

PEMETAAN SUMBER DAYA LAUT PULAU NIAS DENGAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH SATELIT PASCA-TSUNAMI 2004

Jonson Lumban Gaol^{1)*}, Risti Endriani Arhatin¹⁾, Djisman Manurung¹⁾, Mujizat Kawaru¹⁾

ABSTRACT

MARINE RESOURCES MAPPING OF NIAS ISLAND USING SATELLITE REMOTE SENSING TECHNOLOGY AT 2004 POST-TSUNAMI

Accurate and up-to-date information of marine resources is needed for optimum resource utilization. If the required information cannot be obtained with traditional field surveys, remote sensing as a tool for providing fast, efficient, and accurate information is used to detect the changes. The study aims to use remote sensing data for assessing distribution and condition of marine resources in Nias water's before and after tsunami. Marine resources parameter derived remote sensing data are sea surface temperature (SST), suspended solid matter, chlorophyll-a concentration, coral reef and mangrove distributions. Mapping and differences in coral reef and mangrove distribution were evaluated using two scans of Landsat image in 1989 and 2005. Sea surface temperature was derived from NOAA-AVHRR data, and chlorophyll-a concentration was derived from SeaWiFS data. The study showed that there were no significant changes of coral reef and mangrove distribution, SST, chlorophyll-a concentration after and before tsunami. Spectral analysis of SST and chlorophyll-a showed that the variability of the parameters was affected by monsoon system and global climate change, namely El Nino Southern Oscillation and Indian Ocean Dipole.

Keywords: remote sensing, satellite, Nias, tsunami, chorophyll-a, coral reef, mangrove

ABSTRAK

Informasi yang akurat dan mutakhir mengenai kondisi sumber daya laut diperlukan untuk pengelolaan sumber daya secara optimum dan lestari. Dalam kasus sulit mendapatkan data melalui survei lapangan, penginderaan jauh (inderaja) dapat digunakan sebagai alat untuk memperoleh informasi secara cepat, efisien, dan cukup akurat. Oleh karena itu, studi ini bertujuan memanfaatkan data inderaja dalam mengkaji distribusi dan kondisi sumber daya laut di perairan Nias sebelum dan sesudah tsunami. Parameter yang diestimasi adalah suhu permukaan laut (SPL), konsentrasi klorofil-a, distribusi tutupan ekosistem terumbu karang dan mangrove. Deteksi dan pemetaan perubahan distribusi terumbu karang, mangrove, dan muatan padatan terlarut (MPT) dilakukan dengan menggunakan citra Landsat tahun 1989 dan 2005. Suhu permukaan laut diestimasi dari citra NOAA-AVHRR dan konsentrasi klorofil-a dari citra SeaWiFS. Hasil studi menunjukkan tidak ada perubahan yang signifikan dari kondisi terumbu

karang, mangrove, SPL, konsentrasi klorofil-a, dan MPT sebelum dan sesudah tsunami. Kondisi hutan mangrove yang relatif tidak berubah dari tahun 1989 hingga tahun 2005 menunjukkan pengaruh campur tangan manusia pada ekosistem mangrove dapat dikatakan belum ada. Analisis spektral dari fluktuasi rata-rata bulanan SPL dan konsentrasi klorofil-a menunjukkan bahwa keragaman kedua parameter ini dipengaruhi oleh perubahan angin muson dan perubahan iklim global seperti ENSO dan *Indian Ocean Dipole*.

Kata kunci: inderaja, satelit, Nias, tsunami, klorofil-a, terumbu karang, mangrove

PENDAHULUAN

Ketersediaan data spasial yang akurat dan lengkap merupakan salah satu syarat utama untuk pengelolaan sumber daya kelautan (SDK) secara optimum dan lestari. Kenyataannya, di negara berkembang seperti Indonesia, data dan informasi mengenai sumber daya alam termasuk SDK sangat terbatas. Kendala inilah yang dihadapi pemerintah daerah karena dalam pengelolaan sumber daya

1) Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus Darmaga, Bogor 16680.

* Penulis korespondensi: johnsonrt@yahoo.com

kelautan belum tersedia data dan informasi yang akurat (Ginting 1997). Peranan data spasial sumber daya alam yang lengkap dan akurat sangat diperlukan dalam penyusunan *spatial data infrastructure* (SDI). Di bidang kelautan, SDI juga memegang peranan yang penting dalam upaya optimalisasi pengelolaan sumber daya kelautan (Binns 2005). Berbagai penelitian menunjukkan kemampuan teknologi indera untuk penyediaan data sumber daya pesisir dan lautan seperti data sebaran mangrove, terumbu karang, konsentrasi klorofil-a, MPT dan SPL (Siregar *et al.* 1996; Budhiman dan Dewanti 2002; Gaol *et al.* 2004; Nuarsa *et al.* 2005; Nurlidiasari dan Budhiman 2005; Gaol 2006).

Jenis sensor satelit telah dikembangkan untuk memantau sumber daya pesisir dan lautan seperti sensor *Landsat-Thematic Mapper*, *Advance Very High Radiometer* (AVHRR), dan *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS). Masih banyak lagi sensor satelit yang dapat dimanfaatkan untuk memantau kondisi sumber daya laut (Tabata 1993; Syatendranath 2000).

