



Adaptasi *Mangrove* Terhadap Perubahan Lingkungan: Suatu Studi pada Gempa Nias, Sumatera Utara, Maret 2005.

Suyarso, Bayu Prayudha dan Maridah Yulia Iswari

Research Center for Oceanography – Indonesian Institute of Sciences, Jakarta

Email: suyarso_lipi@yahoo.com

Submitted 15 February 2017. Reviewed 14 June 2017. Accepted 17 May 2018

DOI: [10.14203/oldi.2018.v3i2.136](https://doi.org/10.14203/oldi.2018.v3i2.136)

Abstrak

Gempa berkekuatan 9,3 Mw di Kepulauan Andaman pada 26 Desember 2004 yang disertai dengan kejadian tsunami di wilayah Aceh menyebabkan kerugian yang luar biasa. Beberapa bulan kemudian, yakni pada tanggal 28 Maret 2005, gempa berkekuatan 8,7 Mw telah terjadi di Nias, ratusan hektar ekosistem terumbu karang terangkat menjadi daratan, banyak karang mati karena kekeringan dan runtuh karena getaran gempa. Demikian pula *mangrove* berpindah menjauhi garis pantai karena proses pengangkatan daratan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perkembangan ekosistem pesisir khususnya adaptasi *mangrove* sebagai akibat perubahan lingkungan fisik dan ekologisnya. Metode yang dipergunakan dalam penelitian adalah menganalisis data citra Landsat menggunakan teknik penginderaan jauh dan melakukan pengukuran profil pantai. Penelitian lapangan telah dilakukan pada Agustus 2005, Desember 2014 and Desember 2015. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan *mangrove* yang telah berpindah menjauhi garis pantai, sebagian besar perlahan mati kekeringan sedangkan sebagian dapat bertahan dan berkembang menuju ke arah garis pantai.

Kata kunci: Gempa, perubahan lingkungan, adaptasi *mangrove*, Nias.

Abstract

Mangroves Adaptation to changes of environment: Case study on Nias Earthquake, North Sumatera, March 2005. Ten years ago 9.3 Mw earthquake at Andaman Islands, December 26, 2004 accompanied by tsunami events in the region of Aceh causing tremendous losses, unprecedented for human life in coastal areas of Indonesia and neighbouring countries. A few months later, on March 28, 2005, 8.7 Mw earthquake has occurred, hundreds of hectares of coral reefs ecosystem were lifted into the terrestrial, many corals died of drought and collapsed by quake vibration. Similarly most of the mangroves moved away from the shoreline due to uplifted land. The aim of the study is to monitor the progress of the coastal ecosystems especially adaptation of mangroves due to change of their both physical and ecological environments. The methods used in the research were analysis of Landsat imageries through the remote sensing technique and coastal profile measurements. Series of field researchs were done on Augustus 2005, Desember 2014 and Desember

2015. The research results showed mangroves that has moved away from the coastline, mostly died due to drought while some survive and develop toward the coastline.

Keywords: Earthquake, environment changes, mangroves adaptation, Nias.

Pendahuluan

Ekosistem pesisir dan perairan laut dangkal (*mangrove*, lamun dan terumbu karang) berikut sumber daya bernilai ekonomis yang dikandungnya merupakan unsur penting dalam menunjang kehidupan masyarakat pesisir. Meskipun demikian, degradasi ekosistem pesisir baik oleh faktor alam (cuaca atau iklim, peristiwa geologi yakni gempa yang disertai pengangkatan daratan dan tsunami), maupun oleh faktor antropogenik (berbagai bentuk pencemaran dan sampah dari daratan) serta pemanfaatan sumber daya pesisir yang melampaui daya dukungnya akan sangat berpengaruh terhadap fungsi ekologi yang selanjutnya akan mempengaruhi perekonomian masyarakat pesisir.

Salah satu unsur penting berdasar aspek ekologi dan ekonomi wilayah pesisir adalah vegetasi *mangrove*. *Mangrove* sebagai suatu ekosistem penghubung komponen daratan dan komponen laut, termasuk di dalamnya adalah flora dan fauna yang hidup saling bergantung satu dengan lainnya (Pramudji 2000; Suryono 2015). Hutan *mangrove* menciptakan habitat yang kaya akan bahan organik sehingga menjadikannya tempat ideal untuk pembibitan penting bagi kerang, udang, lobster berduri, kepiting biru, dan asuhan anakan ikan (Kanagaratnam et al. 2006; Brander et al. 2012; Lee et al. 2014; Anneboina et al. 2017).

Mengingat tingginya potensi sumber daya pesisir, berbagai kepentingan ingin menguasai dan mengeksploitasi sumber daya tersebut, sehingga sering terjadi benturan kepentingan antara pemanfaatan ekonomi dan konservasi. Kondisi tersebut akan berakibat berkurangnya kemampuan daya dukung wilayah pesisir yang selanjutnya mengakibatkan pengelolaannya menjadi sulit (Tugiyono 2010; Vitria 2010; Saraswati 2004).

