal 1	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4
Nilai spektral	29-45	35-61	11-15	4-5
Mean	35,11	45,35	12,51	4,99
SD	1,99	3,57	0,65	0,09

Oleh karena itu, dilakukan dua buah pendekatan yaitu: pendekatan analisa spektral dan kedekatan antar pengkelasan. Algoritma umum dari serangkaian pelaksanaan kegiatan identifikasi terumbu karang dapat diuraikan sebagai berikut (Gambar 2.2).

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa proses pembuatannya dibagi dalam beberapa bagian, yaitu :

1) . Koreksi geometrik. Proses koreksi geometrik merupakan proses, dimana posisi citra disesuaikan dengan posisi dengan arah utara selatan (d disesuaikan dengan peta), sesuai dengan posisi dan lokasinya. Citra Landsat yang digunakan pada penelitian ini adalah P/R 112/66 daerah Pulau Babi hasil akuisisi tanggal 1 Juni 2002. Data citra QuickBird *raw data* Pulau Babi diambil pada tanggal 19 Mei 2005. Sedangkan peta pendftlfung yang digunakan dalam analisis ini antara lain adalah Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 lembar Nebe 2207-611; Peta Pelayaran laut skala 1:100.000 lembar 11 serta Peta Geologi skala 1:250.000 lembar Ende.

2) . Proses klasifikasi, yang terdiri atas analisa nilai spektral dari masing-masing data satelit Landsat dan QuickBird berbarengan dengan proses algoritma Lyzengga, kemudian dilakukan analisa dan verifikasi dari ketiga proses di atas dengan data lapangan. Proses analisa ini dilakukan berrilang-ulang. Bila tidak sesuai maka proses klasifikasi diulang kembali atau dikoreksi dan bila sesuai rrujka**"" proses dilanjutkan ke pencetakan.

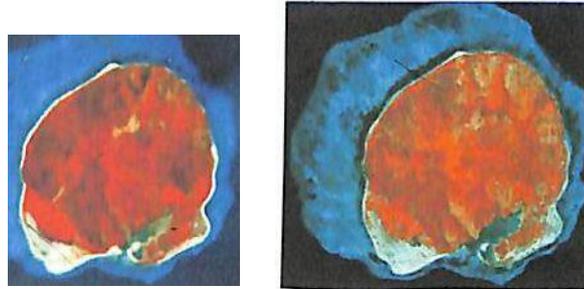


_ Gambar 2.2 Diagram alir analisa spektral

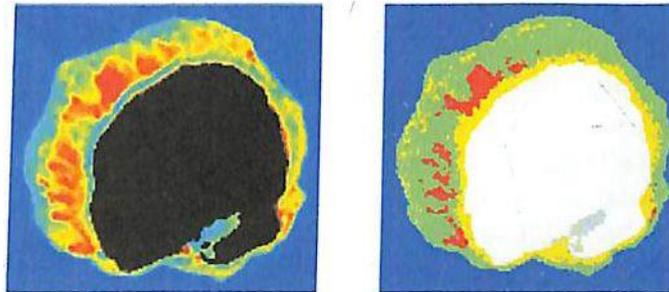
2.5. Hasil dan PEMBAHASAN

Sebagaimana diterangkan di atas, bahwa dalam penelitian ini dilakukan analisa spektral dengan cara dekomposisi band/kanal. Berdasarkan karakteristik band di atas, bahwa band yang paling dominan untuk mendeteksi obyek di bawah permukaan air adalah band 1 dan band 2, sehingga komposisi bandnya (citra RGB) dapat dilakukan dengan mensuperposisikan band 421, band 521, atau band 721.

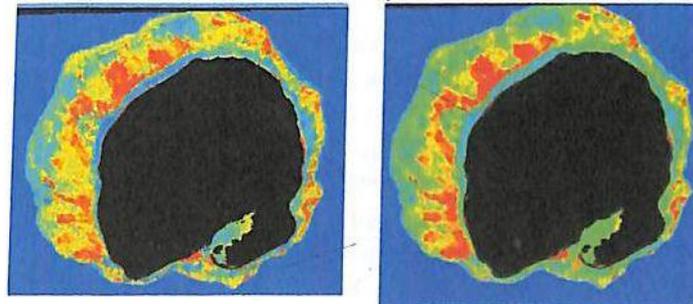
Hasil dari beberapa percobaan dekomposisi citra hasil yang cukup representatif untuk terumbu karang adalah dekomposisi band 421 (Gambar 2.3). Citra Landsat dan QuickBird memiliki kisaran panjang gelombang yang sama pada kanal 1 sampai 4. perbedaan citra pada Gambar 2.3 disebabkan oleh perbedaan resolusi spasial yaitu Landsat 30 meter dan QuickBird 2,44 meter.



a) Landsat b) QuickBird
Gambar 2.3 Citra hasil superposisi band 421



a) hasil klasifikasi Lyzengga b) hasil reklasifikasi Gambar 2.4
(a) Citra hasil algoritma lyzengga pada citra Landsat (b). Citra hasil reklasifikasi citra 2.4 (a) menjadi 3 kelas utama yaitu pasir (warna kuning), karang hidup (warna hijau), dan karang mati (warna merah).



Gambar 2. 5. (a). Citra hasil algorithma Lyzengga pada citra QuickBird. (b) citra reklasifikasi dari citra 2.5.a. Reklasifikasi hasil algorithma Lyzengga pada citra QuickBird menghasilkan 6 kelas: i) laut dangkal (warna biru muda), ii) pasir (warna kuning), iii) karang hidup (warna hijau kebiruan), iv) karang

mati (warna merah), v) sedimen/kekeruhan (warna coklat), vi) laut dalam (warna biru tua) (Gambar 2.5b).

Pada Gambar 2.3a adalah citra hasil komposit band 421 citra Landsat yang memperlihatkan bahwa obyek terumbu karang berwarna biru muda (*cyan*). Sementara itu, Gambar 2.3b merupakan hasil komposit citra resolusi tinggi QuickBird RGB 421 memperlihatkan kenampakan obyek yang lebih detail. Komposit RGB 421 citra Quickbird memberikan kenampakan yang lebih detail. Obyek terumbu karang terlihat sama dengan warna biru muda (*cyan*). Kedetailan terlihat dengan munculnya warna yang beragam dalam citra mulai dari biru tua hingga hijau. Keragaman warna diidentifikasi memiliki kisaran nilai spektral yang berbeda pula.

Dengan membandingkan hasil proses algoritma Lyzengga antara citra Landsat dan QuickBird, maka dapat dilihat bahwa kenampakan terumbu karang pada citra QuickBird lebih detail (dapat dikelaskan dalam 6 kelas), sedangkan citra Landsat hanya 3 kelas. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa di samping resolusi spektral, juga resolusi spasial lebih memegang peranan penting dalam mengidentifikasi obyek. Dengan demikian hasil reklasifikasi dari citra QuickBird menghasilkan kelas yang lebih beragam yaitu dengan adanya kelas kekeruhan/sedimen dan laut dangkal.

2,6 KESIMPULAN

Nilai spektral terumbu karang pada kanal 1 lebih rendah dibandingkan kanal 2, tetapi keduanya memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan kanal lain. Berdasarkan nilai spektral ini maka citra komposit RGB yang dibangun menggunakan kanal 1 atau kanal 2 seperti 542 atau 541, menampilkan terumbu karang dengan jelas. Namun, tampilan terumbu karang akan lebih tajam menggunakan kanal 1 dan kanal 2 seperti komposit RGB 421. Karakteristik spektral tersebut terdapat kesamaan antara citra Landsat dan Quickbird. Citra QuickBird menghasilkan kelas terumbu karang lebih detail dibandingkan citra Landsat. Hal ini menunjukkan peranan resolusi spasial dalam identifikasi obyek.

Penelitian ini masih dari jauh sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat kami nantikan guna melakukan penelitian selanjutnya yang mengarah lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

<http://www.Digitalglobe.com>

[http://www.CenterforCoastalmonitoringandAssesment\(CCMA\).Com](http://www.CenterforCoastalmonitoringandAssesment(CCMA).Com)

Bengen, D.G. 2002. *Sinopsis Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut serta Prinsip Pengelolaannya*. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir/dan Lautan IPB 2002.

EROS Data Center. 1995. *Landsat-7 Technical Working Group*. Sioux Falls, USA South Dakota. October 31 - November 2, 1995.

Guilcher, A. 1988. *Coral Reef Geomorphology*. Chichester. John Wiley & Sons.

Lillesand, Thomas M. dan Ralph W. Kiefer. 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Gadjah Mada University press. Yogyakarta.

Lyzenga, D.R. 1981. Remote Sensing of Bottom Reflectance and Water Attenuation Parameters in Shallow Water Using Aircraft and Landsat Data. *International Journal of Remote Sensing*, 2:71-82.

Sutanto. 1986. *Penginderaan Jauh (Jilid 1)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Bab 3

KAITAN AKTIVITAS GUNUNGAPI DENGAN PERTUMBUHAN TERUMBU KARANG

Oleh: Wikanti Asriningrum

3.1. ABSTRAK

Pertumbuhan terumbu karang pada wilayah yang bergunungapi aktif merupakan fenomena menarik yang dapat dijumpai di sepanjang busur magmatik. Aktivitas magmati samudra adalah awal pembentukan pulau tipe vulkanik. Sementara itu, endapan produk letusan menjadi substrat dasar pertumbuhan terumbu karang. Penelitian ini melacak hubungan antara gunungapi aktif Rokotenda dengan terumbu karang di Pulau Palue. Pendekatan analisis geomorfologi menggunakan citra Landsat dilakukan untuk mengenali proses terbentuknya bentuklahan vulkanik dan bentuklahan terumbu. Hasil penelitian diketahui bahwa, keterkaitan antara aktivitas gunungapi dan pertumbuhan terumbu karang dijumpai, berupa korelasi antara bentuklahan asal vulkanik dengan lebar terumbu. Terumbu karang yang berhadapan dengan produk endapan letusan yang masih aktif mengalami kendala pertumbuhan dengan pembentukan terumbu lebih lambat. Bentuklahan vulkanik yang aktif menghasilkan produk letusan adalah lembah baranco yang dijumpai di lereng bagian selatan Pulau Palue. Terumbu karang di bagian yang sama dijumpai relatif tipis.

Kata kunci: terumbu pinggir, gunungapi, bentuklahan, endapan
Produkletusan.

PENDAHULUAN

Indonesia tercatat memiliki gunungapi sekitar 500 buah dan 129 di antaranya dalam keadaan aktif (www.vsi.esdm.go.id). Dan Jumlah tersebut 77 buah pernah meletus dan 80 gunungapi di antaranya termasuk kategori paling aktif. Selain itu, tercatat 15 buah dikategorikan sebagai gunungapi kritis atau sangat potensial untuk meletus.

Pulau vulkanik merupakan tempat tumbuh terumbu karang yang baik, meskipun pulau vulkanik yang aktif belum tentu sesuai untuk hewan karang karena perairannya keruh oleh endapan piroklastik atau lava. Di sisi lain, pulau aluvial potensial menghasilkan erosi atau endapan sedimen yang bagus bagi tempat tumbuh mangrove.

Di antara gunungapi aktif yang muncul di samudra adalah Gunung Rokatenda di Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. Gunungapi aktif Rokatenda membentuk pulau kecil yang dinamakan Pulau Palue, sehingga pulau ini termasuk kriteria pulau kecil tipe vulkanik. Karakteristik letusan yang unik dan pola sebaran, produk letusannya menarik untuk dikaji terkait dengan pertumbuhan terumbu karang pada bentuklahan terumbu samudra.

. Permasalahan yang diangkat adalah mengenai hubungan antara endapan produk letusan gunungapi terhadap pertumbuhan terumbu karang. Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk 1) melacak pola endapan produk letusan melalui analisis geomorfologi dan 2) merangkum hubungan endapan produk letusan dengan kondisi terumbu karang.

Data yang digunakan adalah citra Landsat ETM+ P/R 111/66, tanggal 1 Juni 2002 daerah Pulau Palue Kabupaten Sikka, NTT. Peta yang digunakan adalah Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 lembar Uwa 2207-414; Peta Geologi skala 1:250.000 lembar Ende serta Peta Pelayaran skala 1:100.000 lembar 11 daerah Flores, NTT.

Analisis geomorfologi meliputi aspek-aspek morfologi, morfogenesis, morfokronologi, dan morfoarrangement digunakan untuk pola sebaran produk letusan Gunung Rokatenda. Selain itu analisis yang sama juga digunakan untuk mengetahui proses pertumbuhan terumbu karang.

3.3 AKTIVITAS GUNUNG ROKATENDA

Gunungapi Rokatenda mulai diketahui mengalami letusan hebat kurang lebih 200 tahun yang lalu dengan membentuk lima buah kawah dan satu kubah lava (*lava dome*). Pada Tanggal 4 Agustus - 25 September 1928, kembali terjadi letupan Rokatenda membentuk empat buah kawah, kubah lava, dan menyebabkan kerusakan lahan.

Tahun **1929 - 1963** (+- 34 tahun) terjadi kegiatan gunungapi yang tidak berarti dan hanya mengeluarkan fumarola saja. Menjelang **1 Januari 1964**, terjadi gempa dan suara gemuruh serta kepulan asap. Hingga akhir bulan Juni terjadi kegiatan pembentukan kubah dan mencapai ketinggian **51** meter dari dasar kubah lava. Abu vulkanis terendapkan setebal 2 cm hingga radius 2 km dari puncak. Hasil letusan lain berupa guguran lava pijar (aliran piroklastik) dan lahar dingin. Pada periode ini terdapat korban satu jiwa dan tiga orang luka-luka. Tahun **1966** terjadi peningkatan kegiatan, namun tetusan baru terjadi pada Tahun **1972** yang berasal dari sebuah kawah samping di bagian timur-laut kawah lama yang merupakan oekas letusan Tahun **1928**. Tahun **1973** tanggal **27 dan 28** Oktober terjadi letusan eksplosif dan hujan abu tersebar ke seluruh pulau hingga jarak **5** km dari titik letusan, dengan ketebalan berkisar **3** cm.

Tahun 1961 terjadi peningkatan aktivitas berupa munculnya kubah lava baru, sedangkan tahun **1985** tanggal **23** Maret terjadi letusan selama 45 menit yang didahului oleh suara gemuruh kecil **yang di lanjutkan** dengan erupsi eksplosif. Ukuran lubang letusan **40 x 30** dengan kedalaman 20 meter dari bibir kawah, **hembusan material** abu mencapai ketinggian **200 — 300** meter di **lubang letusan** dengan ketebalan endapan berkisar **3** mm.

Beredasarkan catatan aktivitas gunungapi ini diketahui bahwa di swtiapir periode erupsi seringkali disertai dengan pembentukan yaitu kubah dan Periode terpendek antar aktivitas adalah satu tahun, yaitu antara Tahun **1972 - 1973**, dan keduanya berupa erupsi eksplosif sementara itu, jarak periode letusan terpanjang adalah **35** tahun yaitu antara Tahun **1928-1963**, yang dicirikan dengan erupsi efusif menghasilkan kubah lava,

Secara geomorfologis, Pulau Palue termasuk kriteria pulau kecil yang terbentuk dari aktivitas Gunungapi Rokatenda. Gunung ini adalah tipe atovulkano berumur Kuartar (Bemmelen, **1970**). **topografi** Pulau ini adalah bergunung dengan elevasi tertinggi **863** mdpal proses eksogen berupa longsor lahan yg terjadi intesif yg dipicu oleh jenis material hasil letusan berupa tufa dan pasir Batuan ini membentuk tanah yang bertekstur debu dan pasir. Pada lereng terjal, tekstur tanah tersebut menjadi pemicu terjadinya longsor yang berlangsung intensif di pulau ni., demikian pula dengan proses rockslide dengan material bleksi, aglomerat, daan lava. Pola

aliran yang terbentuk di atas bentuklahan vulkanik ini adalah radial sentrifugal dengan tingkat torehan sangat tinggi.

Bagian puncak dari Pulau Palue yang berumur Pleistosen ini dinamakan Rokatenda, sehingga gunungapi ini dinamakan juga sebagai Gunungapi Rokatenda. Gunungapi ini memiliki dua kawah aktif yang ditunjukkan dengan keluarnya fufnarola setiap saat dan di sekitar kawah masih tercium unsur belerang yang terkadang sampai ke lereng kaki jika terbawa angin hingga ke lereng bawah.

Di bagian selatan pulau, terlihat suatu lembah baranco (V.4, Gambar 3.5) atau lembah yang dalam dan lebar tetapi memiliki dasar lembah berbentuk-V. Lembah baranco memiliki tebing yang sangat curam sehingga lembah ini merupakan jalan Bergeraknya produk vulkanik seperti aliran lava atau aliran piroklastik. Di pulau gunungapi ini pantai berpasir terbentuk di sisi Barat-laut dan Timur-laut, sedangkan di bagian lain merupakan pantai berbatu dengan material lava, breksi, dan aglomerat.

3.4 PULAU VULKANIK DAN GUNUNGAPI

Pulau vulkanik (*volcanic islands*) sepenuhnya terbentuk dari kegiatan gunungapi yang timbul secara perlahan-lahan dari dasar laut ke permukaan. Pulau tipe ini tidak pernah merupakan bagian dari daratan benua, dan terbentuk di sepanjang pertemuan lempeng-lempeng tektonik, dimana lempeng-lempeng tersebut saling menjauh atau bertumburan. Jenis batuan dari pulau tipe ini adalah basalt dan silika (kadar rendah). Contoh pulau vulkanik yang terdapat di daerah pertemuan lempeng benua adalah Kepulauan Sunda Kecil (Bali, Lombok, Sumba, Sumbawa, Flores, Wetar, dan Timor). Ada pula pulau vulkanik yang membentuk untaian pulau-pulau dan titik gunungapi (*hot spots*) yang terdapat di bagian tengah lempeng benua (*continental plate*). Contoh dari pulau tipe ini adalah Kepulauan Austral-Cook, Galapagos, Hawaii, Marquesas, Aleutian, Antiles Kecil, Solomon, dan Tonga (DKP, 2001). Pulau vulkanik terbentuk oleh bahan piroklastik, lava maupun ignimbrit hasil kegiatan gunungapi, misalnya Pulau-pulau Krakatau, Banda, Gunungapi, dan Adonara (Hehanusa, 1993).

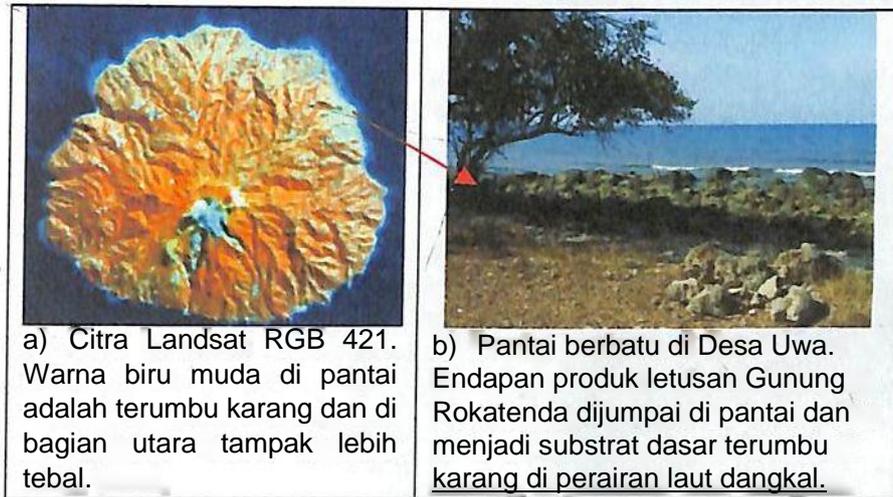
Dari citra satelit tampak bahwa Pulau Palue secara keruangan berbentuk membulat yang merupakan salah satu ciri dari tubuh vulkanik (kerucut) yang masih utuh (V.1), Gambar 3.5. Di atas

bentuklah ini secara umum tampak torehan sangat kuat yang mengindikasikan bahwa pulau vulkanik ini mengalami pengikisan yang cukup intensif. Pola aliran sentrifugal dengan kerapatan tinggi menunjukkan tingginya tingkat pengikisan. Produk letusan piroklastik menjadi faktor pendukung terbentuknya torehan yang banyak.