Data yang dihasilkan dari sensor satelit tidak dapat langsung dimanfaatkan untuk menggambarkan kondisi sumber daya yang sebenarnya. Untuk itu dikembangkan berbagai formula atau algoritma baik secara empiris maupun secara analitik. Untuk mengestimasi muatan padat terlarut (MPT) di Teluk Jakarta telah dikembangkan algoritma: $\ln \text{MPT (mg/L)} = 0.0997 (TM1) + 4,1555$, dengan $TM1$ adalah nilai pita digital 1 dari Landsat TM (Gaol dan Panjaitan 2002). Trisakti *et al.* (2005) telah mengembangkan algoritma MPT dengan menggunakan sensor MODIS, yakni $\text{MPT (mg/L)} = 72743 (b1+b2)^{2,3551}$, dengan $b1$ dan $b2$ adalah nilai pantulan pada kanal 1 dan kanal 2 sensor MODIS dengan resolusi 250 m.

Siregar *et al.* (1996) telah mengembangkan algoritma Lyzenga untuk pemetaan ekosistem terumbu karang di perairan sekitar Pulau Bali, dengan formula: $Y1 = \ln TM1 + k1/kj \ln TM2$, dengan $TM1$ adalah kanal 1 (biru) dan $TM2$ adalah kanal 2 (hijau). Berdasarkan hasil cek lapangan, nilai spektral untuk tutupan beberapa objek di ekosistem terumbu karang adalah untuk karang hidup 10,786–10,933, karang mati 10,933–11,057, lamun 11,057–11,2, pasir > 11,2 (Hazmi 2004).

Kondisi mangrove dapat ditafsir dengan menyusun citra komposit, yakni gabungan dari tiga kanal menjadi satu citra baru. Hal ini dapat dilakukan karena sistem *display* komputer mempunyai *refresh memory display* RGB (*red, green, blue*). Misalnya, gabungan dari kanal inframerah, merah dan hijau diset dalam *refresh memory* R, G, dan B secara berturut-turut akan menghasilkan citra komposit yang dikenal dengan citra *false color infrared* standar, yaitu semua vegetasi akan berwarna merah (Schowengerdt 1983).

Kemampuan satelit sumber daya alam untuk memantau kerapatan mangrove juga telah diteliti di beberapa daerah di Indonesia, seperti di Benoa, Bali, Kalimantan, Indragiri Hilir (Endriani 2000; Budhiman dan Dewanti 2002). Kurangnya data penelitian mangrove adalah karena kondisi lapangan yang sulit dijangkau menjadi hambatan yang besar bagi pelaksanaan survei dan penelitian hutan mangrove.

Kejadian tsunami 26 Desember 2004 dan gempa bumi tanggal 28 Maret 2005 dilaporkan mengakibatkan bencana yang parah di Pulau Nias, dan juga merusak sumber daya laut di sekitarnya. Teknologi indera satelit dapat digunakan untuk mempelajari keadaan sumber daya sebelum dan sesudah tsunami sehingga dapat diketahui dampak tsunami pada kerusakan sumber daya laut di Pulau Nias dan sekitarnya. Parameter yang diamati ialah konsentrasi klorofil-a, konsentrasi MPT, SPL, ekosistem terumbu karang, dan ekosistem mangrove.

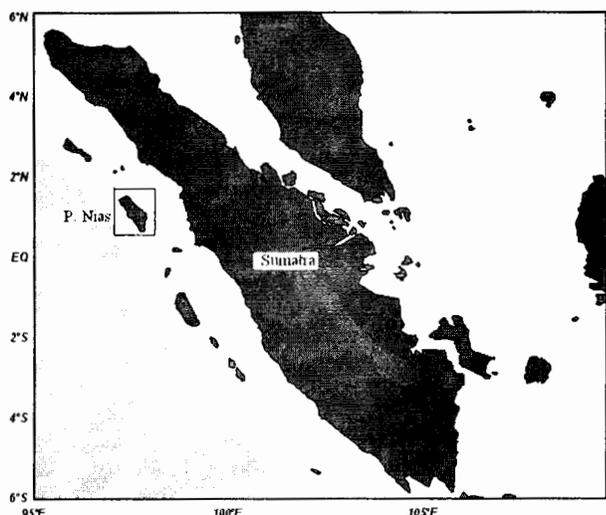
METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah di perairan barat Indonesia tepatnya perairan di sekitar perairan Pulau Nias (Gambar 1). Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari–Oktober 2006.

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit Landsat-TM *path* 129 dan *row* 059 yang terdiri atas 2 kali perekaman, yakni tahun 1989 dan 2005. Data konsentrasi klorofil-a diperoleh dari sensor SeaWiFS dari basis data dan data suhu permukaan laut diperoleh dari sensor NOAA-AVHRR. Untuk mengolah citra satelit digunakan seperangkat



Gambar 1 Lokasi penelitian di perairan Pulau Nias

komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak pengolah citra Er-Mapper versi 6 yang tersedia di Bagian Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi, Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

Pengolahan dan Analisis Data

Citra Landsat TM diolah dengan perangkat lunak Er-Mapper versi 6. Citra satelit diolah dalam pemrosesan awal, yang dilanjutkan dengan estimasi parameter lingkungan laut. Dalam proses awal hanya dilakukan koreksi geometrik, yakni untuk melakukan rektifikasi (pembetulan) citra agar koordinatnya sesuai dengan koordinat geografi.

Estimasi parameter lingkungan laut dilakukan dengan 5 algoritma yang telah tersedia.