Duabelas tahun lalu, tepatnya 26 Desember 2004 terjadi gempa berkekuatan 9,3 Mw (skala kekuatan gempa, kadang sering disebut Skala Richter / SR) berpusat di

Kepulauan Andaman yang diikuti oleh peristiwa tsunami di wilayah Aceh. Kejadian tersebut telah menelan ribuan korban jiwa dan harta benda yang tak terkira nilainya. Beberapa bulan sesudahnya, tepatnya pada 28 Maret 2005 gempa berkekuatan 8,7 Mw dan berpusat di sekitar Pulau Nias telah meluluh-lantakkan bangunan di Pulau Nias (Hagan et al. 2007). Walaupun peristiwa ini tidak diikuti dengan tsunami namun terjadi pengangkatan daratan dan dasar perairan laut dangkal di sekitar Pulau Nias. Berdasar penelitian pada *micro attols*, Suyarso (2008) melaporkan bahwa Pulau Nias bagian utara terangkat setinggi 2,50 m hingga 2,60 m di atas muka laut rata-rata. Dampak yang terjadi adalah: terjadi penambahan daratan baru yang berasal dari dasar perairan laut dangkal di Pulau Nias bagian utara, hilangnya berbagai obyek vital pesisir dan perubahan profil pantai dan pematangannya (Vargas et al. 2011; Devi dan Shenoj 2012), perubahan geografi dan geomorfologi wilayah pantai (Villalobos 2012) dan perubahan konfigurasi pantai dan ekosistem pesisir (Mc Adoo et al. 2008). United Nations Environment Programme (UNEP) (2007) melaporkan bahwa setahun setelah proses pengangkatan daratan di Nias Utara banyak ditemukan jenis *Rhizophora* yang mati kekeringan namun jenis lain seperti *Cerriops*, *Aegyceras* dan *Xylocarpus* tetap dapat bertahan.

Perubahan lingkungan pesisir dapat diidentifikasi menggunakan analisis penginderaan jauh (Lilliesand 1979; Sukojo 2003; Yuvaraj et al. 2017). Analisis penginderaan jauh untuk mengetahui perubahan vegetasi *mangrove* di kawasan Pulau Nias dapat dilakukan menggunakan citra Landsat multi temporal yakni citra yang menggambarkan sebelum peristiwa gempa dan membandingkannya terhadap citra yang menggambarkan kondisi beberapa tahun terakhir.

Penelitian yang dibiayai oleh kerjasama Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Nias Utara dan Puslit Oseanografi LIPI pada 2014 dan 2015 serta data penelitian

yang dibiayai menggunakan program Coremap fase I tahun 2005 bertujuan mengetahui kemampuan adaptasi ekosistem pesisir, khususnya *mangrove* sebagai akibat berubahnya elevasi daratan terhadap muka laut.

Metodologi

Lokasi penelitian terletak di Kabupaten Nias Utara, meliputi 4 kecamatan, yakni Lahewa, Lahewa Timur, Lotu dan Sawo (Gambar 1). Penelitian telah dilakukan pada bulan Agustus 2005 atas biaya program Coremap Fase I, bulan Desember 2014 dan bulan Desember 2015 atas kerjasama Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Nias Utara dan Puslit Oseanografi LIPI.

Analisis profil pantai

Untuk dapat menggambarkan profil pantai terhadap muka laut rata-rata hingga sejauh 1500 m secara rinci dengan ketelitian tinggi hingga milimeter serta melihat hubungannya terhadap vegetasi *mangrove* secara vertikal, maka dilakukan pengukuran dan penggambaran profil pantai berskala detil pada Agustus 2005 menggunakan alat ukur geodetik yang terdiri atas: instrumen optik Sokhiza tipe B2C dan bak ukur (*staff*). Alat ukur pendukungnya diantaranya alat pencatat data pasang-surut (*tide gauge*) dan GPS.

Berdasar pengukuran tersebut akan diketahui seberapa tinggi perpindahan vegetasi *mangrove* terhadap muka laut rata-rata dan secara horisontal seberapa jauh perpindahannya terhadap garis pantai.

Analisis citra satelit

Rekaman citra Landsat sangat membantu dalam memberikan gambaran antara kondisi geografis sebelum gempa (sebelum terjadinya pengangkatan daratan) dan kondisi setelah gempa. Rekaman citra Landsat tahun 2003 dalam analisis memberikan informasi konfigurasi garis pantai, kondisi geografis perairan laut dangkal dan distribusi vegetasi *mangrove* di Pulau Nias bagian utara sebelum gempa. Rekaman citra Landsat tahun 2015 memberikan informasi perubahan konfigurasi garis pantai, penambahan luas daratan dan munculnya beberapa pulau baru serta perkembangan *mangrove* setelah 12 tahun terangkat. Sebagaimana diketahui bahwa citra Landsat

memuat rekaman obyek permukaan bumi yang disimpan dalam bentuk *Digital Number* (DN), dianalisis menggunakan perangkat lunak ENVI vers 5.0. Karena adanya hamburan partikel atmosfer akan menimbulkan bias sehingga sangat mengganggu kualitas perekaman citra. Guna menghilangkan bias dalam analisisnya diperlukan suatu koreksi yakni koreksi radiometrik. Koreksi radiometrik citra Landsat menggunakan metode ToA (Top of Atmospheric) (USGS 2014) yakni mengubah nilai DN menjadi nilai reflektan dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \frac{M}{Q_{cal}} + A$$

dimana:

ρ = TOA reflektansi, tanpa koreksi untuk sudut matahari .

M = *REFLECTANCE_MULT_BAND_x* , di mana x adalah nomor Band

A = *REFLECTANCE_ADD_BAND_x* , di mana x adalah nomor Band

Q_{cal} = Nilai *digital number* (DN)

Karena adanya perbedaan posisi matahari terhadap setiap obyek di bumi maka dilakukan koreksi terhadap sudut matahari dengan rumus:

$$\rho = \rho_{TOA} \cdot \cos(\theta_{SE}) \text{ atau } \rho = \rho_{TOA} \cdot \sin(\theta_{SE})$$

di mana:

ρ = ToA reflektansi

SE = sun elevation

SZ = sudut zenith matahari ($SZ = 90^\circ - SE$)

Algoritma tersebut menghasilkan citra dalam nilai reflektan dari masing masing kanal (band). Selanjutnya citra komposit akan tersusun oleh 3 kanal terpilih yang sesuai tujuan penelitian sehingga citra komposit baru yang terbentuk, batas antara vegetasi *mangrove* dan vegetasi non *mangrove* dapat dibedakan secara lebih jelas. Citra komposit rekaman tahun 2003 dan 2015 tersebut selanjutnya ditransformasi dan didigitasi untuk mendapatkan konfigurasi garis pantai dan penyebaran vegetasi *mangrove* menggunakan perangkat lunak Arc Gis vers. 10.