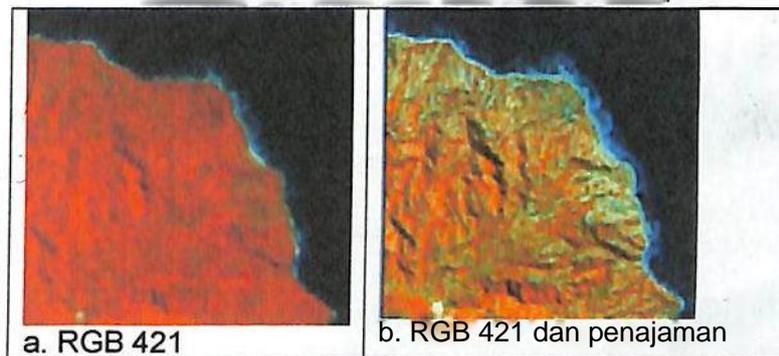
Namun demikian, di daerah puncak torehan sangat ringan, terutama di bagian lereng atas yang berdekatan dengan kawah (V.3). Hal ini menunjukkan bahwa pulau yang merupakan gunungapi ini masih aktif namun produk vulkanik (terutama bahan piroklastik) yang disemburkan dari aktivitas letusan di periode-periode akhir tidak cukup besar dan hanya disebarkan tidak jauh dari pusat letusan (kawah). Akibatnya di daerah puncak selalu disuplai oleh produk baru yang dicerminkan oleh torehan ringan di daerah ini dan sebaliknya di bagian lain dari tubuh gunungapi ini tidak mendapat endapan baru sehingga terus terkikis .yang dicerminkan oleh torehan-torehan yang rapat (kuat).

Luas Pulau Palue adalah 374,3 Ha relatif cukup luas atau sekitar 900 kali lebih luas dibandingkan Pulau Kondo yang termasuk pulau tipe vulkanik juga (0,41 Ha) yang berada di sebelah tenggaranya. Posisi geografis Pulau Palue terletak antara 8°17'45"- &2 V45?, LS dan 121°40'45" - 121°45'12" BT di Laut Flores dan xv berada jauh dari pulau kecil lainnya. Pulau ini berpenghuni dan satu xpulau ini merupakan satu kecamatan. Mata pencaharian penduduknya adalah berkebun terutama cengkeh, kelapa, dan cokfat serta sebagai nelayan.

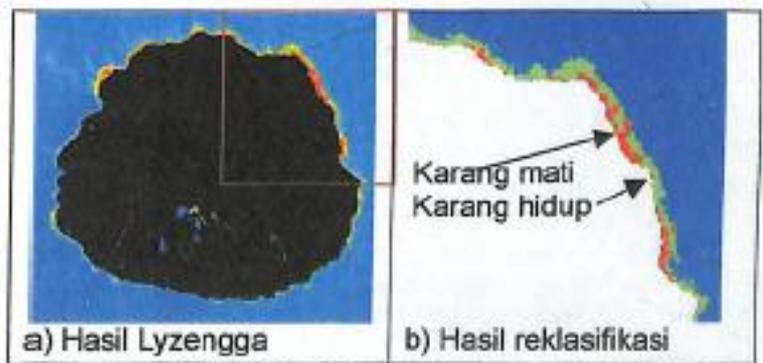
DL sekeliling perairan laut dangkal di Pulau Palue tidak byumpai mangrove dan lamun. Endapan produk letusan di pantai- Pantai di sekeliling Pulau Palue berukuran debu hingga batu sangat besar dijumpai (Gambar 3.1 b). Posisi pantai yang berhadapan bengan laut lepas tidak mendukung bagi pertumbuhan mangrove an lamun. Namun sebaliknya, posisi ini menguntungkan bagi Pertumbuhan terumbu karang. Terumbu samudra berkembang baik dan menjadi daerah tujuan wisata bahari yang diminati. Terumbu karang berkembang baik terutama di pantai-pantai bagian utara dan salah satunya terumbu karang jenis meja (*table reef*) dijumpai berkembang sangat baik.



Gambar 3.1 Citra dan foto Pulau Palue



Gambar 3.2 Citra Landsat Pulau Palue.



Gambar 3.3 Klasifikasi terumbu karang Pulau Palue.

3.5 PERTUMBUHAN TERUMBU KARANG

Terumbu karang (*coral reefs*) adalah bentuklahan (*landforms*) submarin perairan laut dangkal yang dalam perkembangannya dapat muncul ke permukaan laut akibat pengangkatan tektonik ataupun penurunan permukaan air laut. Bentuklahan ini dibangun oleh organisme karang (*coral*) dan alga penghasil kapur (*calcareous algae*), meskipun kerang-kerangan, bunga karang, dan organisme marin jenis lain juga ikut membangun pada situasi tertentu. Terumbu-terumbu karang ini dapat tumbuh dan berkembang pada perairan laut dengan syarat-syarat tertentu, yaitu mempunyai kedalaman air kurang dari 100 m, kondisi air cukup jernih dimana cahaya dapat menembus untuk proses fotosintesis, terdapat batuan dasar sebagai fondasi pertumbuhan, suhu air tidak kurang dari 18°C pada musim dingin, dan salinitas mendekati normal (32 - 35‰) (Selby, 1985; Bloom, 1979). Ketinggian permukaan terumbu karang umumnya sama dengan ketinggian rata-rata air pasang surut, sehingga pada saat air pasang terumbu karang ini tergenang.



Gambar 3. 4 Proses terbentuknya terumbu (Sumber: Strahler dan

Pertumbuhan terumbu karang terdiri atas beberapa tahap. Gambar 3.4 menunjukkan tahapan pembentukan terumbu yang terbentuk di perairan laut dangkal di sekeliling pulau tipe vulkanik. Contoh proses evolusi terumbu samudra ini menjadi acuan dalam analisis kaitan pertumbuhan terumbu karang dengan aktivitas gunungapi.

Menurut Strahler dan Strahler (1978), setelah gunungapi tidak aktif, bentukan vulkanik akan mengalami proses denudasi, sehingga terumbu pinggir (*fringing reef*) akan mengalami evolusi menjadi terumbu penghalang (*barrier reef*). Pada kasus di daerah penelitian ini, diketahui bahwa Pulau Palue terbentuk oleh aktivitas Gunungapi Rokotenda yang hingga kini masih aktif. Terumbu karang yang dikenali relatif tipis mengelilingi seluruh pulau dan secara geomorfologis kondisi ini dikategorikan sebagai bentukan terumbu pinggir. Indikasi yang mengarah ke pembentukan lagun belum dijumpai. Hal ini terkait dengan letusan-letusan yang bersifat eksplosif dengan sebaran abu hingga mencapai 5 km. Selain itu, proses longsor lahan yang masih intensif juga menjadi penyebab pertumbuhan terumbu karang terkendala, yang terjadi di sekeliling pulau.

Kaitan antara aktivitas Gunungapi Rokotenda dengan pertumbuhan terumbu karang di Pulau Palue ditelusuri dari sejarah letusan dan kondisi terumbu karang saat ini. Pendekatan analisis geomorfologi mengidentifikasi karakteristik fisik bentukan asal gunungapi dan terumbu (Gambar 3.5).

Dari citra Landsat tanggal 1 Juni 2002, dapat dikenali bahwa terumbu karang di pantai utara lebih lebar dibandingkan dengan di bagian selatan (Gambar 3.1 a dan 3.3a). Perbedaan ini terkait dengan perbedaan jenis bentukan yang terbentuk terkait dengan aktivitas Gunung Rokotenda. Di bagian selatan dijumpai Lembah baranco (V.4, Gambar 3.5) yang intensif menjadi jalan Bergeraknya produk letusan seperti aliran lava atau aliran piroklastik. Pengaruh produk letusan ini diduga lebih kuat dibandingkan dengan faktor fisik pantai yang berbatu. Atau, faktor fisik pantai diduga kurang berpengaruh nyata. Hal ini ditunjukkan oleh kondisi terumbu karang di bagian utara yang lebih bagus meskipun pantainya berpasir. Dengan kata lain, di sini faktor hidrologi dan biologi lebih berperan dalam pertumbuhan terumbu karang.

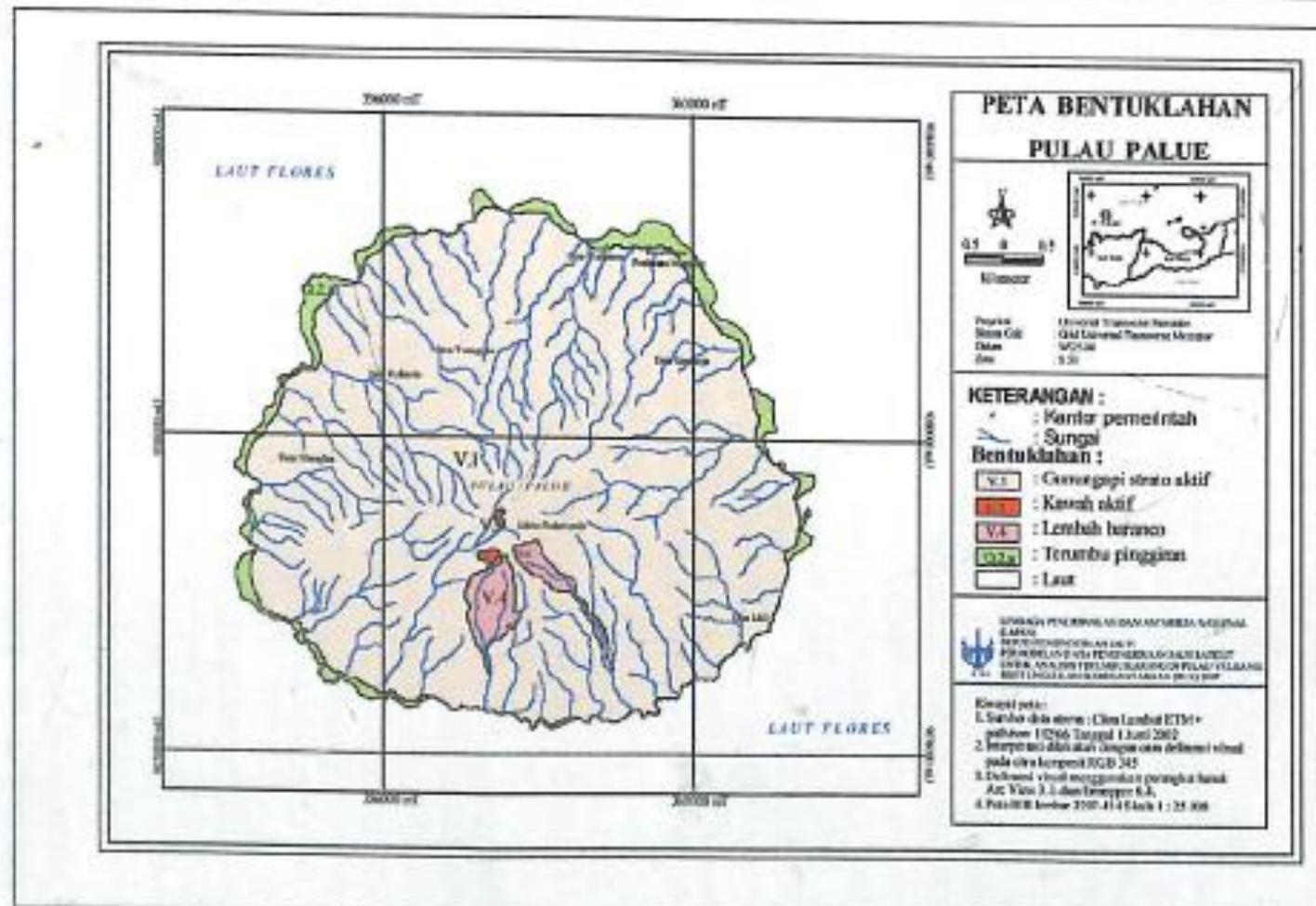
Endapan debu, pasir, dan batu di pantai ini berdampingan dengan terumbu karang. Ada jarak antara endapan pantai dengan terumbu karang tetapi dari citra Landsat batas ini sulit ditarik garis batasnya (delimitasi) (Gambar 3.1a).

Meskipun terumbu karang yang berkembang di Pulau Palue masih merupakan tahap awal, tetapi kondisinya sangat baik dan menarik. Wisata bahari seperti penyelaman untuk melihat keindahan terumbu karang tetap menjadi daya tarik. Hal ini merupakan ciri khas terumbu samudra dimana gelombang dan arus menjadi faktor yang menguntungkan dalam pertumbuhan terumbu karang.

Kondisi bentuklahan terumbu yang spesifik di pulau gunungapi aktif adalah lebar terumbu relatif sempit dan jenis yang berkembang adalah bentuklahan terumbu pinggir (*fringing reef*). Variasi kondisi fisik bentuklahan terumbu bervariasi di berbagai sisi pantai terkait dengan bentuklahan di daratan atau Daerah Aliran Sungai yang berada di dekat pantai.

Citra komposit RGB 421 dengan penajaman *autoclip* dan *filtering high-pass sharpen 2* (Gambar 3.2b) menunjukkan tampilan terumbu karang lebih jelas dibandingkan dengan citra RGB 421 (3.2a). Warna biru muda menunjukkan sebaran terumbu karang. Di Pulau Palue terumbu yang teridentifikasi kebanyakan memiliki lapisan yang tipis dan berada mengelilingi pulau. Bentuklahan terumbu yang berkembang di sini adalah terumbu pinggir (O.2.a, Gambar 3.5) yang merupakan tahap awal terumbu samudra.

Klasifikasi menurut algoritma Lyzengga di Pulau Palue menunjukkan hasil seperti Gambar 3.3a. Secara keseluruhan, di Pulau Palue terumbu yang terklasifikasikan tidak begitu luas. Hasil reklasifikasi (Gambar 3.3b) mengelompokkan terumbu karang menjadi kelas karang hidup dan karang mati. Warna merah adalah karang mati yang berada di dekat pantai, sedangkan warna hijau adalah karang hidup. Hasil reklasifikasi ini tidak mampu membedakan antara terumbu karang dan pasir. Hal ini dikarenakan bentuklahan terumbu yang terbentuk relatif sempit sementara citra Landsat yang digunakan memiliki resolusi spasial relatif kasar (30 meter). Namun, dengan memahami aktivitas gunungapi aktif, dapat dimengerti bahwa di sekeliling pantai pulau ini terdapat endapan pasir dan batu dari produk letusan dan longsor lahan.



3.6 KESIMPULAN

Keterkaitan antara aktivitas gunungapi dan pertumbuhan terumbu karang dijumpai korelasi erat antara bentuklahan asal vulkanik dengan lebar bentuklahan terumbu. Pantai yang berhadapan dengan bentuklahan yang dominan menghasilkan endapan maka pertumbuhan terumbunya terkendala. Kasus di Pulau Palue ditunjukkan oleh kaitan antara bentuklahan Lembah baranco dengan bentuklahan terumbu pinggiran yang sempit, selebihnya terbentuk bentuklahan terumbu pinggiran lebih lebar.

Bentuklahan terumbu pinggiran ini merupakan tahap awal pertumbuhan terumbu samudra. Faktor hidrologi dan biologi lebih berpengaruh, sehingga terumbu karang yang berkembang relatif sangat baik dan tetap memiliki daya tarik sebagai daerah tujuan wisata.

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R.W.V., 1970, *The Geology of Indonesia A/ol. IA General Geology*, Martinus Nijhoff, the Hague Netheria ■
- Bloom, A.L. 1979. *Geomorphology. A Systematic ^nalysisrs of Late Cenocoic Landforms*. Prentice Hall of India. New ueini.
- DKP (Departemen Kelautan dan Perikanan). 2001. *^domanLtei Pengelolaan Pulau-pulau Kecil yang Berkelanjutan dan Bertas '% Masyarakat*. Direktorat Jendral Pesisir dan Pulau-pulau Keen. ^Jakarta
- HehanusssL P.E., 1993. *Geohydrology of Uplifted Island Arc with Speciah.Refference to Ambon, Nusa Laut, and Kei Islands, Indonesia Proc. Sotheast Asia and the Pacific Regional Workshop ofr Hydrology and Water Balance of Small Island*. Nanjing, China.
- Selby, M. J. 1985. *Earth's Changing Surface. An Introduction to Geomorphology*. Oxford University Press. New York.
- Strahler, A.N. and Strahler, A.H. 1978. *Modem Physical Geography*. John Willey & Sons. New York. www.vsi.esdm.co.id

Bab 4

MOD'EL ANALISIS PERTUMBUHAN TERUMBU KARANG DI GUGUS-PULAU

Oleh: Boedi Tjahjono

4.1 ABSTRAK

Terumbu karang merupakan aset besar pembangunan di bidang pariwisata terutama berkat keindahan bentuklahan bawah laut yang dihasilkan oleh terumbu dan flora-fauna yang menempati karang-karang yang terbentuk sebagai habitatnya. Tipe terumbu karang yang terbentuk di gugus-pulau di Kabupaten Sikka - NTT, adalah tipe terumbu pinggir (fringing reefs) dan terumbu penghalang (barrier reefs). Gugus-pulau merupakan kelompok pulau-pulau yang secara alami dihubungkan oleh suatu dangkalan. Citra Landsat komposit 542 merupakan kombinasi band terbaik untuk melakukan , identifikasi gugus-pulau, sedangkan *autoclip highpass sharpen 2* merupakan kombinasi penajaman dan filter yang terbaik untuk identifikasi daratan dan dangkalan di dalam gugus-pulau. Algoritma *Lyzengga* digunakan untuk identifikasi terumbu karang yang perlu dikoreksi dan reklasifikasi berdasarkan kondisi geomorfologi di lapangan. Pola pertumbuhan terumbu pinggir di Kabupaten Sikka bersifat menyebar, sedangkan terumbu penghalang memanjang. Kondisi geomorfologi dasar laut dan gerakan arus laut sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan persebaran terumbu karang di kabupatenjini.

Kata kunci: terumbu, geomorfologi, model, bentuklahan, karakteristik biofisik.

4.2 PENDAHULUAN

Terumbu penghalang (*Great Barrier Reefs*) di Australia telah teridentifikasi dan terinventarisasi mempunyai 3.000 karang, 900 pulau, dan panjang 2.600 km. Dari adanya *Great Barrier Reefs* ini ternyata pendapatan yang diperoleh oleh sektor pariwisata jauh

melebihi pendapatan yang diperoleh dari sektor perikanan ini artinya bahwa keindahan biota laut di sini menguntungkan dibandingkan dengan produksinya, tseiajar oar kenyataan ini maka dapat dikatakan bahwa ketersediaan informasi tentang karakteristik biofisik terumbu penghalang sangat diperlukan dalam menunjang pembangunan nasional mengingat potensi terumbu karang ini dan pulau-pulau kecil yang dibentuknya cukup besar.

Gugus-pulau dapat diartikan sebagai suatu kumpulan pulau-pulau kecil yang berkelompok secara alami. Gugus-pulau merupakan salah satu bagian dari bentuk pulau kecil. Secara morfogenesis gugus pulau dapat dihasilkan oleh proses vulkanik maupun oleh Proses tektonik. Salah satu ciri khas dari gugus-pulau adalah terdapatnya perairan laut dangkal di sekitarnya. Perairan dangkal ini berpotensi sebagai tempat tumbuhnya terumbu karang dan bentuklah terumbu karang di sekitar gugus pulau cukup banyak ragamnya.