- Klorofil (mg/m^3): $C = 2,41 (TM3/TM2) + 0,187$, dengan $TM2$ dan $TM3$ adalah nilai pita digital 2 dan 3 dari Landsat TM.
- Ln MPT (mg/L) = $0,0997 (TM1) + 4,1555$, dengan $TM1$ adalah nilai pita digital 1 dari Landsat TM.
- Terumbu karang (Siregar *et al.* 1996)

$$Y = \ln TM1 + \frac{k_i}{k_j} \ln TM2$$

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

$$a = \frac{(\text{var} TM1 - \text{var} TM2)}{2 * \text{cov} ar TM1 TM2}$$

- Distribusi mangrove: untuk mengestimasi distribusi dan kondisi mangrove digunakan citra komposit 354. Komposit citra dilakukan dengan memasukkan 3 kanal citra ke dalam filter merah, hijau, dan biru (RGB). Kanal yang dimasukkan ke dalam filter RGB adalah kanal 4, kanal 5, dan kanal 3.
- Data derat SPL (1995-2002) dan konsentrasi klorofil-a (1997-2006) rata-rata bulanan diperoleh dari basis data NASA-JPL.

Perubahan spasial dan temporal dianalisis dengan membandingkan data kondisi sumber daya laut sebelum dan sesudah tsunami 2005. Data lapangan digunakan sebagai pembandingan dan acuan untuk estimasi parameter lingkungan laut dari citra satelit. Untuk menganalisis variabilitas SPL dan konsentrasi klorofil-a digunakan analisis spektral.

HASIL DAN PEMBAHASAN

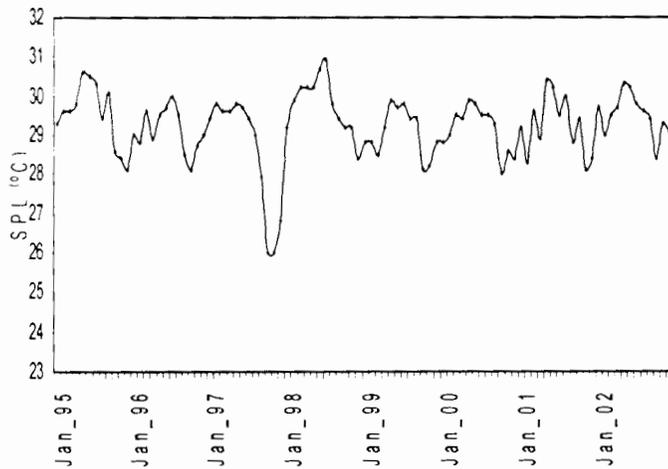
Suhu Permukaan Laut

Pulau Nias terletak di sisi barat pulau Sumatra. Pulau ini berhadapan langsung dengan Samudra Hindia sehingga kedalaman pantai yang menghadap Samudra Hindia sangat curam dengan kedalaman dekat pantai >200 meter hingga ribuan meter menjauhi pantai. Pantai di wilayah selatan lebih landai dibandingkan dengan pantai utara Pulau Nias.

Rata-rata suhu permukaan laut (SPL) di sekitar perairan Pulau Nias adalah $28,2-30,1^\circ\text{C}$. SPL umumnya rendah pada bulan Oktober hingga Desember dan umumnya tinggi pada bulan Mei-Juli. Sesuai dengan pergerakan angin pada bulan Oktober-Desember yang bergerak dari barat laut, SPL yang rendah pada bulan itu diperkirakan akibat massa air yang lebih dingin dari utara bergerak menuju Pulau Nias dan sekitarnya. Sebaliknya terjadi pada bulan Mei-Juli, yakni angin bergerak dari tenggara mendorong massa air yang lebih panas dari selatan menuju perairan sekitar Pulau Nias.

Hal yang cukup menarik adalah terjadinya keragaman inter-annual SPL di perairan Pulau Nias, yakni pada tahun 1997 terjadi anomali negatif SPL

yang mencapai suhu $<26^{\circ}\text{C}$ (Gambar 2). Gejala ini terjadi akibat pengaruh perubahan iklim global IOD, akibat dari anomali positif kecepatan angin yang terjadi di selatan Jawa hingga barat Sumatra (Saji *et al.* 1999).



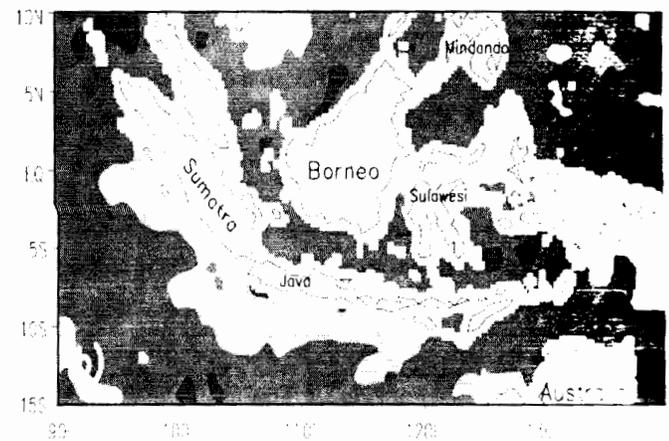
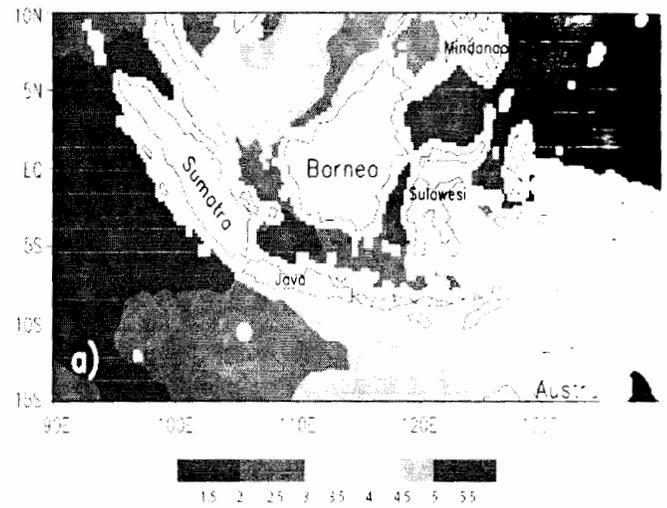
Gambar 2 Fluktuasi suhu permukaan laut di perairan Pulau Nias

Hasil analisis SPL berdasarkan data mulai tahun 1997 hingga 2004 menunjukkan bahwa di sekitar perairan Pulau Nias, variabilitas inter-annual lebih kuat dari variabilitas annual. Perbedaan SPL akibat dari variasi tahunan maksimum 2°C sedangkan variasi akibat antartahun dapat mencapai perbedaan SPL hingga 4°C (Gambar 3).