Nilai indeks vegetasi (NDVI) sebenarnya menggambarkan indeks vegetasi yang bersifat umum, bahkan analisis menggunakan NDVI tersebut hasilnya sering menunjukkan bahwa yang sebenarnya

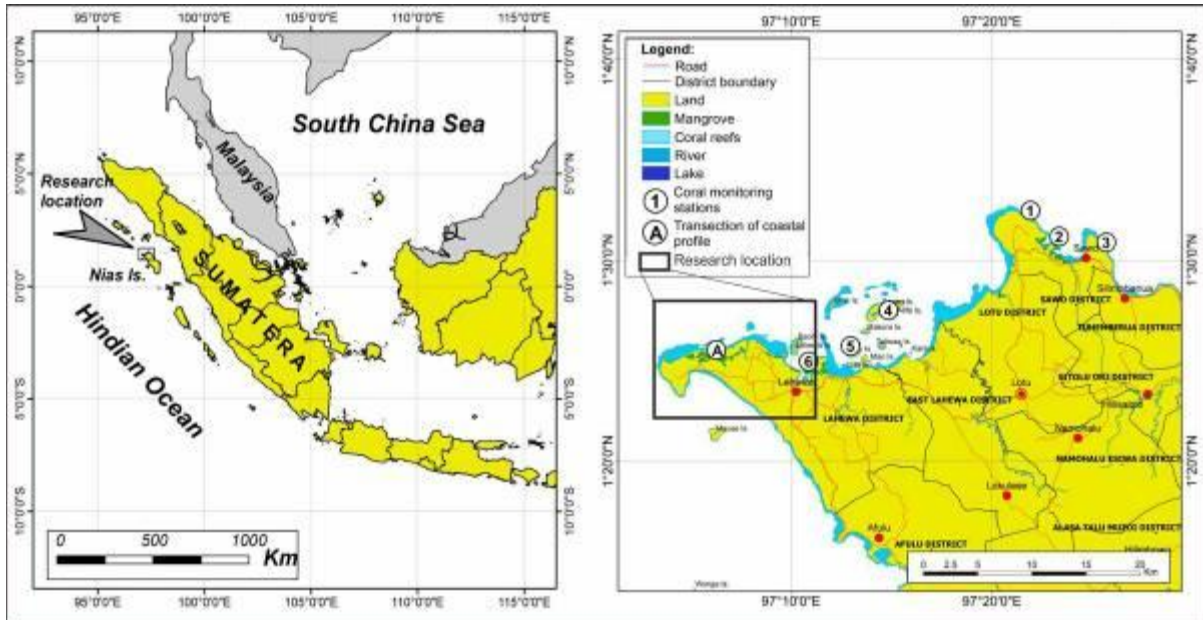
mangrove ikutan (undergrowth) seperti *Deris* dan *Acanthus* memiliki nilai tinggi (Winarso dan Purwanto, 2014). Selanjutnya dalam paper ini, nilai indeks kerapatan vegetasi *mangrove* menggunakan rumus seperti yang diusulkan oleh Winarso dan Purwanto (2014) sebagai berikut:

$$IM (\text{Indeks mangrove}) = \frac{(NIR - SWIR)}{NIR \times SWIR} \times 10000.$$

dimana:

NIR = kanal (band) 4 pada citra Landsat 2003 dan kanal 5 pada citra Landsat 2015

SWIR = kanal 5 pada citra Landsat 2003 dan kanal 6 pada citra Landsat 2015



Gambar 1. Inset lokasi penelitian (kiri) dan peta lingkup penelitian dan stasiun permanen pemantauan karang di Kabupaten Nias Utara (kanan).

Figure 1. Inset of research location (left) and a map of the study sites and permanent stations of coral monitoring at North Nias Regency (right).

Hasil

Perubahan Lingkungan Fisik Pesisir

Gempa Nias yang telah terjadi pada Maret 2005 telah mengangkat daratan Pulau Nias setinggi 2,5 m hingga 2,6 m (Suyarso 2008). Peristiwa katastrofik yang terjadi hanya sesaat tersebut telah mengubah lingkungan fisik pesisir Pulau Nias bagian utara berupa bertambahnya luas daratan dan munculnya beberapa pulau baru (Gambar 2), berubahnya elevasi vegetasi *mangrove* terhadap muka laut dan bertambahnya jarak terhadap garis pantai yang baru. Berdasarkan analisis citra Landsat 2015 terlihat bahwa pengangkatan daratan oleh gempa telah menyebabkan bertambahnya daratan pesisir Lahewa Utara selebar 200 m hingga 800 m. Daratan baru yang terbentuk tersebut pada Agustus 2005 masih memperlihatkan bongkah-bongkah karang

yang masih berbau anyir, namun pada penelitian 2014 dengan berjalannya waktu, bongkah karang yang terangkat di kawasan tersebut telah lapuk menjadi tanah. Perbedaan tinggi – rendah pada profil pantai yang terbentuk setelah gempa, menunjukkan bahwa bagian tinggi yang terbentuk oleh bekas bongkah-bongkah karang yang telah melapuk dan menjadi tanah, kini tertutup oleh vegetasi semak. Sementara pada bagian rendah, pada musim hujan terisi oleh air yang membentuk rawa. Sebelum gempa, rawa-rawa tersebut merupakan goba (lagoon) di dalam ekosistem terumbu karang yang terangkat menjadi daratan.