Kabupaten Sikka merupakan salah satu kabupaten di tanah air yang mempunyai beberapa gugus-pulau, diantaranya adalah gugus- Pulau yang terdiri atas Pulau Besar, Pulau Kondo, Pulau Parumaan, Pulau Damafa, dan Pulau Pangabatang. Luas daratan gugus-pulau ini sekitar 48.38 Hektar dan mempunyai posisi geografis antara $0^{\circ} 26'25''$ - $8^{\circ} 28'31''$ Lintang Selatan dan $122^{\circ} 25'37''$ - $122^{\circ} 28'45''$ Ujur Timur.

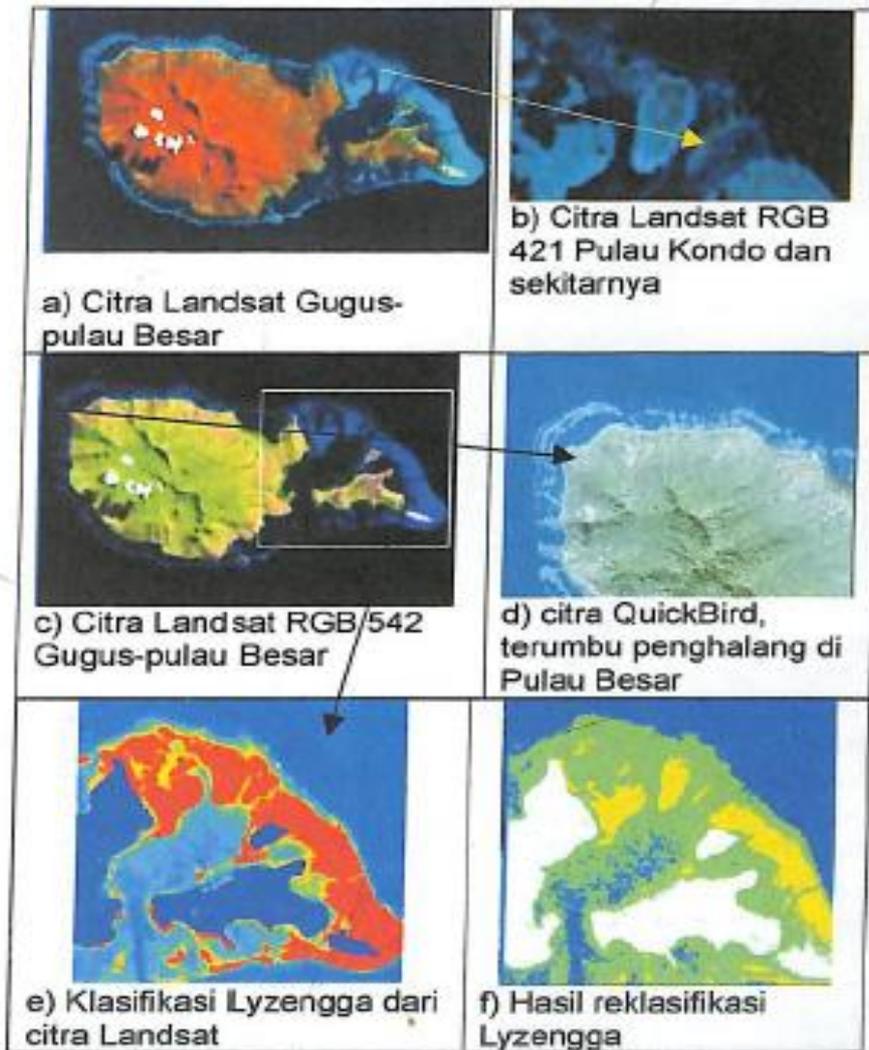
3 METODOLOGI

Data yang digunakan adalah citra Landsat ETM+ P/R 111/66 revisi tanggal 1 Juni 2002 daerah gugus pulau Parumaan Kabupaten Sikka-NTT. Peta yang digunakan antara lain Peta RBI skala 1:25.000 lembar Uwa 2207-414; Peta geologi skala 1:250.000 lembar Ende serta peta pelayaran skala 1:100.000 lembar 11 daerah Sikka NTT.

Identifikasi gugus pulau dilakukan dengan menggunakan data citra Landsat. Data citra komposit 542 menunjukkan morfologi pulau-pulau. Dari data tersebut dapat diidentifikasi pulau-pulau yang tergabung dalam satu gugus pulau yang sama. Peta batimetri juga dapat membantu dalam identifikasi

gugus pulau. Kondisi kedalaman perairan sekitar .gugus-pulau biasanya tidak terlalu dalam, dan termasuk dalam perairan dangkal.

Metode Pengolahan data:



Gambar 4.1. Data Citra Gugus Pulau Besar Parumaan dan Kondo

Penajaman serta pemfilteran terhadap hasil komposit data citra Landsat akan memperjelas kenampakan struktur gugus pulau. Penajaman dan pemfilteran yang digunakan untuk gugus pulau parumaan ini adalah autoclip highpass sharpen 2. Bentuk penajaman yang digunakan adalah penajaman digital menggunakan software ErMapper. Identifikasi terumbu karang lebih lanjut dengan menggunakan aplikasi algoritma Lyzengga. Data citra yang digunakan terlihat dalam Gambar 4.1.

4.4 PEMBAHASAN

4.4.1 Analisis geomorfologi gugus pulau

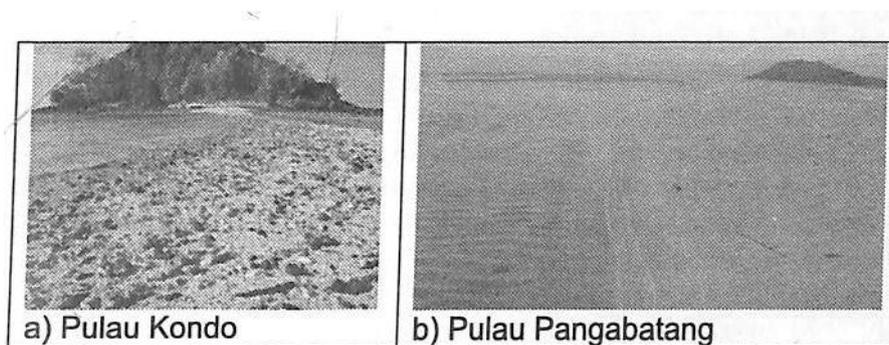
Pulau Kondo berjarak 1,5 km dari Pulau Parumaan dengan arah barat laut. Kedua pulau ini merupakan sisa dari tubuh gunungapi-strato terdenudasi yang sudah tidak aktif berumur Pleistosen (V.2, Gambar 4.3). Pantai pada pulau ini berbatu, sedangkan material penyusun pulau meliputi lava bantal, aglomerat, batuan intrusi serta bahan piroklastik. Keseluruhan material tersebut memperkuat bahwa pulau ini terbentuk oleh kegiatan gunungapi-strato. Proses pelapukan fisik tampak lebih mendominasi terutama dipengaruhi oleh kisaran suhu yang tinggi antara siang dan malam.

Pada singkapan aliran lava tampak terdapat kenampakan garis-garis kekar atau celah-celah (*joints*) serta blok bebatuan yang terbentuk sesuai dengan bidang kekaranya. Proses gerak massa berupa *rock fall* dan *rock slide*, tampak terjadi secara intensif pada bagian pulau yang tersusun oleh batuan aglomerat.

Sebagian besar dari tubuh vulkanik ini berada di bawah permukaan laut sehingga tubuh yang berada di atas permukaan laut ini merupakan perbukitan sisa vulkanik (V.6). Tubuh gunungapi yang berada di bawah permukaan laut ini akhirnya menjadi substrat dasar bagi pertumbuhan terumbu karang. Terumbu ini berkembang dengan baik dan membentuk berbagai bentuklahan, seperti terumbu pinggir bergoba (O.2.b) hingga terumbu penghalang bergoba (O.3.b). Gugus pulau ini dapat menjadi model tipe pulau vulkanik dimana terumbu dapat berkembang dengan baik karena absennya aktivitas vulkanik yang telah lama tidak berlangsung.

Agak berbeda dengan Pulau Kondo, sebagian besar Pulau Parumaan memiliki topografi berbukit, elevasi tertinggi adalah 65 mdpl. Tidak terdapat alur sungai dan sulit ditemukan air tanah di

bagian perbukitan. Hal tersebut, diakibatkan oleh banyaknya kekar- kekar batuan yang meloloskan air serta rendahnya curah hujan di pulau ini. Perbukitan ini digunakan sebagai lahan budidaya tanaman tahunan, dengan dominasi pohon *jarak*, disamping masih terdapat juga semak belukar. Bagian selatan pulau ini bertopografi dataran yang tertutupi oleh material pasir dan digunakan sebagai permukiman. Gerong pantai (*notch*) tampak telah terbentuk di bagian lereng bawah perbukitan dan berbatasan dengan dataran. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan air laut pernah mencapai kaki bukit ini. Air tanah dengan kedalaman antara 2-5 meter terdapat di area dataran ini, namun berupa air payau dengan sedikit berbau garam. Kenyataan tersebut membuktikan bahwa dataran di bagian selatan Pulau Parumaan ini secara morfogenesis adalah rata pasang surut.



Gambar 4.2 Foto Pulau Kondo dan Pulau Pangabatang

4.4.1 Analisis citra

Berdasarkan hasil pengolahan data citra satelit, didapatkan bahwa komposit 245 merupakan komposit dengan nilai OIF tertinggi. Dari komposit citra 542 tersebut, kemudian dilakukan uji penajaman dan pemfilteran untuk memperjelas kenampakan pada citra terutama pada daerah perairan terumbu karang. Hasil dari penajaman tersebut dapat dilihat dalam Gambar 4.1. Perairan di sekitar gugus pulau merupakan tempat yang potensial untuk pertumbuhan terumbu karang, sehingga hasil penajaman dapat memberikan kenampakan yang lebih jelas tentang sebaran dan bentuk pertumbuhan terumbu karang disekitar gugus pulau.

Pertumbuhan terumbu karang di gugus pulau Parumaan terdiri atas *terumbu pinggiran terumbu pinggiran bergoba* dan *terumbu*

penghalang bergoba. Di beberapa tempat terdapat laguna (*lagoon*) yang membatasi pertumbuhan antara karang satu dan lainnya. Hasil analisis dari citra menunjukkan bahwa sebaran pertumbuhan terumbu karang di sekitar gugus-pulau tidak mempunyai pola khusus, namun melebar atau meluas, seperti paparan, sehingga pertumbuhan ini lama kelamaan dapat menghubungkan perairan antar pulau-pulau yang terdapat di dalam gugus-pulau yang sama. Pola ini berbeda dengan bentuk pertumbuhan terumbu karang dari tipe pulau lain yang biasanya secara dominan berbentuk memanjang.

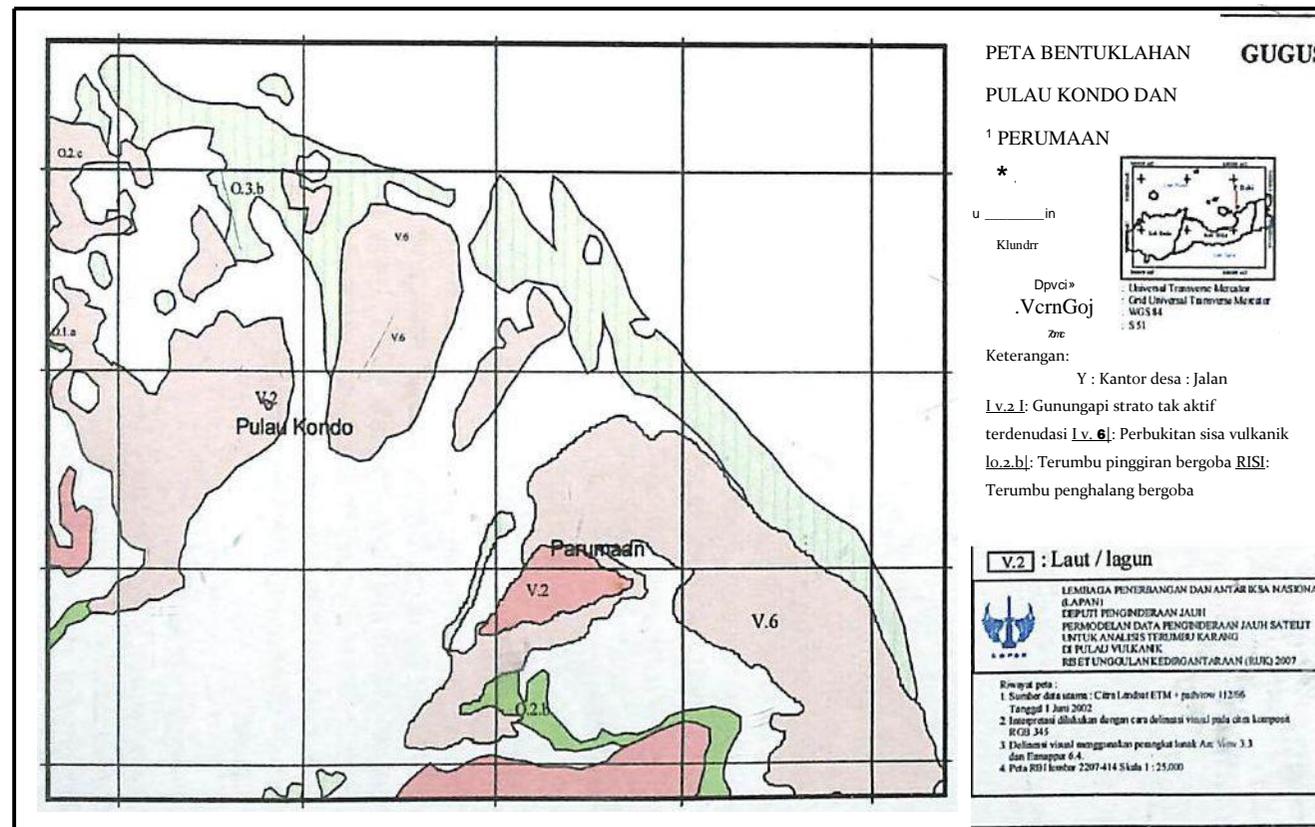
4.4.2 Klasifikasi Lyzengga

Hasil klasifikasi algoritma *Lyzengga* memberikan gambaran sebaran terumbu karang di sekitar gugus-pulau yang lebih jelas. Dari hasil klasifikasi ini kemudian dilakukan reklasifikasi berdasarkan kondisi lapangan yang dibantu dengan Peta Geologik, Peta Pelayaran, dan Peta Rupaburji Indonesia atau berdasarkan kondisi geomorfologinya. Dari hasil reklasifikasi akhir ini didapat dua kelas utama yaitu kelas *pasir* dan *karang hidup*, sedangkan perairan dangkal sekitar gugus pulau bisa diidentifikasi sebagai substrat dasar terumbu ataupun pasir.

Hasil klasifikasi terumbu karang dengan menggunakan algoritma *Lyzengga* disajikan pada Gambar 4.1 e, sedangkan hasil reklasifikasi disajikan pada Gambar 4.1f.

Pertumbuhan terumbu karang di gugus-pulau secara lebih jelas digambarkan pada Peta Bentuklahan Gugus Pulau (Gambar \4.3). Peta bentuklahan ini adalah hasil interpretasi Citra Landsat,

Peta RBI, Peta Geologik, dan pengamatan langsung di lapangan. Bentuk pertumbuhan terumbu karang yang ada di gugus pulau ini antara lain adalah *terumbu pinggir bergoba* dan *terumbu penghalang bergoba*. Dari gambar terlihat bahwa sebaran terumbu karang melebar dan melebihi luas pulau utama, yaitu pulau Kondo dan Parumaan.



Gambar 4.3 Peta Bentuklahan Pulau Kondo dan Parumaan

Pertumbuhan terumbu pinggir bergoba lebih luas bila dibandingkan dengan terumbu penghalang bergoba. Terumbu pinggir ini mulai tumbuh dari pinggir pulau utama yang kemudian melebar ke perairan sekitarnya yang relatif dangkal dan memiliki kedalaman relatif yang sama, sedangkan terumbu penghalang mulai tumbuh di bagian luar (*seaward*) gugus-pulau, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1d (terumbu penghalang di Pulau Besar) yang tumbuh terpisah dari pulau utama yaitu Pulau Besar. Bentuk pertumbuhan terumbu ini tampak memanjang. Pertumbuhan terumbu penghalang ini banyak terkait dengan morfologi dasar dari gugus-pulau vulkanik, yaitu Pulau Kondo, Pulau Pangabatang, Pulau Parumaan dan Pulau Besar. Keempat pulau ini merupakan sisa dari tubuh gunungapi-strato terdenudasi yang tidak aktif lagi dan berumur Pleistosen (V.2).

4.5 KESIMPULAN

Bentuklah terumbu yang tumbuh di gugus-pulau ini adalah *terumbu pinggir* dan *terumbu panghalang*. Dengan berjalannya waktu pertumbuhan terumbu pinggir dapat menghubungkan dua pulau atau lebih di dalam gugus-pulau yang sama, karena perairan antar pulau relatif dangkal dan pola pertumbuhan terumbu yang menyebar. Beberapa goba dijumpai pada kedua bentuklah ini berkaitan dengan perbedaan kecepatan pertumbuhan terumbu karang.

Terumbu penghalang secara dominan tumbuh di sisi bara Pulau Besar, sedangkan di perairan laut Flores arus bergeral secara dominan ke arah barat. Hal ini mengindikasikan bahwa pola pertumbuhan terumbu karang ini tidak hanya dipengaruhi oleh geomorfologi dasar perairan sebagai substrat tumbuhnya terumbu tetapi juga oleh faktor lain, yaitu pergerakan arus di gugus-pulau karena arus sepanjang pantai membawa nutrisi yang dibutuhkan oleh terumbu.

DAFTAR PUSTAKA

- DKP (Departemen Kelautan dan Perikanan). 2001. *Pedoman Umum Pengelolaan Pulau-pulau Kecil yang Berkelanjutan dan Berbasis Masyarakat*. Direktorat Jendral Pesisir dan Pulau-pulau Kecil Jakarta.

- Guilcher, A. 1988. *Coral Reef Geomorphology*. Chichester. John Wiley & Sons.
- Hehanussa, P.E., 1993. Geohydrology of Uplifted Island Arc With Special Reference to Ambon, Nusa Laut, and Kei Islands, *Indonesia. Proc. Southeast Asia and the Pacific Regional Workshop on Hydrology and Water Balance of Small Island*. Nanjing, China.
- Liliesand, T.M. dan Kiefer, R.W. 1994. Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra (Terjemahan). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Lyzengga, D.R. 1981. Remote Sensing of Bottom Reflectance and Water Attenuation Parameters in Shallow Water Using Aircraft and Landsat Data. *International Journal of Remote Sensing*, 2:71-82.
- Maxwell, W.G.H. 1968. *Atlas of The Great Barrier Reef*. Elsevier, Amsterdam.
- Mumby PJ, Green EP, Clark CD, Edwards AJ. 2000. Remote sensing handbook for tropical coastal management. In: 3 (ed) Coastal management sourcebooks. UNESCO, Paris, pp 316.
- Strahler, A.N. and Strahler, A.H. 1978. *Modern Physical Geography*. John Wiley & Sons. New York.
- Zuidam R. A. van. 1985. *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. ITC, Enschede. The Netherlands.

