

KAJIAN KESESUAIAN VEGETASI SEBAGAI MITIGASI BENCANA TSUNAMI DI PANTAI BANGKO-BANGKO, LOMBOK BARAT

Slamet Mardiyanto Rahayu¹, Arista Suci Andini²

1, 2 Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Islam Al-Azhar,
Jl. Unizar No. 20, Turida, Sandubaya, Kota Mataram
Email: slamet.mardiyantorahayu84@gmail.com

Abstrak

Kabupaten Lombok Barat terletak di Pulau Lombok yang termasuk dalam wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat yang rentan terhadap adanya bencana gempa bumi yang berpotensi tsunami. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis tumbuhan yang berperan dalam mitigasi bencana tsunami di Pantai Bangko-Bangko, Kabupaten Lombok Barat. Penelitian dilakukan dengan metode eksplorasi terhadap vegetasi yang berperan dalam mitigasi tsunami di Pantai Bangko-Bangko, Kabupaten Lombok Barat. Berdasarkan penelitian diperoleh 13 jenis tumbuhan yang berperan dalam mitigasi tsunami di Pantai Bangko-Bangko, Kabupaten Lombok Barat, yaitu *Rhizophora mucronata*, *R.stylosa*, *R.apiculata*, *Avicenia marina*, *Sonneratia caseolaris*, *Excoecaria agallocha*, *Pemphis acidula*, *Ceriops tagal*, *C.decandra*, *Osbornia octodonta*, *Aegiceras corniculatum*, *Terminalia catappa*, dan *Thespesia populnea*.

Kata kunci: Mitigasi, Pantai Bangko-Bangko, Tsunami, Vegetasi.

Abstract

Title: Study Of Vegetation Compatibility As Tsunami Mitigation In Bangko-Bangkobeach, West Lombok

West Lombok Regency is located on Lombok Island which is included in West Nusa Province which is susceptible to the earthquake disaster that has the potential of tsunami. This study aims to determine the types of plants that play an important role in tsunami mitigation at Bangko-Bangko Beach, West Lombok. The research was carried out by exploratory methods on vegetation which had a role in tsunami mitigation at Bangko-Bangko Beach, West Lombok. Based on the research, there are 13 types of plants were involved in tsunami mitigation at Bangko-Bangko Beach, West Lombok, namely *Rhizophora mucronata*, *R.stylosa*, *R.apiculata*, *Avicenia marina*, *Sonneratia caseolaris*, *Excoecaria agallocha*, *Pemphis acidula*, *Ceriops tagal*, *C.decandra*, *Osbornia octodonta*, *Aegiceras corniculatum*, *Terminalia catappa*, and *Thespesia populnea*.

Keywords: Mitigation, Bangko-Bangko Beach, Tsunami, Vegetation.

Pendahuluan

Pantai Bangko-Bangko terletak di Kabupaten Lombok Barat, Pulau Lombok yang termasuk dalam wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat. Beberapa ratus kilometer di sebelah selatan Lombok terdapat salah satu zona pertemuan lempeng tektonik besar, yang menjadi sumber utama gempabumi berpotensi tsunami, menghadap bagian selatan dari pulau ini. Lombok juga rentan terhadap tsunami dari Patahan busur belakang (*back arc*), yang menghadap bagian utara Pulau Lombok. Jenis patahan yang terbentuk pada *back arc* disebut sesar naik dan memiliki potensi tinggi untuk menghasilkan gempabumi dan tsunami di daerah pesisir Lombok. Tsunami yang lebih besar di sekitar pulau mungkin akan berdampak besar pada sepanjang garis pantai yang berpenduduk padat. Oleh karena itu ahli geologi dan para ilmuwan tsunami menganggap Lombok sebagai salah satu daerah berisiko tinggi untuk bahaya tsunami di Indonesia.

Frekuensi gempabumi dangkal dan besar di Nusa Tenggara yang relatif tinggi, secara alami terdapat potensi risiko tsunami yang mempengaruhi daerah pesisir selatan dan utara Nusa Tenggara Barat. Pada beberapa daerah di Nusa Tenggara pernah terjadi tsunami dan indikasi kenaikan muka air laut.

Peristiwa ini dipicu oleh berbagai hal, diantaranya oleh letusan gunung api Tambora, gempa bumi yang berpusat di dasar laut dan sebab-sebab lain yang tidak diketahui, diduga salah satunya adalah karena longsor yang terjadi baik di pantai maupun di dasar laut (Yudhicara dkk., 2011).