Perubahan geografis dapat terlihat jelas pada Gambar 2 yakni terbentuknya pulau baru (Pulau Uma) dan bertambah luas Pulau Sanau. Perubahan geometri luasan kawasan

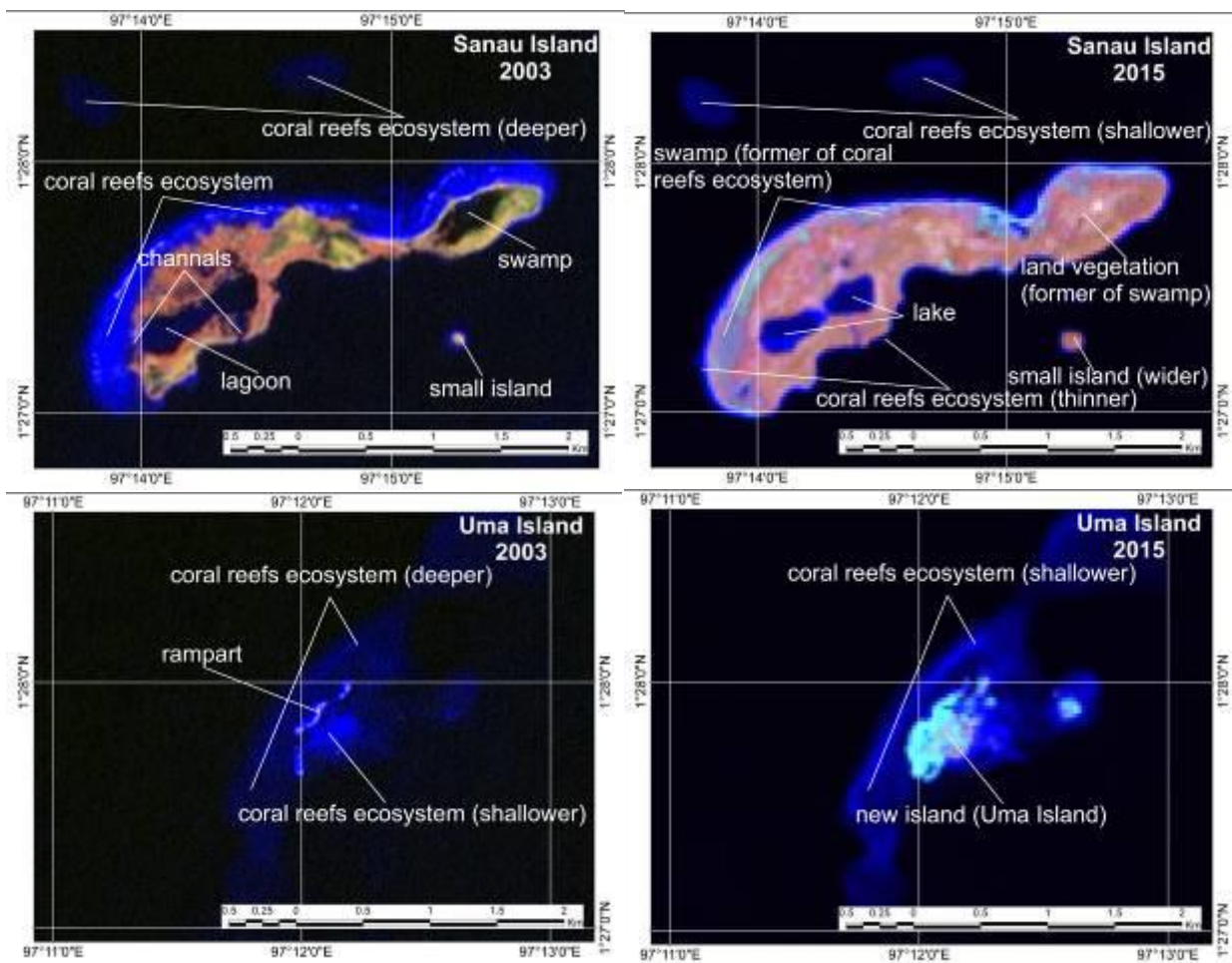
sebelum gempa Nias dan sesudah gempa Nias diperlihatkan pada Tabel 1.

Perubahan pada vegetasi mangrove

Berdasar analisis citra Landsat 2003, sebelum gempa Nias 2005 ekosistem mangrove di Lahewa melampar sepanjang pantai dengan luas kurang lebih 600 hektar (Gambar 3). Namun setelah gempa pada Maret 2005 yang disertai dengan pengangkatan daratan setinggi 2,5 m telah menyebabkan berpindahnya vegetasi mangrove hampir sejauh 500 m dari garis pantai yang baru. Pada citra Landsat tahun 2015 (10 tahun kemudian) memperlihatkan bahwa vegetasi mangrove sebagian besar telah musnah dan menyisakan beberapa tempat di zona belakang (kawasan yang terjauh dari garis pantai).

Hasil analisis indeks vegetasi mangrove (Gambar 4) menunjukkan bahwa

sebagian besar mangrove yang terlihat pada citra 2003, setelah gempa Nias pada Maret 2005 telah musnah. Pada citra Landsat 2015, kearah pantai yang merupakan daratan baru sebagai akibat proses pengangkatan daratan telah tumbuh mangrove beserta mangrove asosiasinya (undergrowth) yang diduga berkembang sejak Maret 2005. Di sepanjang pantai baru yang terbentuk, mangrove tumbuh tersebar secara acak, di beberapa tempat hingga mencapai selebar 50 m terdiri atas *Rhizophora apiculata*, *R. lamarchii*, *R. mucronata*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Lumnitzera littorea*, *Ceriops tagal*, *Nypa fruticans*, *Acrostichum aureum*, *Xylocarpus granatum* and *Sonneratia alba*. Perubahan vegetasi mangrove di Pulau Nias bagian utara sebelum gempa dan 10 tahun sesudah gempa terlihat pada Gambar 5 dan Tabel 2.