Bab 5

ANALISIS MORFOLOGI ATOL DI GOSONG-GONI

Oleh: Wikanti Asriningrum

5.1 ABSTRAK

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia yang berada di jalur magmatik. Kondisi alami ini berpotensi untuk dijumpai banyak atol. Namun, informasi keberadaan atol di Indonesia masih sangat terbatas. Citra penginderaan jauh satelit dapat untuk mengenali atol dan datanya meliputi seluruh wilayah perairan laut dan daratan Indonesia. Bentuk pendekatan analisis geomorfologi menggunakan data ini adalah sesuai dan bersifat relatif langsung. Analisis morfologi atol dilakukan melalui prosedur pengolahan citra untuk menampilkan atol terutama morfologi terumbu. Hasilnya menunjukkan bahwa citra RGB 321 dengan penajaman penampikan morfologi terumbu atol Gosong-goni dengan baik. Nvlorfologi terumbu Gosong-goni yang melingkar dapat dikenali pada resolusi spasial 30 meter, sedangkan pulau kecil atol ^aPat dikenali pada resolusi spasial 15 meter. Analisis morfologi atol ^{tampak} membulat dari permukaan memberikan informasi kaarakteristik fisik menyerupai cekungan berbentuk karang goni terbuka dan merupakan bentukkawah. Kedalaman cekungan adalah 30 m yang merupakan batas sinar matahari dapat menembus ^{SUmU^{ra}} formasi ini bermanfaat untuk memprakirakan potensi sumberadya terumbu karang yang terkandung dalam bentuklahan atol.

kunci: atol, gosong, morfologi, dan penginderaan jauh.

5.2. Pendahuluan

Atol adalah jenis terumbu samudra yang terbentuk pada tahap akhir pertumbuhan akibat penenggelaman pulau vulkanik (Maxwell 1968, yang dipicu dalam Zuidam, 1985, dan Strahler dan Sementara itu, bentuklahan terumbu berbentuk atau membulat yang tumbuh pada substrat dasar selain

batuan vulkanik disebut pseudo atol (Zuidam, 1985). Atol memiliki arti penting terkait dengan sumberdaya terumbu karang karena karakternya yang berada pada tingkat kematangan pertumbuhan terumbu, posisinya di samudra, dan terhindar dari sedimentasi. Karakteristik atol ini merupakan habitat biota karang yang baik karena stabilitas lingkungan dan kualitas perairannya terjaga.

Di Indonesia inventarisasi jenis terumbu seperti atol perlu dilakukan, agar wilayah yang dianggap kaya akan terumbu karang dapat mengetahui potensinya. Teknik penginderaan jauh telah diaplikasikan lebih dari tiga dasa warsa termasuk aplikasi untuk obyek terumbu karang. Bentuklahan terumbu cincin (atol) dapat dikenali dari citra penginderaan jauh satelit sampai pada batas kedalaman dimana sensor mampu menembus obyek [ni. Terumbu yang muncul ke permukaan air laut dan tidak tenggelam saat air pasang/lebih mudah dikenali dari citra.

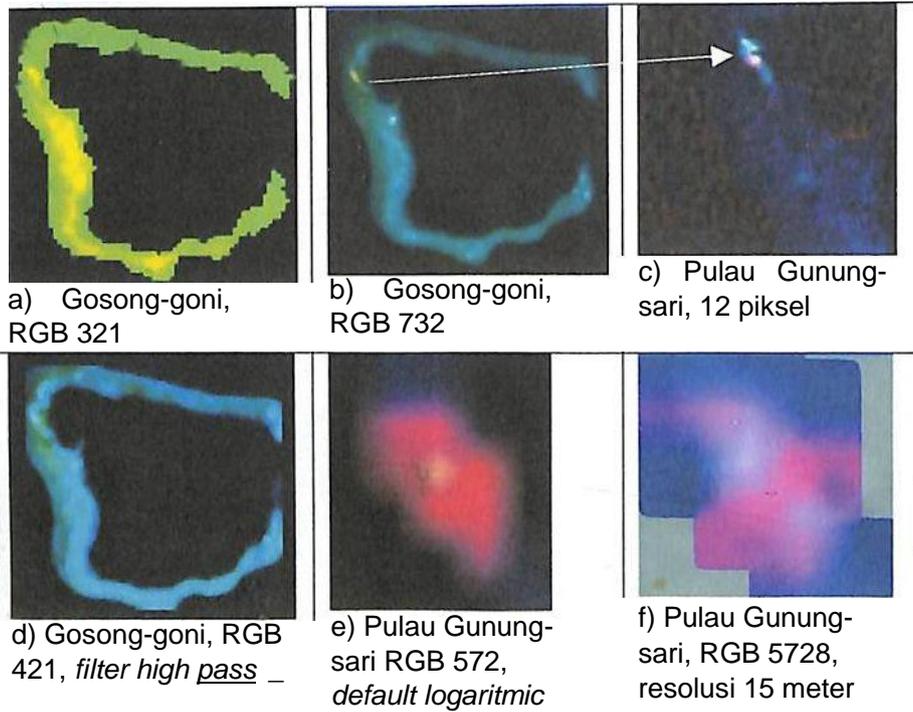
Morfologi atol berbentuk membulat, melingkar atau sejenisnya sebagai akibat dari tenggelamnya tubuh pulau tipe vulkanik di tengahnya (Gambar 5.1). Aspek morfologi ini seringkali digunakan pada tahap awal analisis geomorfologi yang dilakukan secara visual dari data penginderaan jauh karena langsung dapat dikenali. Namun, identifikasi atol yang bertolak cferi aspek morfologi ini masih mengalami permasalahan, karena morfologi atol memiliki variasi cukup beragam dan belum tentu tubuh atol dapat dikenali dari citra secara utuh. Di samping itu, morfologi terumbu atol tidak selalu membulat dan sebaliknya mprfetogi terumbu yang membulat belum tentu atol.

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas maka penelitian ini bermaksud untuk 1) menyeleksi teknik pengolahan citra untuk mendapatkan tampilan atol yang tajam dan jelas serta 2) merekonstruksi morfologi atol dengan pendekatan analisis geomorfologi.

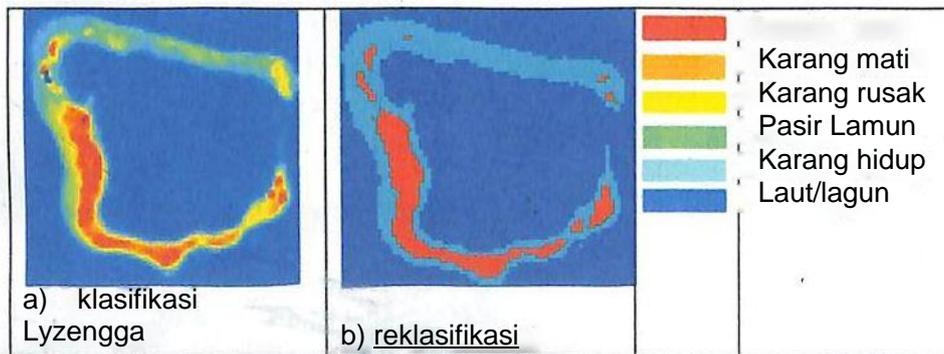
5.3 PENAJAMAN CITRA UNTUK ATOL

Posisi terumbu yang berada di bawah permukaan air memerlukan penggunaan kanal-kanal dari citra Landsat yang sesuai-"" Selain itu, teknik penajaman juga perlu diseleksi uotuk-flTgmilih bentuk yang sesuai dengan terumbu agar obyek trif dapat dikenali d\$ngan jelas. Proses seleksi ini diteliti pada terumbu di Gosong-goni

untuk dapat mengenali bentuklahan terumbu cincin (atol) dan pulau tipe atol.



Gambar 5.1 Penajaman citra Landsat untuk atol.



Gambar 5.2 Klasifikasi terumbu karang di Gosong-goni.

Kisaran nilai digital terumbu di Gosong-goni (Gambar 5.1a), data Landsat pada resolusi radiometrik 8 bit adalah kanal V. 255 - 255, kanal 2: 166 - 255, kanal 3: 7 - 255, kanal 4: 7 - 141, kanal 5: 50-222, dan kanal 7: 7 -166. Kanal 1 dan 2 adalah kanal yang sensitif terhadap, obyek-obyek di air. Pada kasus ini nilai digital kanal satu hanya satu digit dan kanal dua ada 89 digit. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kanal 2 lebih mewakili terumbu karang.

Hasil pengolahan citra Landsat pada Gambar 5.1 menunjukkan bahwa komposit RGB 321 lebih tajam dibandingkan RGB 421. Hal ini disebabkan oleh karena kisaran nilai digital kanal 3 lebih lebar dibandingkan kanal 4. Kasus ini sangat spesifik untuk terumbu karang dari bentuklahan atol dibandingkan dengan terumbu karang pada bentuklahan yang lain. Beberapa kasus di daerah lain di Kabupaten Sikka, citra komposit yang lebih sesuai untuk terumbu karang adalah RGB 421. terumbu karang di Gosong-goni dapat mewakili karakter terumbu karang dengan baik karena di sekelilingnya tidak dijumpai selain terumbu. Pulau kecil yang terbentuk juga tersusun oleh material hancuran terumbu.

Seleksi penajaman dilakukan menggunakan algoritma- algoritma pada *soft-ware* ER-MAPPER 6.4. Bentuk seleksi ini dimaksudkan sebagai cara praktis bagi interpreter untuk menggunakan kanal-kanal terseleksi dalam membangun citra komposit. Tampilan citra dengan penajaman yang sesuai dengan morfologi obyek siap dianalisis secara visual untuk mendapatkan informasi terumbu karang yang benar.

Citra Pulau kecil Gunung-sari sesuai dengan penajaman *default logaritmik* (Gambar 5.1 b). Sementara itu filter yang sesuai adalah *high pass* dan *low pass*. Spesifikasi penajaman dan filter ini juga khas untuk bentuklahan terumbu atol. Fenomena ini menjadi khas karena terumbu di lokasi lain biasanya menjadi gelap dengan algoritma ini. Tentu saja, penemuan ini masih memerlukan kajian lebih lanjut mengingat bentuklahan terumbu atol kemungkinan terletak berdampingan dengan bentuklahan terumbu lainnya. Namun, setidaknya bentuk penajaman ini dapat dipertimbangkan ketika menemukan morfologi terumbu berbentuk melingkar pada citra penginderaan jauh.

5.4 PULAU ATOL

Analisis geomorfologi merupakan salah satu pendekatan untuk menentukan pulau tipe atol. Ada empat aspek analisis geomorfologi adalah morfologi, morfogenesis, morfokronologi, dan morfoarrangement. Morfologi membulat dari Gosong-goni dapat dikenali dari citra Landsat. Aspek morfoarrangement Gosong-goni berada pada satu kelurusan dengan pulau-pulau kecil tipe vulkanik.

Pulau Gunung-sari merupakan pulau tipe atol. Pulau Gunung-sari terbentuk di Gosong-goni sebagai hasil dari akresi pantai. Proses akresi pantai akan terus berlangsung jika material penyusun terus bertambah apalagi gelombang laut tidak bersifat abrasif.



Pulau Gunung-sari memiliki topografi landai hingga berombak. Elevasi pulau berkisar 1 -1,5 meter dpal (di atas permukaan air laut). Hal tersebut menyebabkan pulau ini sangat terpengaruh oleh pasang surut air laut.

Pulau Gunung-sari masih sangat kecil yaitu dengan luas 0,393 Ha atau sekitar 12 piksel citra Landsat tanggal 1 Juni 2002 (Gambar 5.1 c). Namun, pulau ini dapat dikenali dari citra Landsat resolusi spasial 30 meter atau pada resolusi spasial 15 meter (Gambar 5.1 e dan f). Tampilan pulau menjadi lebih jelas melalui proses penajaman (Gambar 5.1 e). Faktor yang menyebabkannya adalah kondisi pulau yang tidak tergenang oleh air laut pasang meskipun saat pasang tertinggi. Pada kasus ini pulau atol sangat kecil. Namun, meskipun morfologi pulau sangat kecil, dapat dimanfaatkan untuk identifikasi terumbu karang di perairan laut dangkal sekelilingnya.

Lokasi Gosong goni berada terpisah jauh dari pulau lain, sehingga gelombang dan arus laut bergerak leluasa dan berpengaruh kuat terhadap kondisi terumbu karang. Oksigen dan makanan yang dibutuhkan karang akan terbawa oleh arus pasang naik dan hangat. Hal tersebut mengakibatkan karang dapat berkembang lebih baik. Namun demikian, karang akan lebih cepat mati apabila terlalu lama berada di atas permukaan air. Jika terumbu karang yang telah mati tersebut terkena oleh gelombang laut yang

besar, maka karang mati akan hancur menjadi kepingan terumbu. Proses insudasi sepanjang pantai (*longshore drift*) akan membawa kepingan tersebut menuju bagian perairan yang lebih tenang hingga dapat terdeposisi. Proses yang terus berlangsung tersebut menyebabkan deposisi makin luas. Endapan ini dikenal dengan sebutan rampat. Rambat yang terbentuk akan semakin tinggi dan tidak lagi tergenang saat pasang tertinggi yang akhirnya dapat ^v dikategorikan sebagai pulau. Pulau Gunung-sari yang terletak di ^v bagian Barat-laut Gosong-goni terbentuk oleh proses tersebut dan dikategorikan sebagai pulau tipe atol.

Gosong-goni telah terpetakan pada Peta Geologi lembar Ende Tahun 2004 skala 1:250.000 dan Peta Air Pelayaran dan (Tempat Berlabuh Indonesia Tahun 2001 skala 1:100.000. Namun, pada Peta Rupa Bumi Indonesia Tahun 1999 skala 1:25.000, Gosong-goni belum terpetakan. Kaitan antara keberadaan Gosong-goni dan tahun pemetaan ini perlu dicermati mengingat bahwa proses pembentukan terumbu membutuhkan kurun waktu yang relatif lama. Dengan kata lain, tidak mungkin dalam waktu dua tahun terumbu atol bisa terbentuk. Sementara itu, Pulau atol Gunung-sari dapat dilacak awal terbentuknya dari citra penginderaan jauh dengan memanfaatkan data multi waktu. Arti penting pemahaman proses pembentukan lebih dari informasi topografi, misalnya terkait dengan pengelolaan yang bersifat geo-politis dan geo-strategis. Pulau atol akan meluas secara alami. Jika pulau atol berada di perbatasan maka menjaga pertumbuhan terumbu di atol akan memiliki nilai strategis. Pada kasus ini memberikan gambaran peran penting menjaga terumbu atol untuk melindungi habitat ikan karang dan pulau atol.

Material penyusun Pulau Gunung-sari adalah hancuran karang mati atau hancuran terumbu (Gambar 5.3, M.5), Topografinya ^v berombak atau bergelombang yang merupakan ciri khas proses marin (*marine*) sebagai hasil kerja gelombang. Namun secara umum, Pulau Gunung-sari dapat dikategorikan memiliki topografi datar. Terkait dengan pengelompokan pulau menurut topografinya yang membedakan antara datar dan berbukit (Hehanusa 1993), maka pulau ini termasuk ke dalam kelompok pulau datar.

5.5 MORFOLOGI ATOL

Terumbu Gosong-goni hampir seluruhnya berada di bawah permukaan air laut. Hanya Pulau Gunung-sari yang berada di atas permukaan air laut. Bentuk melingkar terumbu karang yang tampak pada citra adalah bagian permukaannya saja. Sementara itu, terumbu karang yang ada di sisi dalam dan di sisi luar atol tidak dapat dikenali dari citra. Bertolak dari morfologi melingkar ini, dikembangkan analisis geomorfologi dari aspek morfogenesis, morfoarrangement, dan morfokronologi.

Secara keseluruhan bentuk dari Gosong-goni adalah melingkar dengan outlet di sebelah Timur. Besar kemungkinan bentuklah terumbu ini tumbuh mengikuti pola batuan dasarnya (substrat) yang berupa tubuh vulkanik yang berada di bawah permukaan air laut. Tubuh gunungapi ini mungkin telah terhenti pertumbuhannya sebelum mencapai permukaan atau bisa juga berupa bekas tubuh gunungapi yang telah hancur oleh letusannya sendiri hingga terendam oleh air laut. Morfogenesis seperti ini disebut atol (Gambar 5.3, 0.4) yang merupakan tahap akhir perkembangan bentuklah terumbu samudra (Zuidam, 1985).

Hasil penyelaman diketahui bahwa kedalaman atol mencapai + 30 meter di bawah permukaan air laut. Terumbu karang berkembang dengan topografi menyerupai cekungan seperti karang (goni) yang terbuka. Bentuk topografi demikian disebabkan oleh bentuk substrat dasarnya yang menyerupai cekungan. Topografi dan morfologi Gosong-goni ini mengindikasikan bahwa genesisnya adalah atol. Cekungan Gosong-goni juga menyerupai kawah gunungapi.

Lokasi terumbu Gosong-goni berada pada busur magmatik pada rangkaian Pulau Flores. Posisi Gosong-goni berada pada kelurahan pulau-pulau tipe vulkanik yaitu Pulau Palue, Pulau Babi dan Pulau Konga (Gambar 7.1). Morfoarrangement seperti ini mengindikasikan bahwa terumbu Gosong-goni berasal dari pulau tipe vulkanik.

Gosong-goni merupakan atol dimana pulau vulkanik yang berada di tengahnya telah hilang oleh degradasi, atau atol ini tumbuh di atas tubuh vulkanik yang telah terhenti aktivitasnya sebelum mencapai permukaan air laut. Posisi Gosong-goni berada pada suatu kelurahan yaitu secara berurutan dari barat ke timur adalah Pulau Palue, Gosong-goni, Pulau Babi, dan Pulau Konga. Ketiga pulau kecil ini merupakan pulau tipe vulkanik. Berdasarkan

analisis morfoarrangement, dari bentuk kelurusan ini maka diduga bahwa Gosong-goni merupakan atol.

Uraian di atas merupakan analisis geomorfologi terhadap morfologi melingkar terumbu Gosong-goni. Pembuktian lain akan kebenaran bahwa terumbu ini merupakan atol dapat diperkuat dengan pengeboran material dasar terumbu yang menunjukkan bahwa substrat dasarnya adalah material vulkanik. Cara lain adalah dengan pengukuran kemiringan lereng terumbu di kedua sisi. Jika kemiringan lereng sisi dalam atol lebih curam daripada sisi luar atol, mengindikasikan bahwa morfologi dasarnya adalah suatu kawah gunungapi.

5.6 TERUMBU KARANG DI ATOL

Citra penginderaan jauh satelit menampilkan bentuk melingkar dari terumbu pada bagian permukaannya saja. Namun, dengan analisis geomorfologi informasi bentuk permukaan ini dapat mengantarkan untuk merekonstruksi morfologi terumbu secara utuh yang tidak dapat ditampilkan oleh citra. Berdasarkan analisis morfologi dapat diperkirakan volume tempat tumbuh terumbu karang dan potensi sumberdayanya.

Berdasarkan hasil pengamatan dari citra Landsat, luas terumbu karang yang tampak dari citra sekitar 200 kali lipat lebih luas dibandingkan dengan luas Pulau Gunung-sari. Analisis temporal perkembangan luas Pulau Gunung-sari akan menjadi sangat menarik untuk dijadikan dasar penghitungan kecepatan pembentukan pulau tipe atol atau pulau terumbu. Model penghitungan akan bernilai strategis bagi pulau-pulau yang terletak di perbatasan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.

Guna mengetahui kondisi terumbu karang dilakukan penyelaman di bagian Barat Laut Gosong-goni." Hasil penyelaman di sisi luar atol pada kedalaman 3 meter diketahui bahwa kondisi terumbu karang adalah bagus dengan formasi karang yang rapat. Sementara itu, pada kedalaman 10 meter, terumbu karang sangat bagus dengan topografi seperti wali (sangat curam). Artinya, semakin dalam batimetri semakin bagus kondisi terumbu karang.