Oleh karena itu upaya untuk mengurangi atau meminimalisasi dampak yang ditimbulkan oleh tsunami mengingat sifat merusak yang sangat besar menjadi sangat penting. Berdasarkan Peraturan Menteri Dalam Negeri No. 33 Tahun 2006 tentang pedoman umum mitigasi bencana, kegiatan mitigasi bencana di daerah dilaksanakan untuk mengetahui potensi bencana yang ada di daerah dan melakukan upaya antisipasi penanganannya. Pengurangan risiko melalui mitigasi dilakukan sebelum bencana terjadi, sehingga masyarakat dapat terhindar dari risiko bencana. Beberapa strategi dilakukan oleh para ahli, mulai dari mitigasi bencana dengan *hard* struktur, *soft* struktur dan non struktur. Mitigasi dengan *soft* struktur adalah dengan menanam vegetasi pantai seperti tumbuhan mangrove dan non mangrove. Selain itu juga dilakukan mitigasi melalui kebijakan pemerintah dan sosialisasi pada masyarakat.

Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis tumbuhan yang berperan dalam mitigasi tsunami di Pantai Bangko-Bangko, Kabupaten Lombok Barat.

Metode

Penelitian dilakukan di Pantai Taman Wisata Alam Bangko-Bangko terletak di Desa Batu Putih, Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Secara astronomis Taman Wisata Alam Bangko-bangko terletak pada $8^{\circ}20'10''-8^{\circ}23'00''$ LS dan $116^{\circ}00'00''-116^{\circ}04'03''$ BT.

Penelitian dilakukan dengan metode eksplorasi melalui pengamatan tumbuhan yang ada di Pantai Bangko-Bangko. Tumbuhan yang ditemui kemudian diidentifikasi menggunakan Buku Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia (Noor dkk., 2012) dan Buku *The Book of Flora* (Van Steenis, 2005). Hasil penelitian kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui jenis-jenis tumbuhan yang berperan dalam mitigasi tsunami di Pantai Bangko-Bangko, Kabupaten Lombok Barat.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan penelitian diperoleh sebanyak 13 jenis tumbuhan yang berperan dalam mitigasi tsunami di Pantai Bangko-Bangko, Kabupaten Lombok Barat, yaitu *Rhizophora mucronata*, *R.stylosa*, *R.apiculata*, *Avicenia marina*, *Sonneratia caseolaris*, *Excoecaria agallocha*, *Pemphis acidula*, *Ceriops tagal*, *C.decandra*, *Osbornia octodonta*, *Aegiceras corniculatum*, *Terminalia catappa*, dan *Thespesia populnea*.



Gambar 2. Vegetasi Mangrove di Pantai Bangko-Bangko, Kabupaten Lombok Barat

Tabel 1. Jenis Tumbuhan yang Berpotensi dalam Mitigasi Tsunami di Pantai Bangko-Bangko

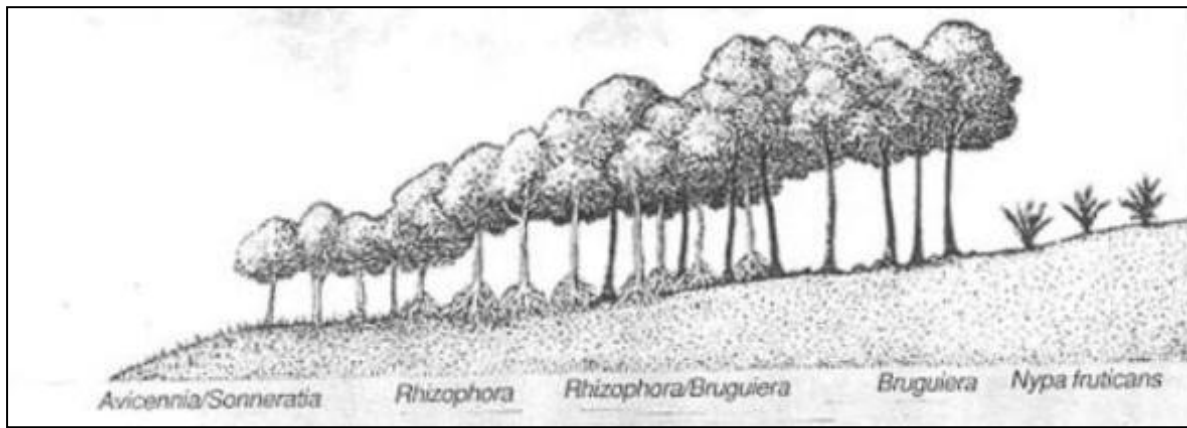
Familia	Jenis	Kelompok	Kerapatan (individu/hektar)		
			Semai dan Tumbuhan Bawah	Pancang	Pohon
Myrsinaceae	<i>Aegiceras corniculatum</i>	Mangrove sejati	-	400	-
Avicenniaceae	<i>Avicenia marina</i>	Mangrove sejati	1050	278	171
Rhizophoraceae	<i>Ceriops decandra</i>	Mangrove sejati	2000	768	76
	<i>Ceriops tagal</i>	Mangrove sejati	-	467	-
	<i>Rhizophora apiculata</i>	Mangrove sejati	4167	1000	300
	<i>Rhizophora mucronata</i>	Mangrove sejati	7140	339	235
	<i>Rhizophora stylosa</i>	Mangrove sejati	417	67	50
Euphorbiaceae	<i>Excoecaria agallocha</i>	Mangrove sejati	4583	733	100
Myrtaceae	<i>Osbornia octodonta</i>	Mangrove sejati	2500	1733	50
Lythraceae	<i>Pemphis acidula</i>	Mangrove sejati	833	333	217
Sonneratiaceae	<i>Sonneratia</i>	Mangrove	5000	1733	100