Gambar 2. Perubahan lingkungan fisik Pulau Sanau. Kiri atas: Pulau Sanau sebelum gempa memperlihatkan goba dengan ke dua kanalnya serta rawa. Kanan atas: Pulau Sanau setelah gempa, bekas goba

berubah menjadi danau air asin. Kiri bawah: rataan karang yang merupakan cikal bakal Pulau Uma sebelum gempa, kanan bawah: Pulau Uma, yakni pulau yang terbentuk setelah gempa.

Figure 2. Changes of physical environment of Sanau Island. Upper left: Sanau Island before the quake showed lagoon with two channels and swamps. Upper right: Sanau Island after the quake, the former of lagoon altered into a saltwater lake. Lower left: reef flat, embryonic of Uma Island before the quake, bottom right: Uma Island, formed after the quake.

Tabel 1. Perbandingan luas kawasan sebelum gempa (2003) dan sesudah gempa (2015) (dalam satuan hektar).

Table 1. Comparison the size of area before (2003) and after the quake (2015) (in hectares).

No	Location	2003 (before quake)	2015 (after quake)
1	Lahewa District	15952.37	16842.31
2	East Lahewa District	12435.87	12706.0
3	Lotu District	11566.15	11611.15
4	Sawo District	4899.53	4940.56
Existing islands			
1	Sanau Island	128.12	220.70
2	Taliwaa Island	5.33	18.58
3	Makora Island	6.68	22.25
4	Lafau Island	45.62	68.45
5	Gito Island	16.60	39.76
6	Mause Island	60.07	99.42
New islands formed after quake			
1	Gosong Lahewa Island	-	0.59
2	Lahewa Island	-	34.85
3	Boahi Island	-	23.27
4	Uma Island	-	20.87
5	Kara Island	-	0.27
6	Siene-ene Island	-	0.51

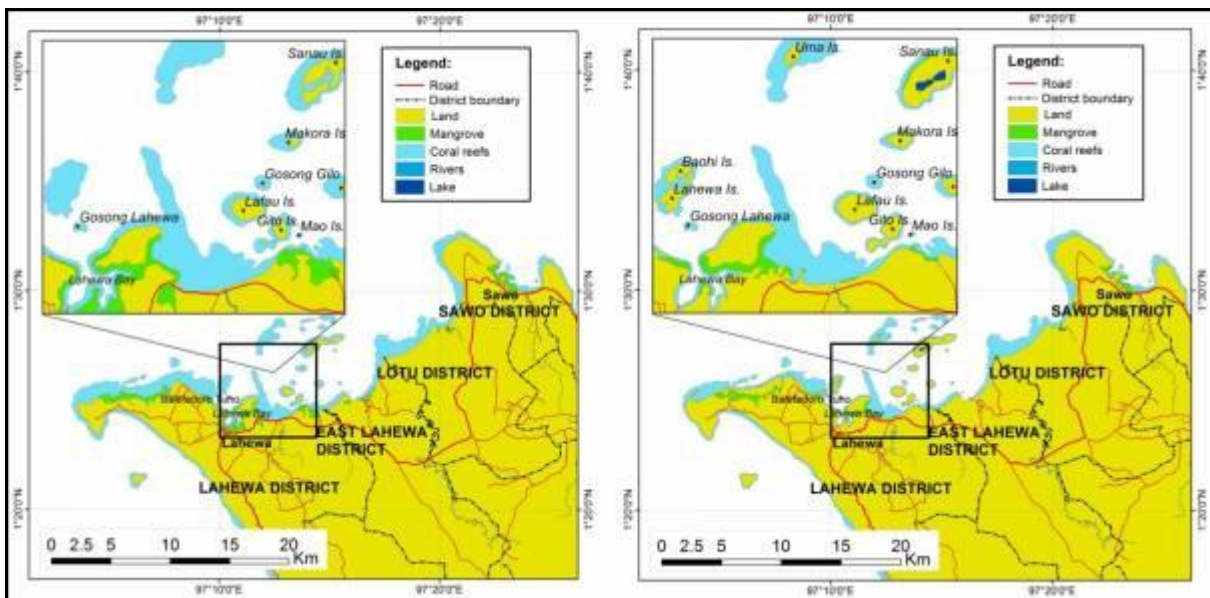


Figure 3. Comparison of coral reefs ecosystem and mangrove in North Nias, left: coral reefs ecosystem and mangrove in 2003 (before the quake), right: coral reefs ecosystem and mangrove in 2015 (after the quake).

Gambar 3. Perbandingan ekosistem karang dan mangrove di Kabupaten Nias Utara, kiri: ekosistem karang dan mangrove tahun 2003 (sebelum gempa), kanan: ekosistem karang dan mangrove tahun 2015 (setelah gempa).