Variasi SPL yang cukup tinggi pada saat terjadi perubahan iklim global seperti IOD, dapat merusak sumber daya laut yang ada seperti ekosistem terumbu karang. Menurut laporan para nelayan, pada tahun 1997/98 terumbu karang di perairan Sibolga dan Nias mengalami pemutihan (*bleaching*). Pada tahun ini SPL sangat rendah dengan rata-rata 25°C .

Konsentrasi Klorofil-a

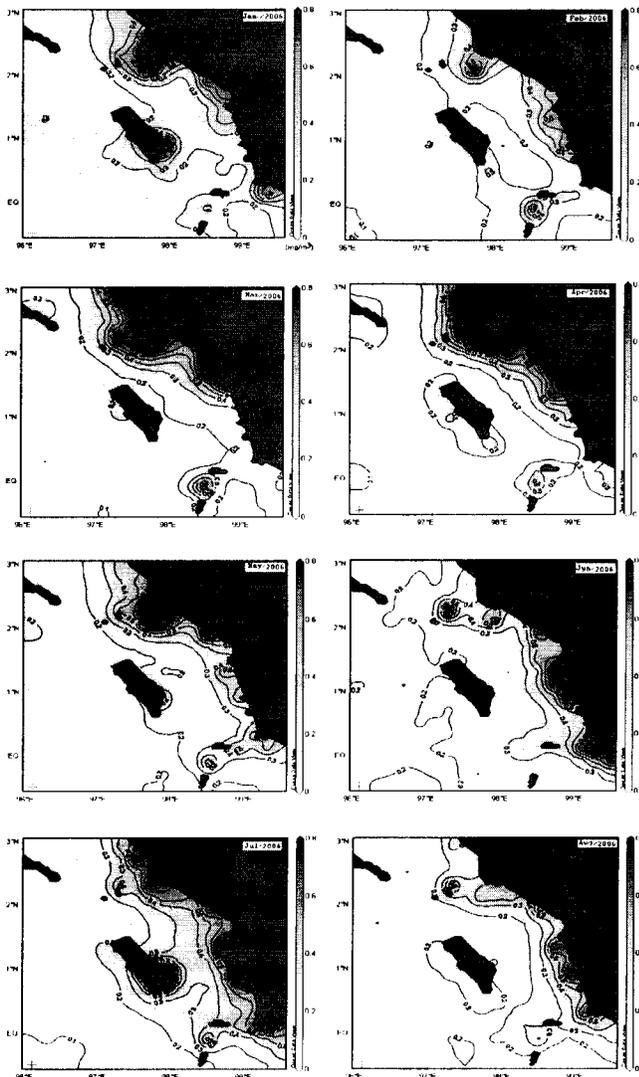
Fitoplankton adalah organisme tumbuhan yang mengandung klorofil dan merupakan produsen primer yang mengonversi bahan anorganik (misalnya nitrat, fosfat) menjadi senyawa organik yang baru (misalnya lemak, protein) lewat proses fotosintesis dan mengawali rantai makanan di laut. Kesuburan hayati suatu perairan bisa dinyatakan dengan nilai konsentrasi klorofil. Semakin tinggi nilai klorofil-a, semakin tinggi kesuburannya (Kaswadji 2006).



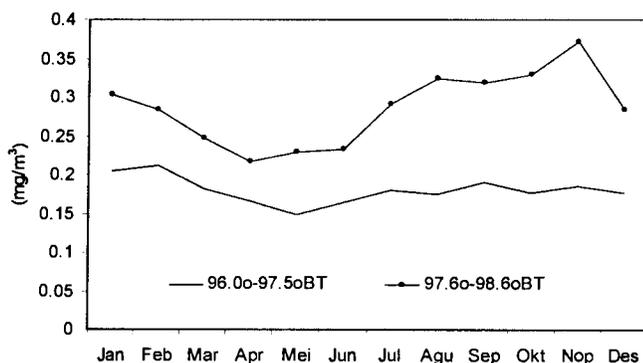
Gambar 3 Puncak ke puncak amplitudo SPL (a) variabilitas tahunan (b) variabilitas antartahun di Perairan Indonesia (Qu *et al.* 2005).

Konsentrasi klorofil-a rata-rata bulanan hasil estimasi dari sensor SeaWiFS di sekitar perairan Pulau Nias adalah $0,2 \text{ mg/m}^3$. Konsentrasi di dekat pantai $>0,2 \text{ mg/m}^3$, mengindikasikan bahwa jumlah fitoplankton cukup memadai untuk mendukung perikanan komersil (Gower 1972). Pada bulan Januari dan Juli 2006 konsentrasi klorofil-a di selatan Pulau Nias cukup tinggi (Gambar 4).