Familia	Jenis	Kelompok	Kerapatan (individu/hektar)		
			Semai dan Tumbuhan Bawah	Pancang	Pohon
Combretaceae	<i>caseolaris</i>	sejati			
	<i>Terminalia catappa</i>	Mangrove ikutan	5000	867	67
Malvaceae	<i>Thespesia populnea</i>	Mangrove ikutan	6250	2200	417

Rhizophora apiculata dan *Rhizophora mucronata* merupakan anggota dari famili Rhizophoraceae diketahui memiliki distribusi paling dominan di beberapa lokasi pengambilan data. Hal ini mengindikasikan bahwa spesies tersebut memiliki kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesies mangrove yang lain dalam hal menghadapi bencana tsunami. Dalam penelitian ini, *Rhizophora* spp merupakan spesies dengan ketahanan paling tinggi dibandingkan dengan mangrove lain. Hasil serupa juga diketahui dari penelitian Yanagisawa *et.al.*, (2010). Struktur akar yang rapat dan padat yang dimiliki oleh *Rhizophora* spp. yang memanjang ke segala arah berkontribusi dalam hal kemampuan ketahanan spesies ini menghadapi gelombang tsunami meskipun berada pada tanah yang landai ataupun lunak (Jayatissa *et.al.*, 2002). Sedangkan mangrove dari genus lain yang tidak memiliki tipe akar seperti *Rhizophora* akan mudah tercabut dan terhempas oleh gelombang. Berdasarkan survey lapangan di Pantai Srilanka dan Andaman yang telah dilakukan oleh Tanaka *et.al.*, (2007) dilaporkan bahwa *R. Apiculata* dan *R. mucronata* merupakan jenis mangrove yang efektif memberikan perlindungan dari kerusakan yang diakibatkan oleh tsunami dikarenakan struktur akar nafasnya yang kompleks. Hasil serupa dilaporkan oleh Dahdouh-Guebas *et.al.*, (2005) mengenai mangrove di Srilanka, Kathiresan dan Rajendran (2005) mengenai mangrove di India, dan Yanagisawa *et.al.* (2009) mengenai mangrove di Thailand setelah tsunami Samudra Hindia pada tahun 2004.

Baba (2004) dan Dahdouh-Guebas *et.al.*, (2005) melaporkan bahwa mangrove sejati jenis lain dari genus *Sonneratia* spp. memiliki percabangan yang dapat memanjang sampai beberapa meter dan memiliki akar lutut juga memiliki kontribusi dalam menahan gelombang. Penelitian ini menginformasikan keberadaan *Sonneratia alba* dalam jumlah yang banyak dapat berperan dalam mitigasi tsunami.

Berdasarkan Tomascik *et.al.*, (1997), sepanjang muara. Teluk, dan laguna, akar nafas dari *Rhizophora* spp. sangat mendominasi. Di bawah kondisi alami dan zonasi yang berbeda asosiasi mangrove dari beberapa genus berbeda dapat teramati dalam satu zonasi. Hal ini mencerminkan dan mempengaruhi tingkat genangan pasang surut dan tingkat salinitas dalam lingkungan estuaria tersebut. Kusmana dan Watanabe (1991) menyatakan bahwa *Avicennia* dan *Sonneratia alba* terletak paling dekat dengan pantai, sedangkan *Rhizophora* umumnya terletak pada pertengahan dan daerah daratan. Hal ini didukung oleh keberadaan akar nafas yang dimiliki oleh *Avicennia* spp. dan *Sonneratia alba* yang bersifat lebih toleran dengan dibandingkan dengan akar *Rhizophora* spp. yang tergenang dalam genangan air laut (Kathiresan dan Bingham, 2001).