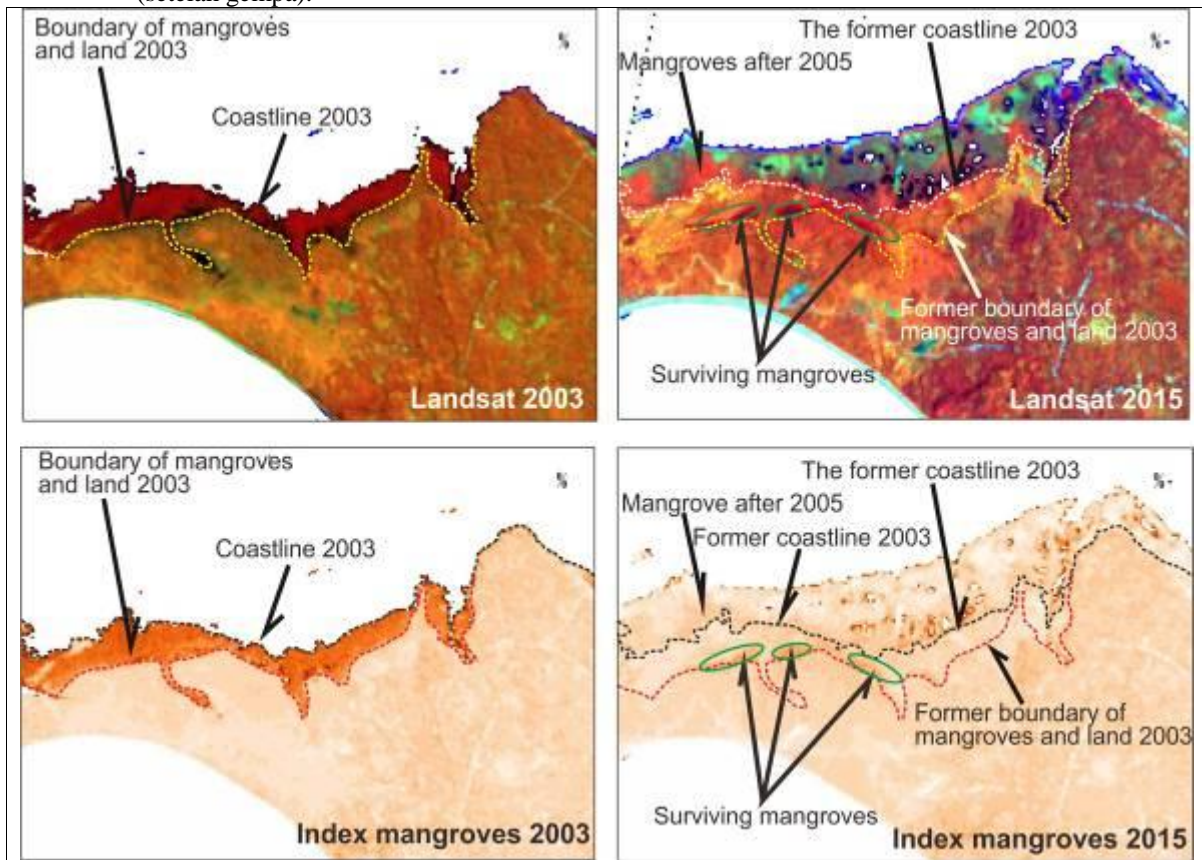
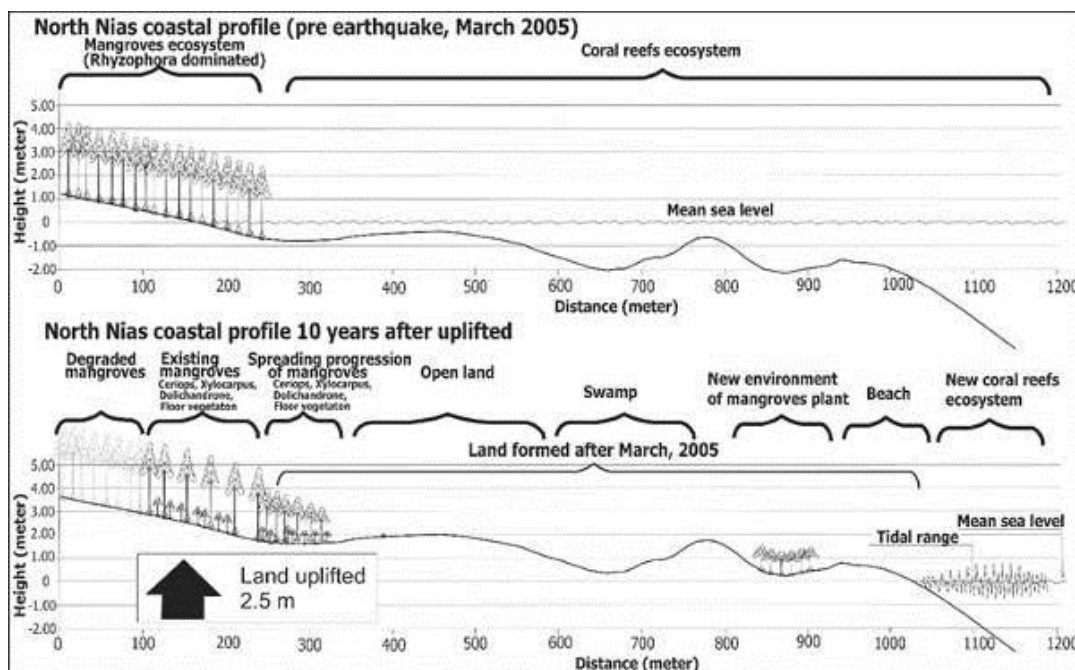


Figure 4. Landsat composite image taken 2003 (upper left) and Landsat composite image taken 2015 (upper right). NDVI analysis (mangrove index) on Landsat image taken 2003 (lower left) and Landsat image taken 2015 (lower right) in Lahewa, North Nias. Increasingly brown color indicates denser vegetation.

Gambar 4. Citra komposit Landsat 2003 (kiri atas) dan citra komposit Landsat 2015 (kanan atas) di Lahewa, Nias Utara. Indeks mangrove 2003 (kiri bawah) dan indeks mangrove 2015 (kanan bawah). Bertambahnya warna coklat menunjukkan peningkatan kepadatan pohon.