Secara umum tidak terlihat perbedaan konsentrasi klorofil-a sebelum dan sesudah gempa bumi atau tsunami. Khusus pada tahun 1997, konsentrasi klorofil-a di atas $1,0 \text{ mg/m}^3$. Hal ini disebabkan terjadinya *upwelling* yang sangat intensif pada tahun 1997 yang dikenal dengan gejala iklim global IOD (Saji *et al.* 1999; Webster *et al.* 1999).



Gambar 4 Distribusi konsentrasi klorofil-a rata-rata bulanan di sekitar perairan Pulau Nias pada tahun 2006



Gambar 5 Fluktuasi konsentrasi klorofil-a rata-rata bulanan di pantai barat dan timur (atas) dan rata-rata bulanan selama tahun 1997-2006 (bawah)

Konsentrasi klorofil-a di pantai bagian timur Pulau Nias yang diwakili posisi (97,6-98,6°BT) lebih tinggi dari pantai bagian barat yang diwakili posisi (96,0-97,5°BT) (Gambar 5). Rata-rata bulanan konsentrasi klorofil-a selama 9 tahun menunjukkan bahwa di pantai bagian timur terlihat fluktuasi konsentrasi klorofil-a; pada musim awal musim timur konsentrasi meningkat hingga musim barat dan puncaknya terjadi pada bulan Desember.

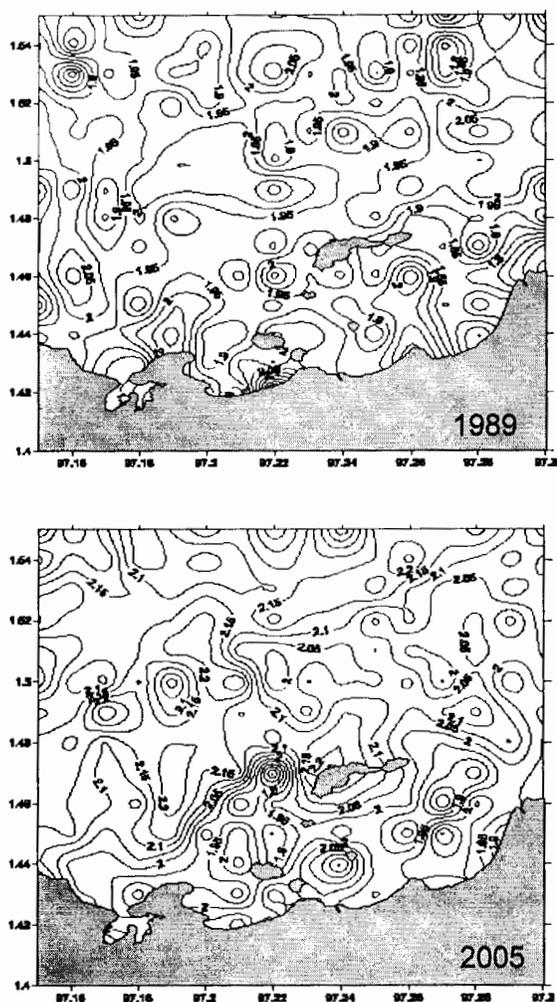
Konsentrasi klorofil-a di sekitar pesisir hasil olahan dari citra Landsat-TM dengan resolusi spasial yang tinggi, yakni 30 meter, menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a di sekitar pantai Lahewa yang ada hutan mangrove berkisar 1-2 mg/m³. Pada umumnya di perairan pantai kelimpahan fitoplankton cukup tinggi akibat masukan nutrien dari daratan melalui sungai-sungai yang bermuara ke laut. Demikian juga sekitar wilayah mangrove lebih subur sehingga umumnya kelimpahan fitoplankton lebih tinggi dibandingkan dengan di laut lepas. Konsentrasi klorofil-a tahun hasil pengolahan dari data satelit Landsat perekaman 2005 relatif lebih tinggi dari tahun 1989 (Gambar 6).

Hutan Mangrove

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem utama pulau-pulau kecil yang sangat berperan bagi ketersediaan sumber daya ikan di kawasan pesisir dan laut sekitarnya. Selain mempunyai fungsi ekologis sebagai penyedia nutrien bagi biota perairan, mangrove adalah tempat pemijahan dan asuhan berbagai macam biota (Bengen dan Retraubun 2006).

Berdasarkan hasil penafsiran citra satelit terdapat setidaknya 8 kelompok ekosistem mangrove di sekitar Pulau Nias. Kelompok yang paling banyak adalah di pantai utara. Secara global tidak terlihat perubahan luasan yang mencolok dari hutan mangrove mulai tahun 1989 dan 2005.

Kondisi hutan mangrove di Pulau Nias berbeda dengan kondisi hutan-hutan mangrove di daerah lain yang umumnya sudah rusak. Tidak ada perubahan yang signifikan dari luasan mangrove antara tahun 1989 dan 2005. Hal ini diduga karena belum terjadi campur tangan manusia untuk memanfaatkan hutan mangrove atau mengonversi menjadi lahan budi daya.



Gambar 6 Distribusi konsentrasi klorofil-a di sekitar pantai Lahewa tahun 1989 (atas) dan tahun 2005 (bawah)

Luasan mangrove terbanyak terdapat di Lahewa dan Tuhemberua seperti tertera pada Gambar 7. Tidak terlihat perubahan luasan mangrove yang signifikan antara tahun 1989 dan 2005 di dua wilayah tersebut. Secara visual terlihat peningkatan kerapatan mangrove pada tahun 2005 di Tuhemberu.