Hasil penyelaman di sisi dalam atol pada kedalaman 3 meter diketahui bahwa kondisi terumbu karang lebih baik dibanding kondisi terumbu karang pada kedalaman 10 meter. Pada kedalaman 10

meter, karang tidak terlalu bagus. Kerusakan terumbu karang diidentifikasi sebagai akibat dari ledakan populasi *crown of thorn*.

Artinya, kondisi terumbu karang juga dipengaruhi oleh faktor internal dari populasi yang ada dan perubahan oleh faktor populasi ini lebih dinamis dibandingkan pertumbuhan karangnya.

Dari informasi penyelaman tersebut dapat diperoleh gambaran umum bahwa dijumpai perbedaan kondisi terumbu karang antara sisi dalam dan sisi luar bentuklahan terumbu atol. Kerusakan terumbu karang pada sisi dalam atol atau cekungan Gosong-goni bersifat lokal. Artinya ledakan populasi *crown of thorn* tidak berpengaruh hingga ke bagian sisi luar atol. Hasil cek lapangan diketahui bahwa di wilayah Gosong-goni ini tidak dijumpai lamun.

Kondisi terumbu karang juga diidentifikasi menurut algoritma Lyzengga dan hasil aplikasinya ditunjukkan pada Gambar 5.2. Hasil algoritma Lyzengga mengklasifikasikan area terumbu karang pada atol Gosong-goni menjadi enam kelas, yaitu terumbu karang mati, terumbu karang rusak pasir, lamun, terumbu karang hidup, dan laut/lagun (Gambar 5.2a). Reklasifikasi dilakukan dengan memasukkan informasi dari kondisi morfologi atol dan hasil cek lapangan. Langkah reklasifikasi paling optimal yang dapat dilakukan adalah dengan membaginya menjadi tiga kelas yaitu karang mati, karang hidup, dan laut/lagun (Gambar 5.2b).

5.7 PENUTUP

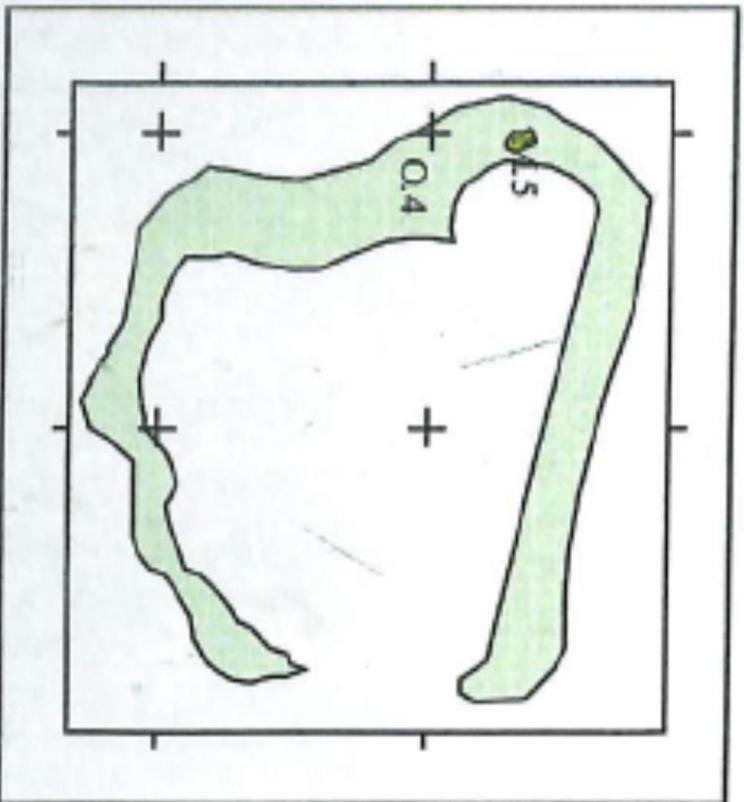
Kanal citra Landsat yang lebih mewakili untuk terumbu atol adalah kanal 2, sedangkan citra komposit yang paling tajam adalah RGB 321.. Citra komposit yang sesuai untuk pulau atol adalah RGB »72 dan tampak lebih tajam dengan fusi kanal 8 menjadi resolusi 15 meter. Penajaman dan pemfilteran lebih baik diaplikasikan untuk

erumbu dan pulau atol.

Analisis morfologi atol memberikan informasi karakteristik

Profil fisik atol. Perpaduan antara hasil analisis morfologi atol yang diperoleh dari tampilan permukaan atol di citra dapat membantu untuk merekonstruksi kondisi fisik atol secara menyeluruh. Bentuk sejenis terumbu atol Gosong-goni dapat ditelusuri di sepanjang jalur magmatik. Sebaliknya, bentuk sejenis terumbu atol yaitu pseudo atol berbentuk melingkar dengan batuan non-vulkanik), dapat

telusuri di sepanjang jalur non-magmatik.



PETA BENTUKLAHAN GOSONG GONI



Proyeksi : Universal Transverse Mercator
Sistem Grid : Grid Universal Transverse Mercator
Datum : WGS 84
Zone : S 51

Keterangan :
0.4 : Atol / Pseudo atol
0.5 : Rampat



LAPAN AGA PENERBUKANG DAN AMTANERKA NASIONAL. (LAPAN)
DEPUTI PENGENDALIAN LARBE
PERPADARAN DATA PERSERBERAAN JALAH SATELIT
UNTUK ANALISIS TERIMBUKUN RANGGID PULAU WILKANKER
BERTUNGGILAN KESKIBUAN FAKALAN GRUPO 2000

Beberapa manfaat analisis morfologi atol di antaranya adalah untuk 1) merekonstruksi kondisi ruang pertumbuhan terumbu karang hingga suatu kedalaman yang tidak dapat dijangkau oleh sensor satelit penginderaan jauh, 2) menghitung volume terumbu karang, dan 3) memperkirakan potensi sumberdaya terumbu karang di atol.

DAFTAR PUSTAKA

DKP (Departemen Kelautan dan Perikanan). 2001. *Pedoman Umum Pengelolaan Pulau-pulau Kecil yang Berkelanjutan dan Berbasis Masyarakat*. Direktorat Jendral Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. Jakarta.

ilcher, A. 1988. *Coral Reef Geomorphology*. Chichester. John Wiley & Sons.

hanussa, P.E., 1993. Geohydrology of Uplifted Island Arc with Special Reference to Ambon, Nusa Laut, and Kei Islands Indonesia. *Proc. Southeast Asia and the Pacific Regional Workshop on Hydrology and Water Balance of Small Island* Nanjing, China.

iesand, T.M. dan Kiefer, R.W. 1994. Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra (Terjemahan). Gadjah Mada University Press Yogyakarta

zengga, D.R. 1981. Remote Sensing of Bottom Reflectance and Water Attenuation Parameters in Shallow Water Using Aircraft and Landsat Data. *International Journal of Remote Sensing* 2:71-82.

axwell, W.G.H. 1968. *Atlas of The Great Barrier Reef*. Elsevier Amsterdam.

lummy PJ, Green EP, Clark CD, Edwards AJ. 2000. Remote sensing handbook for tropical coastal management. In: 3 (ed Coastal management sourcebooks. UNESCO, Paris, pp 316.

trahler, A.N. and Strahler, A.H. 1978. *Modern Physical Geography* John Willey & Sons New York.

Bab 6

ANALISIS PERTUMBUHAN TERUMBU MENGGUNAKAN DATA QUICKBIRD DI PULAU POMANA

Oleh: Wikanti Asriningrum

6.1 Abstrak

Pertumbuhan terumbu dapat menjadi salah satu dasar pertimbangan pengelolaan kawasan terumbu karang. Sementara itu, analisisnya dapat ditempuh menggunakan citra penginderaan jauh satelit dengan pendekatan geomorfologi. Data resolusi tinggi QuickBird menampilkan morfologi terumbu relatif detail.'

Penelitian ini bertujuan mendesain model analisis pertumbuhan terumbu. Analisis dilakukan dengan pendekatan geomorfologi dengan daerah penelitian Pulau Pomana. Analisis ini dilakukan untuk memahami substrat dasar tempat tumbuh terumbu karang.

Pertumbuhan terumbu diketahui terkait erat dengan terbentuknya pulau kecil tipe terumbu., yaitu Pulau Pomana yang berada di antara pulau-pulau tipe vulkanik. Terumbu yang terbentuk merupakan bentuklahan terumbu paparan. Rangkaian analisis pertumbuhan terumbu dibangun dengan data citra penginderaan jauh resolusi menengah dan tinggi serta didukung foeta-peta, cek \ lapangan, dan survei sebelumnya.

Hasil analisis pertumbuhan terumbu dimanfaatkan untuk pengelolaan yang berlandaskan dari pemahaman kondisi alamiahnya. Kasus di Pulau Pomana, proses pertumbuhan terumbu yang akan datang dapat berkembang secara alami dengan baik.

Faktor yang mendukung adalah lokasi di tengah samudra dan sedimentasi yang relatif rendah.

Kata kunci: terumbu paparan, QuickBird, pulau tipe terumbu, Pulau Pomana.

6.2 PENDAHULUAN

Terumbu (*reefs*) banyak terbentuk di Indonesia dan membentuk suatu ekosistem terumbu karang. Terumbu dapat dibedakan antara terumbu samudra dan terumbu paparan (Maxwell 1968, yang diacu dalam Zuidam, 1985). Terumbu samudra berkembang di perairan laut dangkal di tengah samudra yang biasanya berada di sekitar pulau-pulau vulkanik. Terumbu paparan berkembang pada paparan perairan laut dangkal di sekitar pulau-pulau non vulkanik.

Pertumbuhan terumbu adalah sebuah proses yang menempuh kurun waktu relatif sangat lama. Pertumbuhan terumbu dikenali dari yang ada masa kini melalui karakteristiknya dan ditinjau kondisinya masa lalu untuk dapat memperkirakan pertumbuhan masa yang akan datang. Kondisi bentuklah terumbu yang ada menunjukkan tahap pertumbuhan secara relatif. Gambaran tahap pertumbuhan ini dapat dijadikan dasar pertimbangan dalam pengelolaan suatu kawasan terumbu.

Data dan informasi kondisi terumbu di Indonesia belum tersedia. Teknik perolehan informasi terumbu secara efisien yang dapat ditempuh adalah dengan memanfaatkan data penginderaan jauh. Bagian permukaan terumbu yang dapat dikenali dari citra menjadi obyek kajian untuk memahami tahap pertumbuhan yang berlangsung. Terumbu di Pulau Pomana memiliki keunikan yang menarik untuk diteliti proses pertumbuhannya karena di sini berkembang terumbu paparan dalam satu wilayah perairan laut dangkal.

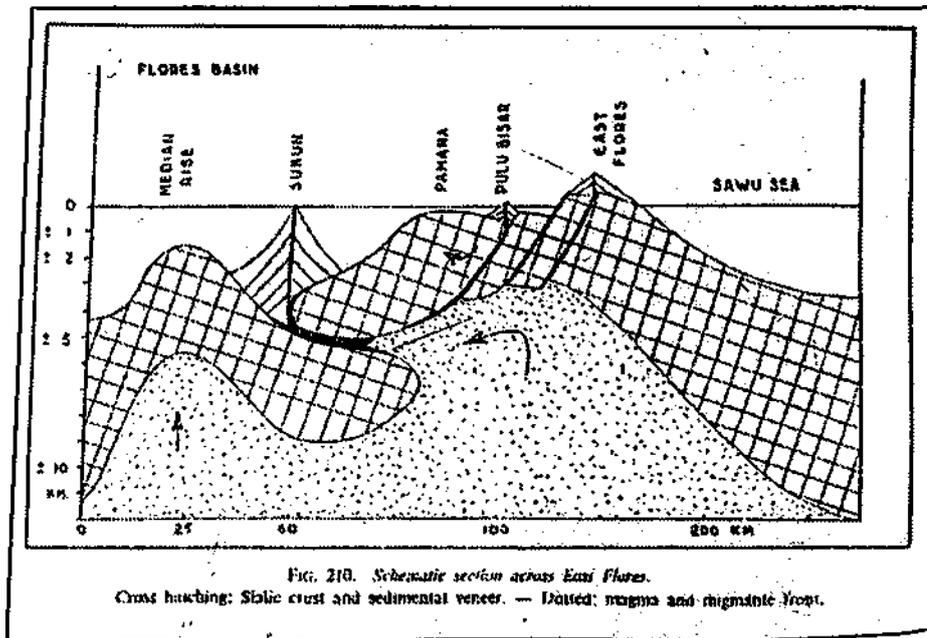
Penelitian ini bertujuan untuk mendesain model analisis pertumbuhan terumbu. Model ini bermanfaat untuk mengenali proses pertumbuhan terumbu yang menjadi tempat tumbuh bagi karang dan biota laut lainnya. Di samping itu, model ini juga bermanfaat untuk memahami pertumbuhan ekosistem terumbu karang.

Data yang digunakan adalah jenis citra satelit resolusi tinggi yaitu QuickBird tanggal 25 Mei 2007 dan citra resolusi menengah yaitu Landsat tanggal 1 Juni 2002. Data pendukung berupa peta Rupa Bumi Indonesia, Peta Geologi, Peta Pelayaran, dan cek lapangan. Analisis geomorfologi Pulau Pomana menjadi bagian yang tak terpisahkan dalam rangkaian penelitian ini.

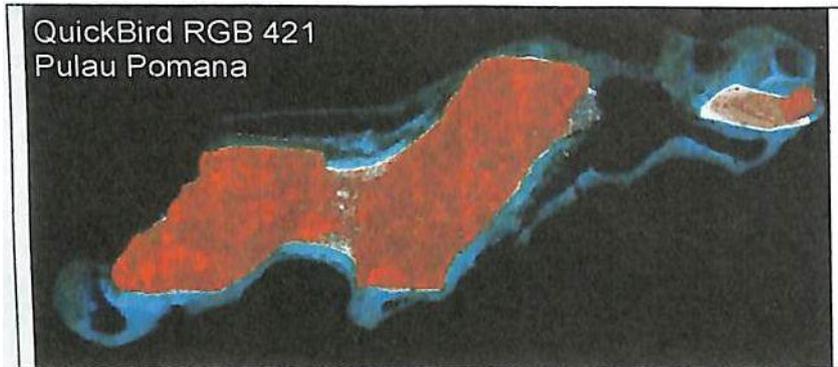
6.3 GEOMORFOLOGI DAERAH PENELITIAN

Pulau Pomana dicirikan oleh perbukitan berupa dua punggung bukit dan satu bukit kecil (Gambar 6.2). Sementara itu, Gambar skematik posisi Pulau Pomana diilustrasikan oleh Bemmelen (1970) pada Gambar 6.1. Pada Gambar 6.1 ini Pulau Pomana berada di antara pulau-pulau kecil tipe vulkanik yaitu Pulau Sukun dan Pulau Besar. Namun, Pomana bukanlah terbentuk oleh aktivitas magmatik melainkan suatu endapan yang terangkat akibat desakan aktivitas magmatik.

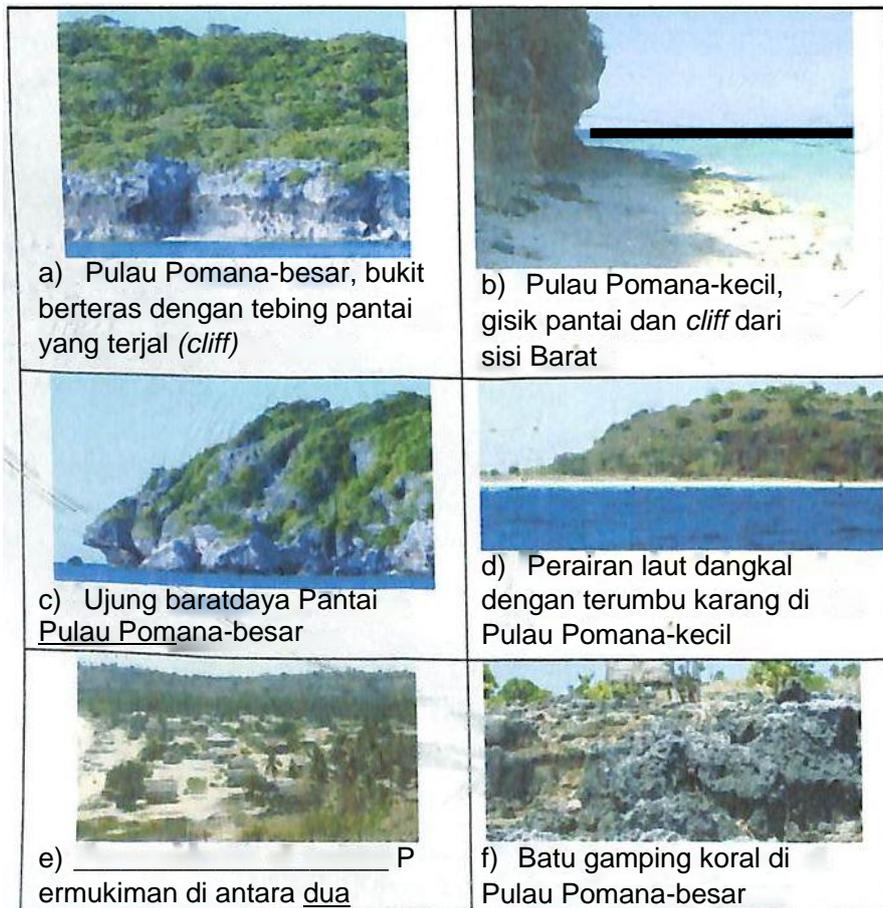
Susunan keruangan Pulau Pomana berada di antara pulau-pulau kecil lain dengan bentuk membulat sebagai ciri pulau vulkanik yang dapat dikenali dari citra Landsat (Gambar 7.1). Menurut Atlas pengelompokan pulau kecil berdasarkan tektonogenesis (Pusat Survei Geologi, 2006), Pulau Flores dan pulau-pulau kecil pada Gambar 7.1 di sini berada pada busur magmatik. Pulau Pomana berbentuk segi empat dengan pantai membentuk garis lurus.



Gambar 6.1 Skematik penampang melintang lembah Flores. Posisi Pulau Pomana di antara Pulau Sukun dan Pulau Besar. (Sumber: Bemmelen, 1970).



Gambar 6.2 Citra QuickBird RGB 421, Pulau Pomana.



Gambar 6.3 Foto Pulau Pomana-besar dan Pulau Pomana-kecil.

Proses pengangkatan Pulau Pomana berlangsung pada batu gamping terumbu akibat aktivitas magmatik yaitu saat proses terbentuknya gunungapi di Pulau Sukun dan Pulau Besar. Diduga, Pulau Pomana terbentuk dari proses pengangkatan batu gamping terumbu. Berdasarkan analisis tersebut maka Pulau Pomana ini termasuk pulau tipe terumbu yang terbentuk di atas batuan vulkanik yang terangkat oleh aktivitas magmatik.

Secara umum, morfologi perbukitan mendominasi Pulau Pomana, sedangkan daerah dataran relatif sempit. Perbukitannya berteras dan datarannya berupa tombolo dan *cusplate foreland*. Morfologi bukit berteras dengan arah umum timurlaut. Dua bukit yang besar telah tergabungkan oleh dataran (tombolo) dan dikenal dengan nama Pulau Pomana-besar. Satu bukit yang terpisah dikenal dengan nama Pulau Pomana-kecil (47,915 Ha). Pulau Pomana-besar dan Pulau Pomana-kecil terhubungkan oleh terumbu. Pulau Pomana diduga merupakan tiga pulau yang semula terpisah dan ketiganya terhubungkan secara alami oleh tombolo dan terumbu, sehingga pulau-pulau ini dapat dikategorikan sebagai gugus-pulau (Gambar 6.2).