Gambar 5. Perubahan profil pantai dan dampaknya terhadap perkembangan *mangrove* di sebelah barat Desa Lahewa. Atas: profil pantai sebelum terjadi pengangkatan daratan oleh gempa Nias, Maret 2005, bawah: profil pantai sesudah terjadi pengangkatan setelah gempa.

Figure 5. The change of coastal profiles and its impact to the development of the mangrove in the West of Lahewa village. Upper: coastal profile before land uplifted due to Nias Earthquake, March 2005, lower: coastal profile after land uplifted.

Tabel 2. Perbandingan luas *mangrove* sebelum gempa (2003) dan sesudah gempa (2015) (dalam satuan hektar) di Nias Utara.

Table 2. Comparison of the mangrove area before quake (2003) and after the quake (2015) (in hectares) in North Nias.

No.	Districts	2003 (before quake)	2015 (after quake)
1	Lahewa District	592.86	331.84
2	East Lahewa District	44.47	9.23
3	Lotu District	18.15	8.53
4	Sawo District	177.34	69.71

Pembahasan

Hasil penelitiannya mengenai kerusakan *mangrove* yang diakibatkan oleh pengangkatan daratan akibat gempa di Guyana, Gambia, Pantai Gading, Kenya, India dan Bangladesh, memperlihatkan bahwa *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Sonneratia*, *Heritiera spp* secara ekologis mempunyai keterbatasan toleransi salinitas dan durasi rendaman oleh proses pasang-surut (Blasco et al. 1996). Sebaliknya menurut Ray dan Acharyya (2011), *mangrove* masih dapat bertahan di daratan selama masih tersedia kelembaban, salinitas dan nutrisi. Mahendra et al. (2014) bahkan mengemukakan pendapatnya bahwa *mangrove* yang telah berusia dewasa hingga tua yang sudah dan masih memproduksi bibit indukan akan selalu tumbuh dan berkembang mengarah garis pantai terdekat seperti yang telah terjadi di Kepulauan Andaman.

Gempa Maret 2005 yang disertai oleh proses pengangkatan daratan setinggi 2,5 m telah menyebabkan sebagian besar vegetasi *mangrove* kekeringan. Hasil analisis profil pantai (Gambar 4) memperlihatkan bahwa proses pasang-surut telah tidak lagi mampu menjangkau. Namun demikian berdasar analisis citra Landsat tahun 2015 memperlihatkan bahwa pada bagian belakang zonasi *mangrove* (bagian terjauh dari garis pantai) terdegradasi selebar 40 m hingga 480 m sementara di bagian depan (bagian terdekat dari garis pantai) terlihat pertumbuhan baru dengan lebar bervariasi dari 60 m hingga 200 m. Lee (2003) mengemukakan bahwa di zona

belakang (landward zone) dimana pengaruh pasang surut tidak lagi menjangkau, vegetasi *mangrove* yang tumbuh umumnya didominasi oleh kelompok *Lumnitzera racemosa* dan *Ceriops tagal*. Demikian pula hasil penelitian Franklin et al., 2006 di Tonga dan Satyanarayana et al., 2002 di India (dalam Wang et al., 2011) mengemukakan bahwa beberapa jenis *mangrove* seperti *Exoecaria sp* mampu bertahan di lingkungan berelevasi hingga 4 m di atas muka laut dan hidup bercampur dengan hutan darat. Wetlands International Indonesia Programme (2006) juga melaporkan bahwa walaupun pasang-surut laut telah tidak lagi menjangkau kawasan tersebut, spesies *Aegiceras corniculatum*, *Dolichandrone spathacea*, *Xylocarpus rumphii*, *Ceriops decandra* mampu bertahan di lingkungan yang telah relatif kering. Berdasar pada perkembangan *mangrove* seperti yang telah diulas, perubahan morfologi pantai sangat berpengaruh terhadap perubahan sirkulasi dan asupan massa air laut. *Mangrove eksklusif* yakni hanya terbatas pada lingkungan *mangrove* sejati akan musnah dan spesies *noneksklusif* yakni kelompok *semi mangrove* yang mempunyai habitat di perbatasan dengan tumbuhan darat (Lacerda et al. dan Parani et al. dalam Wang et al. 2011) akan bertahan hidup.

Kesimpulan

Gempa berkekuatan 8,9 Mw yang telah mengguncang Pulau Nias telah menyebabkan daratan Pulau Nias bagian utara

terangkat 2,5 m hingga 2,6 m terhadap muka laut rata-rata. Dampak peristiwa tersebut adalah terangkatnya ekosistem *mangrove* dan bahkan menjauhkannya dari garis pantai sebagai akibat timbulnya daratan baru. Walaupun proses pasang-surut tidak lagi mampu menjangkau kawasan *mangrove* namun *Aegiceras corniculatum*, *Dolichandrone spathacea*, *Xylocarpus rumphii*, *Ceriops decandra* yang telah berusia dewasa mampu bertahan dan melakukan regenerasi selama masih tersedia kelembaban, salinitas dan nutrisi.

Persantunan

Terimakasih disampaikan kepada Sdr. Sabar Jaya Telaumbanua, M.Si dari Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Nias Utara yang telah memfasilitasi kegiatan riset. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Sdr. Rikoh M Siringoringo M.Si, sebagai koordinator kerjasama penelitian antara Puslit Oseanografi LIPI dan Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Nias Utara. Tanpa bantuan mereka, penelitian perkembangan mangrove di Nias Utara tak akan pernah terwujud.