Kondisi hutan mangrove sebelum dan sesudah tsunami juga menunjukkan bahwa kejadian tsunami dan gempa bumi yang terjadi tidak merusak hutan mangrove yang ada. Diperkirakan hutan mangrove menjadi penghalang kekuatan gelombang tsunami tahun 2004. Mangrove tidak mengalami kerusakan selama kurun waktu 16 tahun karena pertumbuhan dan perkembangan terjadi secara alami tanpa gangguan manusia. Kerapatan mangrove yang sangat



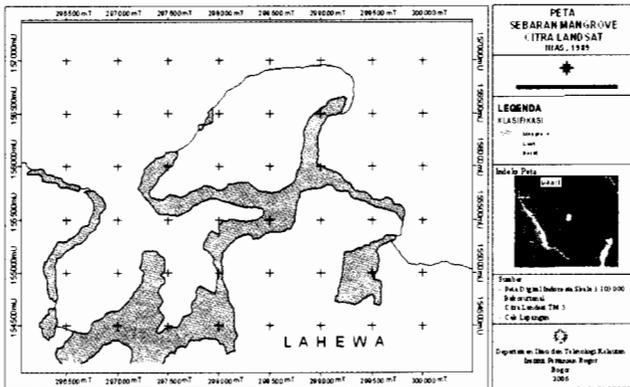
Gambar 7 Luasan tutupan mangrove di Lahewa (atas) dan Tuhemberu (bawah) pada tahun 1989 dan 2005

tinggi diperkirakan meningkatkan kekuatan mangrove menghadapi gelombang yang besar. Untuk itu kondisi ini harus tetap diawasi sehingga tidak terjadi perusakan atau pemanfaatan mangrove yang berlebihan.

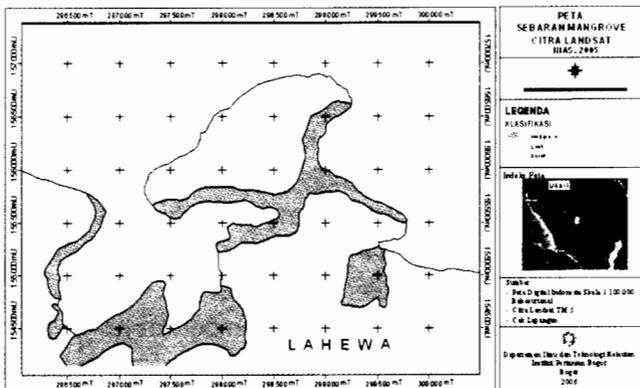
Kondisi hutan mangrove sebelum dan sesudah tsunami juga menunjukkan bahwa kejadian tsunami dan gempa bumi yang terjadi tidak merusak hutan mangrove. Diperkirakan hutan mangrove menjadi penghalang kekuatan gelombang tsunami tahun 2004. Mangrove tidak mengalami kerusakan selama kurun waktu 16 tahun karena pertumbuhan dan perkembangan terjadi secara alami tanpa gangguan manusia.

Hasil perhitungan luas mangrove di Lahewa yang diolah dari citra tahun 1989 adalah sebesar 1,9 km² (Gambar 8) sedangkan pada tahun 2005 adalah 1,7 km² (Gambar 9). Ini menunjukkan bahwa luasan mangrove relatif tidak berubah selama waktu 16 tahun. Demikian juga tsunami dan gempa bumi yang

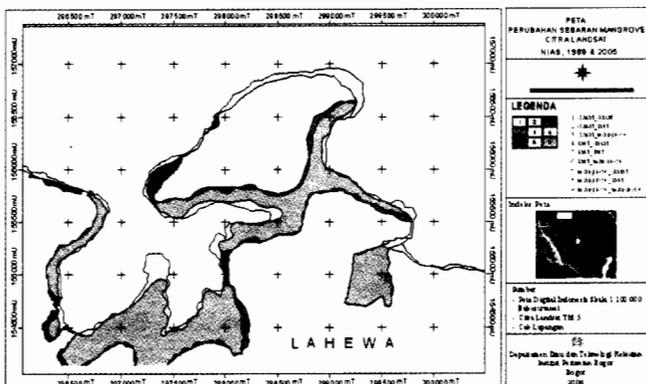
terjadi tahun 2004 dan 2005 diperkirakan tidak merusak hutan mangrove di wilayah ini. Secara umum terlihat bahwa lahan yang sebelumnya menjadi hutan mangrove berubah menjadi darat (dalam Gambar 10 ditunjukkan berwarna hijau tua) dan mangrove menjadi air (warna hijau gelap).



Gambar 8 Luasan hutan mangrove di Lahewa tahun 1989



Gambar 9 Luasan hutan mangrove di Lahewa tahun 2005



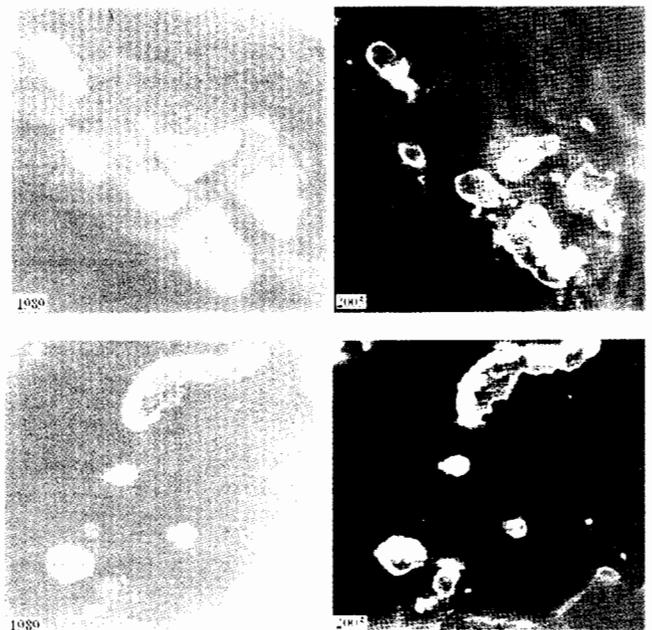
Gambar 10 Perubahan tutupan hutan mangrove antara tahun 1989 dan 2005 di Lahewa

Terumbu Karang

Sama halnya dengan hutan mangrove, terumbu karang merupakan suatu ekosistem yang sangat produktif dengan beragam tumbuhan dan hewan laut yang berasosiasi di dalamnya. Di sekitar wilayah perairan Pulau Nias terdapat pulau-pulau kecil yang umumnya merupakan ekosistem terumbu karang.