Morfologi dataran dijumpai relatif sempit. Dataran terbentuk dari endapan batu gamping terumbu hasil abrasi air laut. Dataran relatif luas dijumpai di antara dua perbukitan besar di Pulau Pomana-besar berupa bentuklahan tombolo. Sementara itu, dataran sempit dijumpai di timur dan selatan Pulau Pomana-besar berupa bentuklahan *cusplate foreland*. Dataran lain berupa dataran pantai yang relatif sangat sempit (Gambar 6.3).

Dari aspek morfogenesis, bentuklahan pulau kecil tipe terumbu yang berkembang di Pulau Pomana dapat dikelompokkan menjadi bentuklahan-bentuklahan asal proses 1) tektonik, 2) marin, dan 3) organik. Proses pelarutan atau solusional diperkirakan juga terjadi tapi masih sulit dikenali dari permukaan. Salah satu penyebabnya adalah curah hujan yang relatif rendah. Bentuklahan tombolo awalnya adalah *cusplate foreland* yang dalam perkembangannya telah menghubungkan dua pulau.

Analisis pertumbuhan bentuklahan terumbu tidak dapat dipisahkan dari analisis proses terbentuknya pulau kecil atau daratannya. Hal ini disebabkan oleh karena substrat dasar yang menjadi tempat tumbuh hewan karang terbentuknya berkaitan dengan pulau kecil.

Pulau Pomana berpenghuni yang terdiri atas dua desa. Perdesaan berkembang di dataran yang berada di antara dua bukit besar dan di dataran rendah yang berada di timurlaut Pulau Pomana-besar. Sumber air tawar dijumpai di lereng perbukitan. Mata pencaharian penduduk sebagian besar adalah sebagai nelayan, sedangkan usaha pertanian berupa keija tambahan yaitu berupa jagung dan kacang hijau. Usaha pertanian di sini sangat tergantung pada curah hujan.

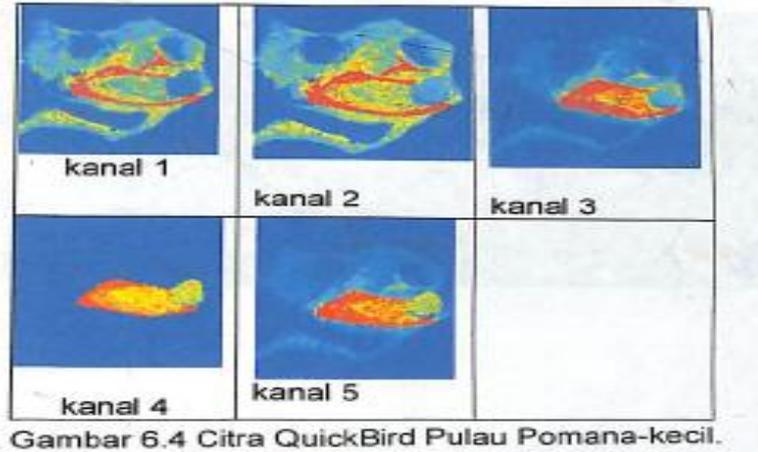
6.4 NILAI DIGITAL TERUMBU KARANG

Data QuickBird terdiri atas 5 kanal yaitu 4 kanal multispektral dan satu kanal pankromatik Tabel (2.2). Nilai digital terumbu karang diamati.tiap-tiap kanal dari 4 kanal multispektral dengan maksud untuk membandingkan kisarannya secara spesifik. Kanal 5 tidak diamati karena memiliki panjang gelombang' pankromatik yaitu meliputi kanal 1 sampai kanal 4. Pada bentuklahan terumbu berkembang ekosistem terumbu karang. Bentuklahan terumbu dibedakan menjadi dua kelompok besar yaitu terumbu samudra dan terumbu paparan, sedangkan terumbu karang dibedakan antara ' terumbu karang hidup dan terumbu karang mati.

Nilai digital terumbu karang diamati di sisi barat-daya Pulau Pomana-besar pada area yang bejumlah 5.776 piksel (Gambar ®*5). b^erah ini merupakan bentuklahan terumbu pelataran dengan terumbu Karang hidup. Nilai digital setiap kanal ditunjukkan pada Tabel 6.1. Nilai digital terumbu karang rata-rata pada kanal 1 dan 2 ^adalah 37,32 dan 48,29, sedangkan pada kanal 3 nilainya jauh lebih rendah (13,58) dan kanal 4 nilainya terendah (4,03). Kisaran nilai digital kanal 1,2, 3, dan 4 masing-masing berbeda, meskipun ada nilai yang sama atau tumpang tindih antara kanal 1 (32-45) dan 2 (40-61).

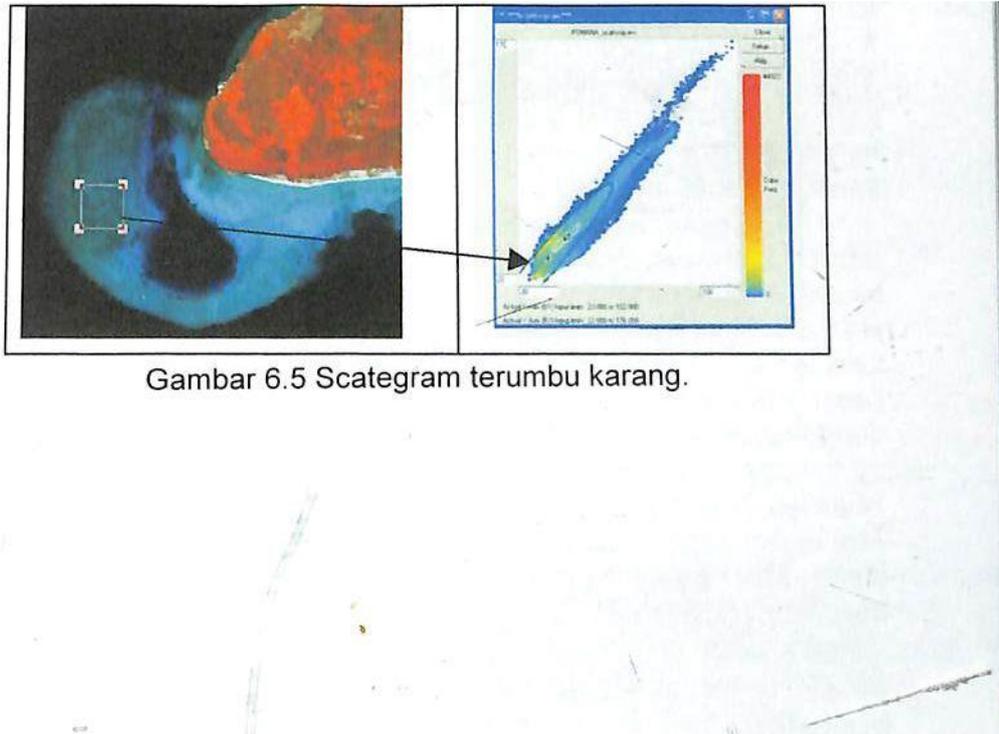
Tabel 6.1 Nilai digital terumbu karang

Region	kanal 1	kanal 2	kanal 3	kanal 4
Nilai digital	32-45	40-61	13-17	4-5
Rata-rata	37,32	48,29	13,58	4,03
Standar deviasi	2,35	3,61	1,07	0,18

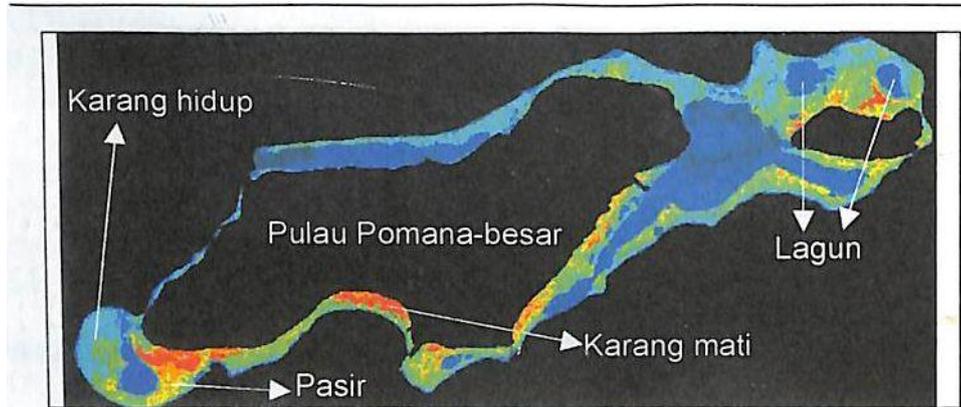


Gambar 6.4 Citra QuickBird Pulau Pomana-kecil.

Gambar 6.4 Citra QuickBird Pulau Pomana-kecil.



Gambar 6.5 Scategram terumbu karang.



Gambar 6.6 Klasifikasi terumbu karang di Pulau Pomana.

Gambar 6.4 menampilkan terumbu karang pada Pulau Pomana-kecil untuk setiap kanal. Pada kanal 1 dan 2, terumbu karang tampak lebih luas dibandingkan kanal lainnya, sedangkan pada kanal 4 terumbu karang tidak dapat dikenali. Sebaliknya pada kanal 4 menampilkan morfologi daratan pulau lebih jelas. Sementara itu, kanal 5 atau pankromatik, dengan panjang gelombang dari kanal 4 sampai kanal 4, diketahui kurang jelas menampilkan terumbu karang. Secara visual dapat dikenali perbedaan tampilan terumbu karang pada setiap kanal dari citra QuickBird, dimana kanal 1 dan kanal 2 tampak lebih jelas.

Hubungan antara kisaran nilai digital dan tampilan visual adalah bahwa kisaran nilai digital yang lebih lebar memberikan tampilan terumbu lebih jelas. Dengan kata lain, kanal 1 dan 2 lebih jelas dan sesuai untuk identifikasi bentuklahan terumbu dan terumbu karang. Oleh karenanya, citra komposit yang dibangun dengan kanal 1 dan 2 seperti RGB 421 akan menampilkan terumbu karang dengan jelas karena kisaran nilai digitalnya lebih lebar.

Lebih rinci, nilai digital terumbu karang diamati menurut kelasnya (Tabel 6.2). Pada kanal 1 dan 2, diketahui bahwa urutan nilai digital paling tinggi adalah kelas terumbu karang mati, disusul oleh kelas pasir dan terendah kelas terumbu karang hidup, meskipun nilainya tidak sama. Nilai digital untuk ketiga kelas ini pada kanal 2 lebih tinggi dibandingkan kanal 1. Artinya kanal 2 lebih sensitif untuk mengenali perbedaan obyek-obyek yang berada di bentuklahan terumbu. Scattergram nilai digital untuk kanal 1 dan 2 ditunjukkan pada Gambar 6.5

Tabel 6.2 Nilai digital terumbu karang menurut kelas

Kelas	kanal 1	kanal 2	kanal 3	kanal 4
Karang hidup	29-39	35-51	11-16	4-5
Pasir	34-56	45-87	48-47	5-11
karang mati	52-79	77-119	24-44	5-7

Perbandingan nilai digital antara daratan pulau dan terumbu menunjukkan bahwa kisaran nilai terumbu berada di antara kisaran nilai daratan pulau untuk kanal 1, 2, 3, dan 4. Kisaran nilai digital terumbu karang relatif lebih sempit dibandingkan dengan daratan Pulau kecil pada kanal 1, 2, 3, dan 4 (Tabel 6.3). Misalnya, pada kanal 1, nilai digital daratan Pulau Pomana berkisar antara 23 - 120, sedangkan untuk terumbu karang berkisar antara 24 - 79. Perbedaan nilai ini dapat dimengerti karena variasi obyek-obyek di daratan relatif lebih beragam dibandingkan dengan obyek-obyek di Perairan laut dangkal. Tumpang tindih nilai digital antara daratan Pulau dari terumbu perlu disiasati dengan cara memisahkannya dulu sebelum dilakukan analisis pertumbuhan terumbu. Pemisahan dilakukan melalui digitasi pada batas antara darat dan perairan (Pantai).

Tabel 6.3 Nilai digital daratan pulau dan terumbu

Kanal	Daratan pulau & terumbu karang,-	Daratan pulau	Terumbu karang '
1	23-124	23-120	24-79
2	22-207	23-202	23-127
3	7-171	7-170	8-59
4	1-178	3-174	4-65

6.5 PERTUMBUHAN TERUMBU

6.5.1 Bentuklahan terumbu

Proses pertumbuhan terumbu karang membutuhkan waktu yang panjang. Rata-rata pertumbuhan terumbu adalah sekitar 14 mm per tahun (Holmes, 1975, diacu dalam Zuidam, 1985). Analisis pertumbuhan terumbu dengan pendekatan geomorfologi dilakukan dengan aspek morfologi, morfokronologi, morfogenesis, dan morfogenetika pertumbuhan terumbu dengan merekonstruksinya berdasarkan kondisi saat ini. Kondisi morfologi terumbu saat ini

dapat dikenali dari citra penginderaan jauh satelit dan pada penelitian morfologi terumbu diamati menggunakan citra QuickBird tanggal 25 Mei 2007 dan Landsat tanggal 1 Juni 2002.

Studi bentuklahan terumbu tidak dapat dipisahkan dengan pulau kecil atau daratan terdekatnya. Substrat dasar tempat tumbuh terumbu terbentuk berkaitan dengan proses yang berlangsung di pulau atau daratan di dekatnya. Pulau Pomana termasuk pulau tipe terumbu yang terbentuk di atas batuan vulkanik yang terangkat oleh aktivitas tektonik. Pertumbuhan terumbu dipengaruhi oleh proses terbentuknya pulau karena substrat dasar yang menjadi tempat tumbuh terumbu karang adalah bagian dari pulau. Seperti diuraikan pada sub-bab 6.2, Pulau Pomana terbentuk dari hasil pengangkatan batu gamping koral. Terumbu karang awalnya berkembang pada substrat dasar batuan vulkanik di tengah samudra kemudian terangkat dan selanjutnya berkembang pada batuan gamping terumbu. Dengan kata lain, terumbu di Pulau Pomana tumbuh pada perairan laut dangkal pulau tipe terumbu.

Bentuklahan terumbu paparan yang dijumpai di Pulau Pomana termasuk jenis terumbu paparan pelataran (*platform reef*) yaitu terumbu pelataran bergoba (*lagoonal*) dan terumbu paparan dinding (*wall reef*) terutama terumbu dinding tanduk (*cusplate*). Menurut klasifikasi yang dikemukakan oleh Maxwell (1968, Gambar 7.2), goba atau lagun terbentuk pada tahap lanjut dari jenis terumbu paparan pelataran ataupun terumbu paparan dinding. Bentuk terumbu yang membulat dijumpai pada pantai yang menghadap laut lepas, sedangkan bentuk terumbu dinding dijumpai pada pantai yang terlindung dari gelombang dan arus (Gambar 6.2). Pola morfologi terumbu yang membulat merupakan cermin bahwa di area ini terbentuk keseimbangan antara faktor-faktor hidrologi, batimetri, dan biologi.

Bentuklahan terumbu yang terbentuk termasuk kategori terumbu paparan yaitu terumbu pelataran bergoba (*lagoonal*) dan terumbu dinding tanduk (*cusplate*). Terumbu pelataran bergoba dijumpai di ujung baratdaya Pulau Pomana. Pertumbuhan bentuklahan terumbu sejenis ini diperkirakan akan berkembang di perairan laut dangkal bagian selatan dan bagian utara dari perbukitan Pulau Pomana-besar bagian timur. Tanda awal pertumbuhan terumbu yang membulat dijumpai bagian selatan dapat

dikenali dari citra berupa bentuk lagun yang masih kecil (Gambar 6.2) Lagun dan pantai

Lagun di terumbu lebih mudah dikenali dari citra satelit karena kekontrasannya antara obyek terumbu karang dan air. Di daerah penelitian, lagun dijumpai di beberapa lokasi (Gambar 6.6). Lagun paling luas menghubungkan antara Pulau Pomana-besar dengan Pulau Pomana-kecil. Satu lagun di ujung baratdaya Pulau Pomana-besar. Dua lagun di utara Pulau Pomana-kecil dan satu lagun kecil di bagian selatan. Lagun ini terbentuk menunjukkan tanda pertumbuhan terumbu pada tahap lanjut. Empat lagun yang terbentuk memiliki dengan pola umum membulat. Pola ini mencerminkan kondisi hidrologi dan batimetri. Di sini dijumpai dua goba atau lagun yang berdampingan. Keberadaan dua lagun ini diduga berawal dari dua terumbu yang berdampingan yang saat ini telah menyatu. Klasifikasi bentuklahan untuk Pulau Pomana-kecil ditunjukkan pada Gambar 6.7.

Jenis pantai dibedakan antara pantai berbatu, pantai berpasir, pantai berlumpur. Di daerah penelitian pantai yang terbentuk ber dinding terjal (*cliff*) dan mendominasi bentuk pantai di Pulau Pomana (Gambar 6.3). Pantai landai dijumpai berhadapan dengan bentuklahan tombolo dan *cusplate foreland*. Di sini pantainya relatif mengalami gangguan sedimentasi, sehingga pertumbuhan terumbu karang akan terganggu, meskipun semakin ke arah laut pengaruh sedimentasi menjadi semakin tidak berarti. Pengaruh sedimentasi juga dipacu oleh aktivitas penduduk nelayan. Kasus di Pulau Pomana, penduduk tinggal di bentuklahan tombolo atau di antara dua bukit besar.

Perairan laut yang berhadapan dengan pantai landai ini di bagian selatan membentuk teluk (menjorok ke darat) dan pantai bagian utara menghadap laut lepas. Di pantai bagian selatan ini dijumpai endapan pasir dan terumbu karang mati, tapi sebaliknya di pantai bagian utara terumbu karang tumbuh dengan baik (Gambar 6.6). Fenomena ini menunjukkan bahwa pertumbuhan terumbu karang lebih dipengaruhi oleh morfologi pantai.