Daftar Pustaka

- Anneboina, L.R. and K.S.K. Kumar 2017. Economic analysis of mangrove and marine fishery linkages in India. *Ecosystem Services* 24: 114–123
- Blasco, F, P. Saenger and E. Janodet 1996. Mangroves as indicators of coastal change. *Catena* 27 (3-4): 167-178.
- Brander, L.M., A.J. Wagtendonk , S.S. Hussain, A. McVittie, P.H. Verburg, R.S. de Groot, S. van der Ploeg. 2012. Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: A meta-analysis and value transfer application. *Ecosystem Services* 1(1):62-69.
- Devi, E.U. and S.S.C. Shenoj 2012. Tsunami and the Effects on Coastal Morphology and Ecosystems: A Report. *Proc Indian Nat. Sci. Acad.* 78 (3): 513-521.
- Hagan, A.B., R. Foster, N. Perera, C.A. Gunawan, I. Silaban, Y. Yaha, Y. Manuputty, I. Hazam and G. Hodgson 2007. Tsunami and coral reef. *Atoll Research Bulletin* 544: 37-54.
- Kanagaratnam, U., A.M. Schwarz, D. Adhuri and M.M. Dey 2006. Mangrove Rehabilitation in the West Coast of Aceh – Issues and Perspectives. *NAGA, WorldFish Center Quarterly* 29 (3 & 4): 10-18.
- Lee, G.P. 2003. Mangroves in the Northern Territory, Department of Infrastructure, Planning and Environment, Darwin: 44 p.
- Lee, S.Y., J.H. Primavera, F. Dahdouh-Guebas, K. McKee, J.O. Bosire, S. Cannicci, K. Diele, F. Fromard, N. Koedam, C. Marchand, I. Mendelssohn, N. Mukherjee and S. Record. 2014. Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Global Ecol. and Biogeogr.* 23: 726–743
- Lilliesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1979. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley, New York : 612p
- Mahendra, R.S, P.C. Mohanty, H. Bisoyi and K.T. Srinivasa. 2014. Geospatial assessment of coral and mangrove environs of the Andaman Islands. *International Journal of Earth Sciences and Engineering* 7(1): 275 – 279.
- Mc Adoo, B.G., H.M. Fritz, K.L. Jackson, N. Kalligeris, J. Kruger, M. Bonte-Graptin, A.L. Moore, W.B. Rafiau, D. Billy, and B. Tiano. 2008. Solomon Islands Tsunami, One Year Later. *EOS, Transaction, American Geophysical Union* 89(18): 169-176.
- Pramudji 2000. Upaya pengelolaan hutan mangrove dilihat dari aspek perlindungan lingkungan. *Oseana* 25(3): 1-8.
- Ray, S.K. and A. Acharyya. 2011. Coseismic uplift, slow plant mortality and ecological impact in North Andaman following the December 2004 (Mw > 9.2) earthquake. *Current Science* 101 (2): 218 – 222.
- Saraswati, A.A. 2004. Konsep pengelolaan ekosistem pesisir (studi kasus Kecamatan Ulujami, Kab. Pematang, Jawa Tengah). *Jurnal Teknologi Lingkungan* 5(3):205-211.
- Sukojo, B.M. 2003. Penggunaan Metode Analisa Ekologi Dan Penginderaan Jauh Untuk Pembangunan Sistem Informasi Geografis Ekosistem Pantai. *Makara Sains* 7 (1) : 30-37
- Suryono, C.A. 2015. Ekologi Mangrove Di Segara Anakan Ditinjau dari Aspek :

- Kelimpahan dan Distribusi. *Jurnal Kelautan Tropis* 18 (1) : 20-27
- Suyarso. 2008. Topographic changes after 2004 and 2005 earthquakes at Simeulue and Nias islands identified using uplifted reefs. *Jour. Coast. Dev.* 12 (1) : 20-29.
- Tugiyono. 2010. Evaluasi kesuburan ekosistem perairan pesisir di desa Sriminosari, Kecamatan Labuhan Maringai, Kabupaten Lampung Timur, Propinsi Lampung. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi V tahun 2010*: 61-75.
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2007. *After the Tsunami Coastal Ecosystem Restoration: Lessons Learnt* 55p.
- Vargas, G., M. Farías, S. Carretier, A. Tassara, S. Baize, D. Melnick. 2011. Coastal uplift and tsunami effects associated to the 2010 Mw8.8 Maule earthquake in Central Chile. *Andean Geology* 38 (1): 219-238.
- Vitria, B. 2010. Berbagai kegiatan manusia yang dapat menyebabkan terjadinya degradasi ekosistem pantai serta dampak yang ditimbulkannya. *Jurnal Belian* 9 (1):47- 54.
- Villalobos, F. 2012. Crustal deformation associated with the 1960 earthquake events in the South of Chile. *5th International Conference on earthquake geotechnical engineering*. Santiago, Chile, Paper No. CDDFV.
- Wang, L., M. Mu, X. Li, P. Lin and W. Wang. 2011. Differentiation between true mangroves and mangrove associates based on leaf traits and salt contents. *Journal of Plant Ecology* 4(4):292-301.
- Wetlands International Indonesia Programme (WIPP) 2006. *Study of Lessons Learned from Mangrove / Coastal Ecosystem Restoration Efforts in Aceh since the Tsunami* (Wibisono, I.T.W. and I.N. Suryadiputra eds.). Bogor: 89 p
- Winarso, G. dan A.D. Purwanto. 2014. Pendekatan baru indeks kerusakan mangrove menggunakan data penginderaan jauh. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014: Deteksi Parameter Geobiofisik dan Diseminasi Penginderaan Jauh* :268-279.
- Yuvaraj, E., K. Dharanirajan, S. Jayakumar, Saravanan, J. Balasubramaniam. 2017. Distribution and zonation pattern of mangrove forest in Shoal Bay Creek, Andaman Islands, India. *Indian Journal of Geo Marine Sciences* 46 (03): 597-604.