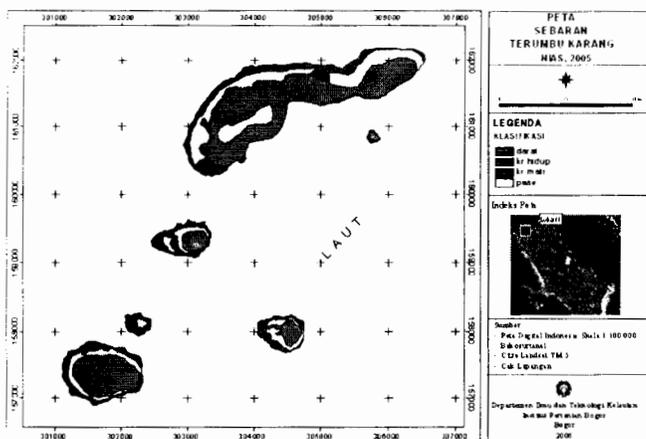
Berdasarkan citra komposit 421, kondisi terumbu karang di beberapa lokasi tidak menunjukkan perubahan yang ekstrem antara tahun 1989 dan 2005 (Gambar 11). Tahun 2005 di atas pulau-pulau kecil terdapat tutupan awan dan citra mengalami gangguan penyiaran sehingga secara visual terlihat ada cacat pada citra. Tidak terjadinya perubahan yang ekstrem dalam rentang waktu 16 tahun menunjukkan bahwa pengaruh bencana alam tidak begitu nyata dan juga pengaruh campur tangan manusia masih sedikit terhadap pulau-pulau kecil ini. Hal ini diperkirakan lokasi pulau yang terpencil sehingga sulit di jangkau.

Berdasarkan hasil pengamatan lapang di salah satu pulau kecil (Pulau Poncan) yang berada di sebelah timur Pulau Nias, berdekatan dengan Teluk Tapian Nauli, kondisi karang masih cukup baik yang dibuktikan juga dari banyaknya jumlah dan jenis ikan hias di sekitar pulau tersebut.

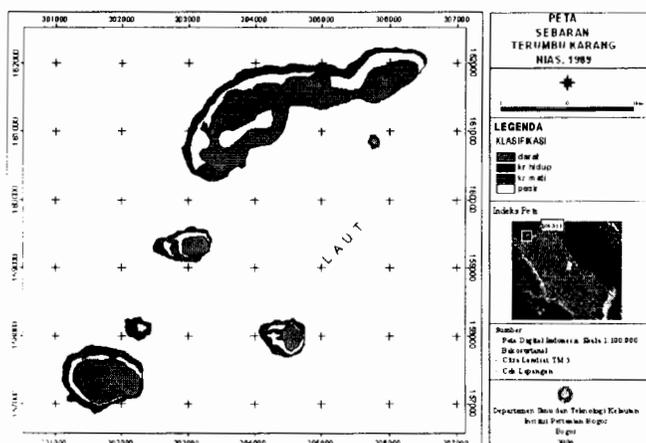


Gambar 11 Citra komposit 421 Landsat tahun 1989 dan 2005 di sebagian pulau-pulau kecil perairan Pulau Nias

Hasil pemrosesan citra di lokasi pulau-pulau kecil di utara Pulau Nias menunjukkan pada tahun 1989 terdapat luasan karang hidup sebesar 1.03 km² dan karang mati sebesar 0,25 km² (Gambar 12). Pada tahun 2005 luasan karang hidup mengalami penurunan menjadi 0,96 km² (Gambar 13). Hasil ini menunjukkan perubahan luasan terumbu karang tidak begitu besar, oleh karena itu terjadinya gempa bumi dan tsunami tidak mempunyai dampak yang besar pada kerusakan terumbu karang di wilayah utara (Lahewa). Walaupun menurut informasi terjadi pengangkatan daerah karang di Lahewa, diperkirakan wilayahnya tidak begitu besar.



Gambar 12 Luasan penutupan dasar perairan di pulau-pulau kecil utara Pulau Nias hasil interpretasi citra Landsat-TM tahun 1989



Gambar 13 Luasan penutupan dasar perairan di pulau-pulau kecil utara Pulau Nias hasil interpretasi citra Landsat-TM tahun 2005

KESIMPULAN

Variasi SPL hasil estimasi dari sensor satelit AVHRR menunjukkan bahwa SPL perairan dipengaruhi oleh perubahan musim dan iklim global. Pada musim timur SPL cenderung lebih rendah. Variasi SPL antara musim timur dan musim barat tidak terlalu tinggi dengan rata-rata 1,5 °C, namun variasi SPL akibat pengaruh iklim global cukup tinggi, rata-rata 4 °C. Pada saat IOD terjadi anomali negatif SPL. Variasi SPL akibat perubahan iklim global ini dapat merusak ekosistem terumbu karang.