Proses sedimentasi perairan pantai di Pulau Pomana relatif rendah. Hal ini terkait dengan tipe pulau terumbu yang menyerap air

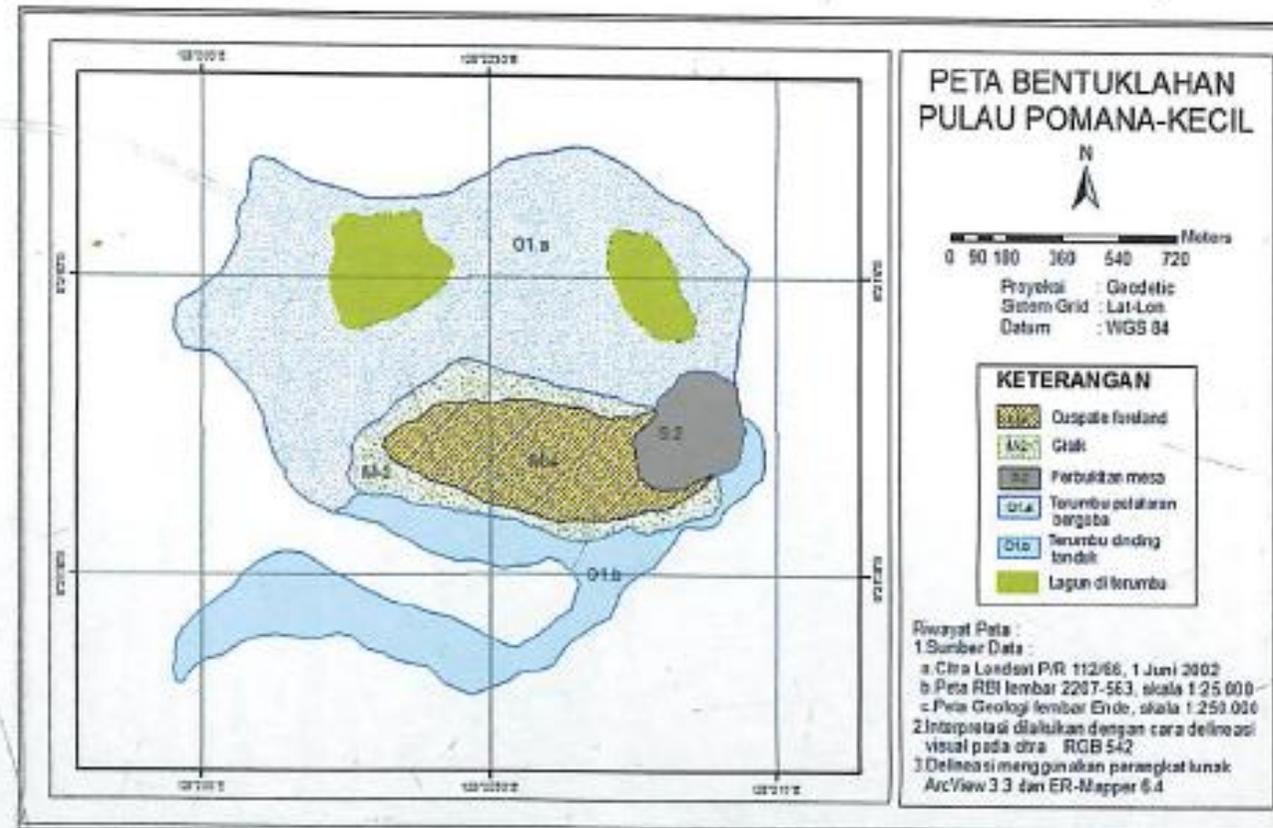
hujan melalui celah-celah rekahan batu gamping. Sedimentasi yang rendah di perairan laut dangkal ini menyebabkan terumbu karang dapat berkembang baik. Persyaratan pertumbuhan maksimum terumbu karang adalah gerakan gelombang yang besar, sirkulasi air yang lancar, dan terhindar dari proses sedimentasi (Zuidam, 1985). Ketiga persyaratan tersebut dapat terpenuhi untuk area ini. Pulau Pomana berada di tengah samudra, sehingga gelombang besar dan sirkulasi arusnya lancar dan secara umum mendukung pertumbuhan terumbu.

Di Pulau Pomana tidak dijumpai mangrove dan lamun. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor di antaranya adalah: 1) posisi pulau berada di samudra sehingga terdapat ombak besar, 2) substrat dasar yang terdapat di perairan laut dangkal merupakan endapan batu gamping sebagai hasil dari rombakan pulau terumbu.

6-5.2 Manfaat analisis pertumbuhan terumbu

Manfaat dari analisis pertumbuhan terumbu adalah diperolehnya informasi untuk memahami proses yang sedang berlangsung. Sebagai contoh, uraian di atas menggambarkan pemahaman proses pertumbuhan terumbu paparan di Pulau Pomana-kecil. Sebagai analisis logis maka diperkirakan ke depan masih akan dijumpai bentukan terumbu sejenis di lokasi yang berbeda, dan indikasi awal sudah dapat dikenali di Pulau Pomana-besar.

Citra merupakan salah satu data untuk membantu mengenali karakteristik fisik terumbu. Gambar 6.6 adalah hasil klasifikasi terumbu karang di Pulau Pomana yang dianalisis secara digital menggunakan algoritma Lyzengga. Algoritmanya adalah $Y = \ln B1 + 0,54094 \ln B2$. B1 dan B2 adalah kanal 1 dan kanal 2 data QuickBird. Algoritma ini mengakomodir keragaman terumbu karang yang ada dengan mengambil 30 titik sampel untuk mendapatkan koefisien. Nilainya sebesar 0,54094 (baca uraian algoritma Lyzengga di Bab 1). Hasil klasifikasi ini telah diverifikasi dengan dukungan hasil analisis bentukan terumbu dan cek lapangan. Cek lapangan dilakukan dengan penyelaman di dua lokasi yaitu di ujung baratdaya dan di bagian selatan tombolo. Hasil penyelaman diperoleh gambaran umum bahwa terumbu karang di ujung baratdaya lebih baik dibandingkan dengan di bagian selatan. Hal ini diperkirakan terkait dengan sedimentasi dan pengaruh gelombang.



6.6 PENUTUP

Hasil analisis geomorfologi terumbu berdasarkan kondisi morfologi saat ini dapat mengenali bentuklahan sehingga dapat diketahui proses pertumbuhan terumbu dari awal dan prediksi pertumbuhan berikutnya. Awal pertumbuhan terumbu terbentuk pada substrat dasar batuan vulkanik yang kemudian terangkat. Terumbu yang dijumpai saat ini merupakan terumbu paparan. - Pertumbuhan bentuklahan terumbu pada beberapa puluh tahun yang akan datang dapat diperkirakan berdasarkan indikasi yang dikenali saat ini berupa morfologi lagun. Faktor lokasi dan tingkat sedimentasi juga merupakan informasi karakteristik fisik yang diperlukan untuk perkiraan pertumbuhan terumbu ke depan. Lokasi terumbu dikenali dari analisis morfoarrangement, sedangkan tingkat sedimentasi dikenali dari bentuklahan pulaunya,

Pada kanal 1 dan 2 data QuickBird menunjukkan urutan nilai digital yang sama yaitu secara berurutan dari tertinggi hingga terendah adalah terumbu karang mati, pasir, dan terumbu karang hidup. Bertolak dari nilai digital inilah maka kanal 1 dan 2 digunakan untuk membangun citra komposit dan untuk klasifikasi secara digital.

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R. W. van. 1970. *The Ecology of Indonesia*. Vol. 1 A. General Geology. Martinus Nijhoff. The Hague. 732 pages.
- Guilcher, A. 1988. *Coral Reef Geomorphology*. Chichester. John Wiley & Sons.
- Liliesand, T.M. dan Kiefer, R.W. 1994. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra (Terjemahan)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Maxwell, W.G.H. 1968. *Atlas of The Great Barrier Reef*. Elsevier, Amsterdam.
- Pusat Survei Geologi. 2006. *Atlas Pengelompokan Pulau Kecil Berdasarkan Tektonogenesis untuk Perencanaan Tata Ruang Darat, Laut, dan Dirgantara Nasional*. Bandung.
- Zuidam R. A. van. 1985. *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. ITC, Enschede. The Netherlands.

Bab 7

PEMODELAN IDENTIFIKASI BENTUKLAHAN TERUMBU

Oleh: Wikanti Asriningrum

7.1 ABSTRAK

Informasi kondisi fisik terumbu memberikan gambaran yang dibutuhkan untuk tujuan pengelolaan serta perkiraan produktivitas. Klasifikasi bentuklahan terumbu adalah salah satu cara untuk mendapat gambaran kondisi fisik terumbu karang. Cara ini relatif langsung dapat dilakukan dari citra penginderaan jauh karena sudah ada standarnya. Permasalahan untuk mendapatkan informasi ini antara lain adalah belum tersedianya model identifikasi. Penelitian yang bersifat eksploratif ini bertujuan untuk menyusun tahapan indentifikasi bentuklahan terumbu. Daerah studi kasus dipilih . Kabupaten Sikka karena memiliki beberapa tipe pulau kecil dengan terumbu karang yang beragam. Klasifikasi bentuklahan terumbu dikaji dan digunakan dalam penyajian hasil , identifikasi. Setiap bentuklahan terumbu dibahas untuk memberikan gambaran manfaat hasil identifikasi terkait dengan kebutuhan pengelolaan terumbu karang. Identifikasi dilakukan secara[^]visual dengan pendekatan geomorfologi. Hasil identifikasi bersifat kualitatif, kuantitatif, dan spasial yang disajikan dalam bentuk deskriptif, tabular, dan peta.

Kata kunci: terumbu, geomorfologi, model, bentuklahan, karakteristik fisik.

7.2 PENDAHULUAN

Informasi kondisi fisik terumbu dirasakan sebagai kebutuhan mengingat potensi sumberdaya ini memberi sumbangan penghasilan dari berbagai bidang, seperti perikanan dan pariwisata. Banyak penelitian terumbu karang dilakukan untuk mendapatkan informasi yang dapat memberi keuntungan ekonomis. Sementara itu, penelitian yang bersifat ekologis terkait dengan karakteristik fisik untuk kepentingan kelestarian terumbu karang relatif kurang-diminati. Model identifikasi bentuklahan terumbu dapatjmemteertRan

kontribusi untuk kepentingan keduanya yaitu ekonomis dan ekologis, sehingga dapat memberi kontribusi bagi pengelolaan berkelanjutan.

Sedikitnya ada lima cara klasifikasi habitat terumbu karang dengan pemetaan penginderaan jauh (Mumby, 1998 dan 2000) yaitu:

1. klasifikasi untuk pendefinisian habitat secara *ad hoc*, cara ini lebih sesuai untuk area yang familier
2. klasifikasi habitat untuk aplikasi studi yang spesifik, contoh: untuk satu spesies
3. klasifikasi habitat secara geomorfologi, cara ini lebih umum untuk penginderaan jauh dan sifatnya relatif langsung karena sudah ada standarnya
4. klasifikasi habitat secara ekologi, contoh: dominan algae, dominan lamun

5. klasifikasi ekologis dan geomorfologis yang digabung secara hierarkhis, contoh: lagun dangkal dengan lamun.

Sifat substrat dasar terumbu berkaitan dengan tipe pulau. Tipe pulau berdasarkan genesisnya dibedakan atas pulau tektonik, pulau vulkanik, pulau stack, pulau petabah (*monadnock*), pulau hummock, pulau aluvial, pulau terumbu, pulau atol, pulau gambut dan pulau butan. Setiap tipe pulau tersebut dapat membentuk morfologi datar dan berbukit, kecuali pulau stack secara umum adalah datar serta pulau aluvial dan pulau atol secara umum adalah berbukit. Klasifikasi tipe pulau secara genesis menunjukkan proses terbentuknya yang berarti pula memberikan informasi proses terbentuknya substrat dasar terumbu.

Melihat ada kecenderungan semakin meningkatnya penggunaan citra satelit di Indonesia dan melihat pentingnya informasi terumbu karang, maka pemodelan identifikasi terumbu menurut tipe pulau dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan akurasi. Algoritma untuk klasifikasi digital selanjutnya dapat dibangun berlandaskan karakter asal terbentuknya terumbu karang.

Penelitian ini bertujuan untuk menyusun tahapan indentifikasi bentuklahan terumbu. Berdasarkan kriteria dari Mumby tersebut maka penelitian ini termasuk cara klasifikasi habitat secara geomorfologi. Analisis tipe pulau secara geomorfologis juga dilakukan untuk mendapat keterpaduan informasi proses pembentukan terumbu dari unsur daratan dan unsur perairan. Data penginderaan jauh satelit resolusi menengah Landsat, SPOT-4 dan

resolusi, tinggi QuickBird digunakan untuk menggali informasi yang bersifat saling melengkapi.

7.3 DAERAH PENELITIAN

Daerah penelitian dipilih Kabupaten Sikka karena memiliki pulau-pulau kecil yang beragam. Pulau-pulau kecil ini berada di Laut Flores. Ada tiga tipe pulau di daerah ini meliputi pulau tipe vulkanik, karang, dan atol. Terumbu karang dijumpai di sekeliling pulau-pulau kecil serta pantai utara dan pantai selatan Pulau Flores. Citra Landsat yang digunakan adalah P/R 112/66 tanggal 1 Juni 2002 (Gambar 7.1).

Kabupaten Sikka merupakan salah satu kabupaten di Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Posisi geografisnya berada di antara $8^{\circ} 5' - 8^{\circ} 40'$ Lintang Selatan dan $121^{\circ} 39' - 122^{\circ} 39'$ Bujur Timur. Daerah administrasi Kabupaten Sikka terbagi menjadi dua kelompok besar yaitu daerah administrasi di pulau besar (Pulau Flores) dan daerah administrasi di pulau-pulau kecil. Pulau-pulau kecil yang terlingkup dalam kabupaten ini di antaranya adalah Pulau Besar, Pulau Dambila, Pulau Pangabatang, Pulau Babi, Pulau Pomana-besar; Pulau Pomana-kecil, Pulau Sukun, Pulau Parumaan, Pulau Kondo, dan Pulau Palue.

Di antara pulau-pulau kecil tersebut, pulau yang didiami adalah Pulau Sukun (30,77 Ha), Pulau Palue, (374,31 Ha), Pulau Parumaan (64,71 Ha), dan Pulau Pomana-Besar (50,9 Ha). Pulau Palue merupakan satu kecamatan dengan 4 desa. Di kecamatan ini mata pencaharian utama penduduknya adalah berkebun dan bemelayan, Pulau Parumaan merupakan satu desa yang mempunyai penduduk kurang lebih 500 kepala keluarga. Sebagian besar penduduknya mengusahakan budidaya rumput laut di perairan sekitar Pulau Parumaan. Pulau Babi tidak didiami lagi sejak dilanda bencana tsunami tahun 1992, dan kini penduduknya tinggal di Nangahale, Pulau Flores meskipun sebagian dari mereka masih tetap mencari ikan dan hasil laut lain di perairan sekitar Pulau Babi.

Berdasarkan perhitungan dari citra Landsat, luas daratan Kabupaten Sikka adalah 285.622,894 Ha yang meliputi luas pulau kecil 28.407,475 Ha (9,9 %) dan luas wilayah di Pulau Flores adalah 257.215,419 Ha (90,1 %). Luas lautan adalah 585.678,517 Ha yang diukur dengan batas 4 mil dari garis pantai pulau-pulau terluar.

Dengan batas laut 4 mil ini, wilayah lautan Kabupaten Sikka dua kali lebih luas dibandingkan daratannya. Garis pantai di Pulau Flores bagian utara sepanjang 205.659,01 meter, sedangkan garis pantai di Pulau Flores bagian Selatan sepanjang 156.872,168 meter. Pulau-pulau kecil (Pulau Besar, Pulau Pangabatang, Pulau Dambila, Pulau Babi, Pulau Pemana-besar, Pulau Pemana-kecil, Pulau Sukun, Pulau Parumaan, Pulau Kondo, dan Pulau Palue) memiliki garis pantai sepanjang 81.975,599 meter.



Gambar 7.1 Citra Landsat daerah Kabupaten Sikka.

Sunda. Aktif. Sikka merupakan bagian timur sistem gunungapi Aktivitas ters h magmatik masih berlangsung intensif pada sistem ini. banyak @ ut menghasilkan deretan pulau besar dan kecil yang Menurut a t i n y a merupakan Pulau vulkanik (Bemmelen, 1970). tektonogenj? Pengelompokan pulau kecil berdasarkan dirgantara nsf- Untuk perencanaan tata ruang darat, laut, dan maqmatik /P asional. Kabupaten Sikka termasuk kelompok busur t^usat Survei Geologi, 2007).

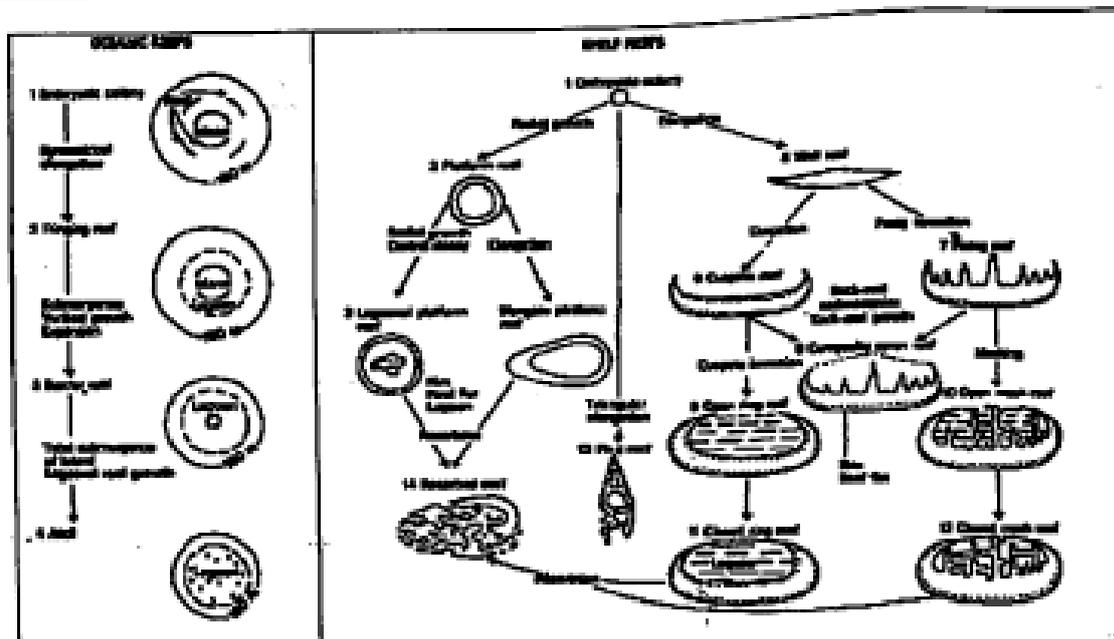
7.4 GEOMORFOLOGI TERUMBU

Maxwell (1968, dalam Zuidam, 1985), membagi terumbu- terumbu menjadi dua kelompok yaitu terumbu paparan (*shelf reefs*) dan terumbu samudra (*oceanic ceefs*) (Gambar 7.1). Selanjutnya, oleh F-G UGM & Bakosurtanal Tahun 2000 pembagian ini digunakan pada klasifikasi bentuklahan asal organik. Klasifikasi ini untuk tujuan pemetaan yang didasarkan pada asal mula pembentukan (genesis) bentuklahan dengan menggunakan Parameter-parameter relief/topografi, struktur geologi/batuan, proses geomorfologi, dan tingkatan/intensitas proses geomorfologi yang bekerja pada bentuklahan (Tabel 7.1).

Klasifikasi bentuklahan terumbu Tabel 7.1 disusun sebagai upaya pembakuan spek metodologi kontrol kualitas pemetaan tematik dasar dalam mendukung perencanaan tata ruang. Cara klasifikasi yang digunakan oleh F-G UGM & Bakosurtanal ada kesesuaian dengan cara klasifikasi terumbu menurut Maxwell (1968)- seperti tercantum pada Gambar 7.2. Upaya klasifikasi ini dapat diangkat -menjadi bentuk standar klasifikasi terumbu secara geomorfologi, yang menurut Mumby (1998 dan 2000) sebagai cara yang lebih umum untuk penginderaan jauh dan sifatnya relatif langsung karena sudah ada standarnya. Pemetaan terumbu menggunakan data penginderaan jauh merupakan cara interpretasi secara tidak langsung yaitu melalui morfologi yang tampak dari citra.

Di Indonesia diperkirakan seluruh tipe bentuklahan terumbu dapat dijumpai (Nontji, 2002). Untuk itu, kesepakatan untuk menggunakan suatu standar klasifikasi bentuklahan terumbu bagi Indonesia memiliki arti penting. Hal ini mengingatkan bahwa suatu kriteria dan asumsi pada cara klasifikasi mempengaruhi evaluasi yang akan dihasilkan.

Identifikasi bentuklahan terumbu memberikan informasi kualitatif kondisi fisik terumbu berupa asal mula dan tahap proses pembentukan yang diperoleh dari aspek morfogenesis. Secara keseluruhan, klasifikasi bentuklahan terumbu dari data penginderaan jauh menghasilkan informasi karakteristik fisik terumbu secara kualitatif, kuantitatif, dan spasial. Secara kuantitatif ditunjukkan dari ukuran (luas, lebar, panjang) dan secara spasial ditampilkan dalam bentuk peta bentuklahan terumbu. Nama bentuklahan terumbu menggambarkan kondisi terumbu karang secara kualitatif.