Fluktuasi konsentrasi klorofil-a hasil deteksi sensor satelit SeaWiFS juga menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a dipengaruhi oleh perubahan musim dan iklim global. Pada saat terjadi IOD konsentrasi klorofil-a meningkat sangat tajam. Hal ini akan mempengaruhi distribusi dan kelimpahan sumber daya hayati lainnya baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang

Tidak terjadi perubahan yang signifikan dari distribusi mangrove dan kondisi ekosistem terumbu karang dalam kurun waktu 16 tahun (1989-2005). Dengan demikian, pengaruh negatif tsunami tidak signifikan terhadap kerusakan ekosistem mangrove dan tertumbu karang. Kondisi ini menunjukkan bahwa wilayah perairan Pulau Nias masih bersifat alami, dalam hal ini campur tangan manusia boleh dikatakan belum tinggi intensitasnya. Kondisi ini harus tetap dipelihara supaya kelestarian sumber daya laut di sekitar perairan Pulau Nias dapat berlangsung terus.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DP2M Depdiknas dan Departemen Kelautan dan Perikanan yang telah memberikan dana penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bengen DG, Retraubun ASW. 2006. Menguak Realitas dan urgensi Pengelolaan Besbasis Eko-Sosio Sistem Pulau-Pulau Kecil. Pusat Pembelajaran dan Pengembangan Pesisir dan Laut. Bogor.
- Binns A. 2005. Decision Making in Marine Environment. Journal of GIS Development. GIS Development India.

- Budhiman S, Dewanti. 2002. Application of Landsat-TM Data and Geographic Information Systems for Inventorying The Degradation of Mangrove Forest In East Kalimantan Province. Dalam Proceedings PORSEC 2002 Vol. 2 798-803. Bali, Indonesia: 3-6 September 2002.
- Endriani R. 2000. Studi Pendeteksian Mangrove Menggunakan Citra Radarsat di Daerah Benoa, Bali. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Gaol JL, Panjaitan J. 2002. Temporal and Spatial Distribution of Suspended Solid Matter in Jakarta Bay by Using Landsat TM. Dalam Proceedings of Estimation of Atmospheric Pollutant Emission Amount and air Quality Management about SPM in Jakarta and Metropolitan Area. Osaka: Graduate School of Engineering, Osaka University. 59-64.
- Gaol JL, Wudianto B, Pasaribu P, Manurung D, Endriani R. 2004. The Fluctuation of chlorophyll-a concentration derived from satellite imagery and catch of oily sardine (*Sardinella lemuru*) in Bali Strait. *Int J Remote Sensing and Earth Sci* (1):24-30.
- Gaol JL. 2006. Kondisi Lingkungan Perairan Arafura dari Kajian Multi Sensor Satelit. Dalam Monitja RD, Sularso A, Sondita MFA, Purbayanto A (editor). Presfektif pengelolaan Sumber Daya Perikanan Tangkap Laut Arafura. Bogor: Departemen Pemanfaatan Sumber Daya Perikanan, Institut Pertanian Bogor 31-46l.
- Ginting S. 1997. Integrated Coastal Zone Planning and Management. Bogor: Kerja Sama Pusat Kajian Sumber daya Pesisir dan Laut, Institut Pertanian Bogor dan Direktorat Jenderal Pembangunan Daerah.
- Gower JFR. 1972. A Survey of the Uses of Remote Sensing from Aircraft and Satellite Oceanography and Hydrography. *Pac Mari Sci Inst Ocean Sci, Sidney BC, Canada.* 72-73.
- Hazmi 2004. Aplikasi SIG dan Penginderaan Jauh dalam Penentuan Wilayah Potensial Wisata Bahari Terumbu Karang di Pulau Satonda, Dompu. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Kaswadji. R. 2006. Kesuburan Biologi Lingkungan Laut Arafura. Dalam Monitja RD, Sularso A, Sondita MFA, Purbayanto A (editor). Presfektif pengelolaan Sumber daya Perikanan tangkap Laut Arafura. Bogor: Departemen Pemanfaatan Sumber Daya Perikanan, Institut Pertanian Bogor. 47-65.
- Qu T, Du Y, Stanchan J, Meyer G, Slingo J. 2005. Sea surface temperature and its variability in Indonesian region. *J Oceanography* 18:50-61.
- Saji NH, Goswani BN, Vinayachandran PN, Yamagata T. 1999. A dipole in the tropical Indian Ocean. *Nature* 4001: 360-363.
- Schowengerdt RA. 1983. *Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing*. New York: Academic Press. 249 pp.
- Siregar V, Gaol JL, Hasyim B. 1996. Pengembangan Algoritma Pemetaan Terumbu Karang di Benoa Bali. Jakarta: Dewan Riset Nasional..
- Sathyendranath S. 2000. Remote Sensing of Ocean Color in Coastal, and Other Optically-Complex, Waters. Report of the International Ocean color Coordinating Group. Canada. 139 pp.
- Tabata S. 1993. Visible Band Radiometers. Dalam (eds) Jones, ISF, Y. Sugimori, and R.W. Stewrt. *Satellite Remote Sensing of Oceanic Environment*. Tokyo: Seibutsu Kenkyusha.. 528 pp.
- Trisakti B, Parwati, Budhiman S. 2005. Study of MODIS-AQUA data for mapping total suspended matter in coastal waters. *Int J Remote Sensing and Earth Science* 2:19-31.
- Webster PJ, Moore AM, Ioschningg JP, Leben RR. 1999. Couple Ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997-98. *Nature*. 401: 356-360.