Gambar 7.2 Klasifikasi terumbu menurut Maxwell (1968). Beberapa tipe pertumbuhan terumbu yang dipengaruhi oleh keseimbangan antara faktor-faktor hidrologi, batimetri, dan biologi (Sumber: Zuidam, 1985).

Tabel 7.1 Klasifikasi bentuklahan terumbu

No	Nama Bentuklahan	
	Skala 1:250.000	Skala 1:50.000
1	Terumbu paparan pelataran (<i>platform reef</i>)	Terumbu pelataran bergoba (<i>lagoonal</i>) Terumbu pelataran lonjong (<i>elongated</i>) Terumbu pelataran tapulang (<i>resorbed</i>)
2	Terumbu paparan dinding (<i>wall reef</i>)	Terumbu dinding tanduk (<i>cusplate</i>)
3	Terumbu paparan sumbat (<i>plug reef</i>)	Terumbu dinding garpu (<i>prong reefs</i>) Terumbu sumbat (<i>plug reef</i>)
4	Terumbu samudra (<i>oceanic reef</i>)	Terumbu pinggiran (<i>fringing reef</i>) Terumbu penghalang (<i>barrier reef</i>) Terumbu cincin (<i>atoll</i>)

Sumber: F-G UGM & Bakosurtanal, 2000

7.5 PENGOLAHAN DATA

Pengolahan citra untuk tujuan identifikasi bentuklahan terumbu difokuskan pada kanal-kanal yang sensitif terhadap obyek-obyek di bawah permukaan air yaitu p'ada panjang gelombang biru dan hijau. Sebagai contoh, untuk citra Landsat dan QuickBird adalah pada kanal 1 dan 2. Kanal-kanal 1 dan 2 dimanfaatkan untuk membuat citra komposit RGB karena identifikasi bentuklahan terumbu dilakukan secara visual. Contoh citra kompositnya adalah RGB 421.

Bentuk-bentuk penajaman citra lebih baik diterapkan tetapi dengan memahami karakter obyek-obyek yang ada di terumbu. Bentuk penajaman seperti fusi multispektral, penajaman (*stretching*), dan pemfilteran. Contoh proses pengolahan citra untuk terumbu diuraikan pada Bab 1.

7.6 IDENTIFIKASI BENTUKLAHAN

Identifikasi bentuklahan terumbu dilakukan . dengan pendekatan geomorfologi. Analisis geomorfologi didasarkan pada ^ bentanglahan (*landscape*), meliputi aspek-aspek morfologi, morfogenesis, morfokronologi, dan morfo-arrangement (Van Zuidam, 1985). Analisis geomorfologi terumbu dapat memanfaatkan citra satelit sumberdaya alam seperti Landsat, SPOT, ASTER, QuickBird, dan IKONOS. Citra resolusi rendah seperti Landsat dan SPOT digunakan untuk mengenali f>ola menyeluruh dari aspek morfoarrangement dan pola morfologi. Citra resolusi tinggi seperti QuickBird dan IKONOS dapat menampilkan morfologi lebih detail.

Terumbu karang dan obyek-obyek di bawah permukaan air dapat dikenali dari citra penginderaan jauh satelit sampai batas cahaya matahari dapat menenijtjusnya. Terumbu karang yang tidak dapat ditampilkan oleh citra tetapi masih dimungkinkan untuk direkonstruksi keberadaannya, dan menjadi tambahan informasi dari identifikasi bentuklahan terumbu.

Substrat dasar di perairan laut dangkal di sekeliling pulau kecil dan pulau besar memiliki kaitan dalam pembentukan terumbu karang. Identifikasi terumbu karang perlu memahami tipe pulaunya untuk mengetahui jenis substrat dasarnya. Penelitian yang diuraikan pada bab-bab sebelumnya pada buku ini menguraikan mengenai keterkaitan substrat dasar terumbu dan pulaunya.

Setelah identifikasi bentuklahan terumbu dilakukan diineasi dari setiap kelas yang dijumpai. Informasi karakteristik fisik terumbu karang tergantung pada kemampuan untuk menarik garis diineasi bentuklahan terumbu. Hasil identifikasi bentuklahan terumbu secara bertingkat dari citra resolusi rendah hingga citra resolusi tinggi sebaiknya dilakukan untuk morfologi yang perlu pengamatan detail.

7.7 BENTUKLAHAN PULAU KECIL DAN TERUMBU

Model identifikasi diutamakan untuk mendapatkan informasi bentuklahan terumbu dengan teknik interpretasi visual. Pengolahan citra diarahkan untuk menampilkan aspek-aspek geomorfologi terutama morfologi dan morfoarrangement. Analisis terumbu karang dilakukan untuk mengetahui bentuklahan terumbu melalui kenampakan visual dari citra dan berdasarkan analisis kondisi substrat dasarnya. Untuk mengetahui substrat dasar terumbu karang analisisnya didekati dari proses terbentuknya pulau, dengan kata lain analisis perairan laut dapat ini didasarkan pada analisis geomorfologi daratan. Model dibangun untuk mendapatkan pola hubungan antara bentuklahan pulau kecil pada berbagai tingkat aktivitasnya dengan terumbu pada berbagai tingkat perkembangannya secara geomorfologis.

Data citra Landsat, SPOT, dan QuickBird dilakukan pengolahan lanjut dan penajaman sampai diperoleh tampilan terumbu karang yang tajam. Data sekunder seperti Peta Rupa Bumi, Peta Geologi, Peta Pelayaran, dan cek lapangan juga digunakan pada tahap interpretasi. Wilayah terumbu karang sulit dan berisiko untuk dijangkau sehingga teknik penginderaan jauh menjadi pilihan baik untuk mendapatkan informasi.

Permasalahan teknis dalam penelitian ini adalah lokasi obyek kajian berada di bawah permukaan air laut, sehingga dijumpai kesulitan dalam cek lapangan. Hasil penelitian terumbu karang seperti dari COREMAP serta penelitian berupa skripsi, dan tesis, menyajikan data terumbu karang dalam bentuk tabular, sehingga dapat digunakan untuk verifikasi analisis bentuklahan terumbu. Cara lain adalah dengan memanfaatkan citra resolusi tinggi seperti QuickBird dan IKONOS.

Di daerah penelitian terdapat tiga tipe pulau yaitu tipe vulkanik, koral, dan atol. Pulau tipe terumbu adalah Pulau Pomana,

sedangkan pulau tipe atol adalah Pulau Gunung-sari: Selebihnya adalah pulau tipe vulkanik. Ketiga tipe ini berkembang di daerah 'samudra, sehingga bentuklahan yang dijumpai sebagian besar adalah bentuklahan terumbu samudra yaitu terumbu pinggiran, terumbu penghalang,- dan terumbu atol. Bentuklahan terumbu paparan dijumpai di Pulau Pomana yaitu berupa terumbu pelataran bergoba dan terumbu dinding tanduk. Pulau Pomana ini berada d^ antara pulau-pulau vulkahik. Uraian ketiga tipe pulau tersebut" selengkapnya dapat dilihat pada Bab 3, 5, dan 6.

Hasil klasifikasi bentuklahan terumbu disajikan dalam bentuk peta Gambar 7.3, sehingga diperoleh informasi spasial bentuklahan terumbu, sedangkan informasi kuantitatif berupa luas masing- masing bentuklahan terumbu disajikan secara tabular (Tabel 7.2). Luas total bentuklahan terumbu dan pulau-pulau kecil di Kabupaten Sikka adalah 16452,74 Ha. Luas total bentuklahan terumbu adalah 715,809 Ha (4,35%) dan luas total bentuklahan non-terumbu 15726,915 Ha (95,65%). Uraian secara rinci pada Tabel 7.2. Sementara itu, hasil identifikasi terumbu yang tidak dapat disajikan dengan kedua cara di atas diuraikan secara deskriptif. Hasil-hasil temuan penting dan hasil rekonstruksi kondisi fisik terumbu yang tidak tampak dari citra juga disajikan secara deskriptif.

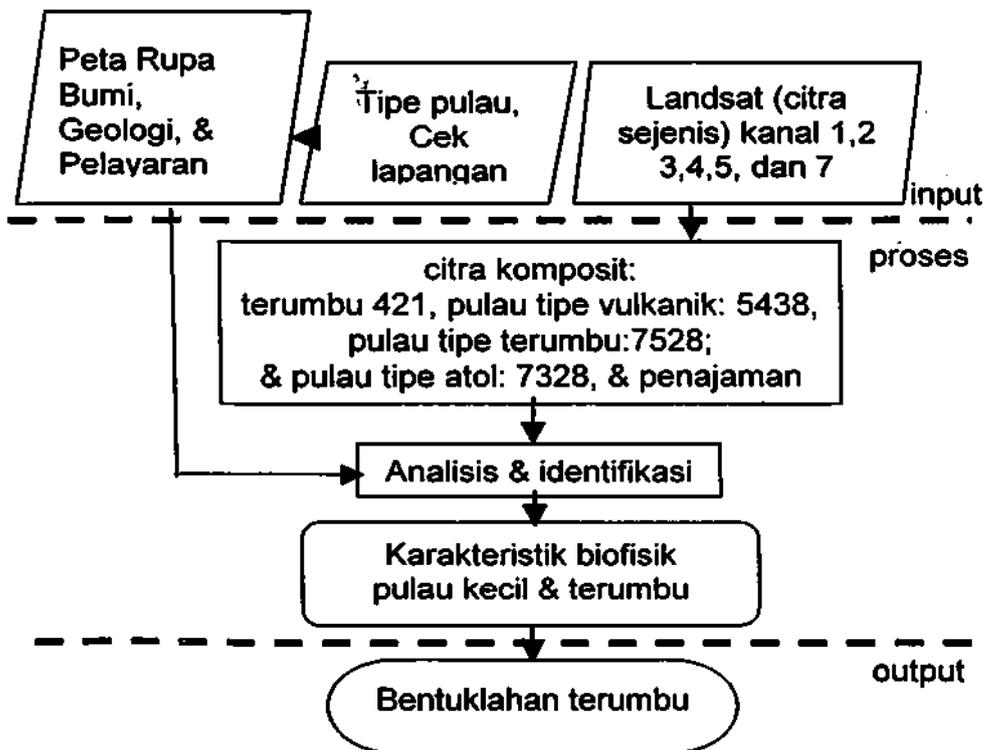
Sebagai perbandingan, perkiraan luas total terumbu karang di Indonesia adalah 8570,7 Ha (Tomascik et al. 1997). Di sini terumbu karang dikelompokkan menjadi empat yaitu *fringing reefe* (1454,2 Ha), *barrier reefs* (5022,3 Ha), *Oceanic platform reefs* (140,2 Ha), dan *atolls* (1954,0 Ha).

Manfaat informasi bentuklahan terumbu untuk pengelolaan dengan mengenali tahap pertumbuhannya, misalnya perbandingan antara terumbu pinggiran dan terumbu penghalang yang merupakan urutan pertumbuhan terumbu samudra. Terumbu penghalang lebih dewasa dan di sini dijumpai lagun yang memisahkannya dengan terumbu pinggiran. Area terumbu penghalang relatif lebih luas dan secara signifikan akan lebih banyak biota yang tumbuh dan berkembang. Dengan kata lain, secara relatif terumbu penghalang lebih bernilai ekonomis. Terumbu penghalang dapat berkembang berlapis-lapis antara terumbu dan lagun. Kondisi ini juga menjadi daya tarik untuk bidang pariwisata. Oleh karenanya pengelolaan untuk kelestarian terumbu penghalang perlu dibedakan dengan terumbu pinggiran. Sementara itu, terumbu cincin (atol) berada pada

tingkat akhir pertumbuhan dan tidak tumbuh lagi terumbu. Demikian halnya dengan untuk terumbu paparan perlu dibedakan bentuk pengelolaannya dengan memperhatikan karakteristik fisiknya.

Pengelolaan sumberdaya terumbu karang dari data penginderaan jauh antara lain berupa identifikasi, pemantauan, dan penentuan wilayah konservasi. Pemodelan yang dihasilkan penelitian ini berada di tahap awal, sehingga perlu langkah selanjutnya untuk melengkapinya.

Model identifikasi bentuklahan terumbu menggunakan data penginderaan jauh dengan pendekatan analisis geomorfologi disajikan pada Gambar 7.4.



Gambar 7.4 Model identifikasi bentuklahan terumbu.

Tabel 7.2 Luas (Ha) bentuklahan terumbu dan pulau-pulau kecil di Kabupaten Sikka

No	Bentuklahan	Pomana-besar	Pomana-kecil	Babi	Parurmaan	Sukun	Palue	Go song goni	Flores	Besar
1	Terumbu pelataran	9.135	9.79							
2	Terumbu dinding tanduk	25.657	4.244							
3	Terumbu				68.44	3.765	27.44		247.397	8.739
4	Terumbu pinggir			35.874	18.66	3.4				42.164
5	Terumbu penhalang									15.412
6	Terumbu penhalang				17.94	4.827			121.779	49.284
7	Atol							11.86		
8	Rawa payau			1.129						
9	Gisik		1.476	1.715		3.138				
10	Tombolo	5.406			2.73					
11	Cuspate foreland	1.421	2.252							
12	Rawa			4.286						
13	Lagun	1.678	1.531		8.06	6.201		19.05		26.532
14	Daratan	50.9	0.912	88.371	64.71	30.77	374.31	0.39	14531.15	498.8
	Total	94.19	20.21	131.38	180.54	52.1	401.76	31.30	14900.33	640.93
	Total luas terumbu	34.79	14.03	35.874	105.04	11.99	27.449	11.86	369.176	115.6

Sumber: Hasil perhitungan dari citra Landsat tanggal. 1 Juni 2002.

7.8 PENUTUP

Pemodelan identifikasi bentuklahan terumbu merupakan hasil penelitian eksploratif. Di daerah penelitian dijumpai terumbu ^ samudra dan terumbu paparan dimana sebagian besar merupakan terumbu samudra. Terumbu samudra yang dijumpai adalah terumbu pinggiran, terumbu penghalang, dan terumbu cincin (atol). Terumbu paparan hanya dijumpai di Puiiau Pomana berupa bentuklahan terumbu pelataran bergoba dan terumbu dinding tanduk^Di Pulau Pomana dijumpai bentuk perpaduan antara terumbu samucl^ra dan terumbu paparan. \

Sampai kini, pemetaan bentuklahan terumbu masih dilakukan untuk tujuan riset khusus dan bersifat lokal. Padahal pemetaan ini sangat dimungkinkan untuk dilakukan secara nasional. Pembuatan standar klasifikasi perlu dipertimbangkan dan hasil kajian ini merupakan salah satu upaya untuk mengarah ke standardisasi. Rekomendasi pemetaan bentuklahan terumbu dengan pemanfaatan data penginderaan jauh satelit disajikan pada Gambar 7.4 dan sekaligus juga sebagai model identifikasi bentuklahan terumbu.

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R. W. van. 1970. *The Ecology of Indonesia*. Vol. 1 A. General Geology. Martinus Nijhoff. The Hague. 732 pages. Fakultas Geografi UGM - Bakosurtanal. 2000. *Pembakuan Spek Metodologi Kontrol Kualitas Pemetaan Tematik Dasar dalam Mendukung Perencanaan Tata Ruang*. Yogyakarta.
- Liliesand, T.M. dan Kiefer, R.W. 1994. Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra (Terjemahan). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Maxwell V.V.G.H. 1968. *Atlas of The Great Barrier Reef*. Elsevier, Amsterdam.
- Mumby PJ, Clark CD, Green EP, Edwards AJ. 1998^ Benefits of water column correction and contextual editing for mapping coral reefs. *Int. Journal of Remote sensing* 19: 203-210. Mumby PJ, Green EP, Clark CD, Edwards AJ. 2000. Remote sensing handbook for tropical coastal management. In: 3 (ed) *Coastal management sourcebooks*. UNESCO, Paris, pp 316.

- Nontji, A. 2002. Coral Reefs of Indonesia: past, present and future. Proceedings 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia. 1: 17-27.
- Pusat Survei Geologi. 2006. *Atlas Pengelompokan Pulau Kecil Berdasarkan Tektonogenesis untuk Perencanaan Tata Ruang Darat, Laut, dan Dirgantara Nasional*. Bandung.
- Tomascik T, Mah AJ, Nontji A, Noosa MK.1997. The Ecology of Indonesia Series. Volume VII. The Ecology of Indonesian Seas. Part One: vii-xiv, 1-642. Volume III, Part two:iii-v, 643-1388. Periplus Edition.
- Zuidam R. A. van. 1985. *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic gapping*. ITC, Enschede. The Netherlands.

Biodata Singkat Penulis



Wikanti Asriningrum, lahir di Jakarta, Tanggal 26-11-1959 adalah Peneliti Madya bidang Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh, di LAPAN. Gelar sarjana diraih Tahun 1986 di bidang Penginderaan Jauh, Geografi, UGM, Yogyakarta. Gelar spesialis dari Post Graduate Course: Monitoring The Indonesian Environment di ITC, The Netherlands, Belanda (1992). Lulus Magister Sain bidang Ilmu Tanah, Pascasarjana IPB (2002). Training of Regional Remote Sensing on Tropical Eco-System Management di Subic Philippines (1995), Workshop on ERS: Applications of Microwave Remote Sensing to Disaster di Thailand (1996), dan Training in Geographic Information System in Watershed Management di Thailand (1997). Workshop on Soil Erosion di Beijing University China (2004). Kandidat Doktor Bidang Teknologi Kelautan, IPB (2006). Pengajar di beberapa training di antaranya di LAPAN, BPPT, dan BAKOSURTANAL pada Diklat Training Course for Developing Country (TCDC) tahun 2001-2005.



Muchlisin Arief Ph. D, lahir di Cilegon tanggal 1 Januari 1954. Sarjana Teknik Elektro dari UMJ Jakarta (1976) dan Sarjana Fisika dari MIPA, ITB (1980). Tahun 1983 meraih gelar M.Sc di bidang Opto-Elektronika Aplikasi Laser dari Universitas Indonesia. Tahun 1983 meraih gelar Diplome Etude Aprofonduer (DEA) dari l'Universite de Nancy I, Perancis di bidang Mise au niveau de doctorat. Gelar Doctor diraih (1991) dari Doctorat di l'Ecole Nationale Superieure de Physique, de Strasbourg, di Strasbourg Perancis pada bidang Computer Sciences: Digital Image Processing. Sejak Tahun 1980 sebagai peneliti di LAPAN. Sebagai dosen di Universitas Muhammadiyah Jakarta Tahun 1981 sampai sekarang.



Dr. Boedi Tjahjono lahir di Ngawi, tanggal 3-1-1960. Gelar sarjana Geografi diperoleh dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta Tahun 1986 di bidang Geomorfologi. Tahun 1993 memperoleh gelar Diplôme d'Etude Aprofondie (DEA) dari Département de Géographie, l'Université de Nancy II, Perancis di bidang Geomorfologi. Kemudian mendapatkan gelar Doktor pada tahun 1998 dari Département de Géographie, l'Université de Clermont-Ferrand II, Blaise Pascal, Perancis di bidang Geomorfologi. Sejak tahun 1987 sampai sekarang bekerja sebagai dosen di Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB, mengasuh mata kuliah Geomorfologi dan Analisis Lanskap, Pengantar Penginderaan Jauh, dan Kartografi. Penelitian yang dilakukan banyak berkaitan dengan Geomorfologi dan Bencana Alam.

ISBN 978-979-18314-2-3



9 789791 831413