Gambar 3. Pola Zonasi Hutan Mangrove dari Tepi Laut Menuju ke Arah Daratan (Bengen, 2004)

Dalam rangka mengurangi bahaya tsunami, dan sekaligus untuk melindungi wilayah pesisir dari ancaman abrasi, angin laut, penyusupan air asin ke arah daratan, menyerap bahan pencemar, serta mempertahankan produktivitas pantai dan laut, perlu dibuat zona perlindungan wilayah pesisir dengan pembangunan hutan mangrove ataupun hutan pantai. Peran hutan mangrove bagi stabilitas wilayah pesisir, semakin kuat dibahas setelah terjadi tsunami 26 Desember 2004. Banyak kalangan semakin menyadari akan pentingnya hutan mangrove sebagai pelindung wilayah pesisir dari berbagai ancaman bencana alam, termasuk tsunami. Berkenaan dengan hal ini, program pemerintah dan masyarakat untuk merehabilitasi wilayah pesisir dengan hutan mangrove, termasuk di Pantai Bangko-Bangko, Kabupaten Lombok Barat telah semakin jelas.

Ekosistem kawasan pesisir dan pantai akan semakin stabil jika semakin tertutup oleh hutan mangrove. Permasalahan lingkungan muncul di kawasan-kawasan pesisir dan pantai yang hutan mangrovenya telah dirusak manusia. Kerusakan wilayah pesisir ini semakin diperparah akibat hancurnya hutan mangrove, ataupun karena kegiatan lain yang secara ekologis dapat menimbulkan kelongsoran pantai. Kerugian yang ditimbulkan sangat kompleks, yang meliputi aspek ekonomi, sosial, dan ekologi. Secara ekologis, wilayah pesisir memiliki cakupan batas yang sangat luas, yaitu bukan hanya kawasan daratannya saja, tetapi juga mencakup kawasan laut. Dengan demikian, wilayah pesisir dapat mencakup ekosistem padang lamun hingga ekosistem terumbu karang. Sebagai satu kesatuan ekologis, maka berbagai komponennya mempunyai hubungan timbal balik yang sangat kuat. Hal ini berarti bahwa rusaknya hutan mangrove, bukan hanya berdampak terhadap berkurangnya kemampuan menahan kekuatan tsunami, tetapi juga akan memberi dampak secara luas terhadap ekosistem darat maupun ekosistem laut.

Secara fisik, vegetasi hutan mangrove juga berperan dalam melindungi wilayah daratan dari abrasi dan tsunami. Berarti, pembangunan hutan mangrove juga akan sekaligus dapat mengurangi ancaman tsunami bagi berbagai kota besar. Berdasarkan pengalaman di lapangan, akibat gelombang tsunami 26 Desember 2004, menunjukkan bahwa wilayah pesisir NAD dan Nias yang mengalami kerusakan berat adalah pada wilayah pesisir yang tidak ada penyangga mangrove ataupun hutan pantai lainnya.

Bagi kepentingan perlindungan wilayah pesisir dan pantai dari ancaman tsunami, banjir, erosi pantai, dan salinisasi, diperlukan rehabilitasi hutan mangrove dengan luasan yang disesuaikan dengan kondisi wilayah setempat. Wilayah pesisir yang dapat direhabilitasi dengan mangrove adalah muara-muara sungai berlumpur dan terpengaruh pasang surut air laut. Daerah perlindungan mangrove dirancang sebagai satu kesatuan dengan mangrove *silvofishery*, sehingga secara keseluruhan membentuk jalur hijau, baik di sempadan pantai maupun di sempadan sungai. Peraturan yang berlaku yang dapat dipergunakan sebagai dasar konservasi mangrove antara lain adalah Inmendagri No. 26 tahun 1997 tentang Jalur Hijau Mangrove dan Keppres No. 32 tahun 1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung. Dalam peraturan tersebut antara lain disebutkan bahwa lebar jalur hijau ditetapkan 130 kali nilai rata-rata selisih air pasang tertinggi dan terendah tahunan yang diukur dari garis air surut terendah ke arah

daratan. Namun, dalam pelaksanaannya juga perlu diperhatikan kekuatan gelombang, tinggi pasang surut, kekuatan angin, struktur pantai, kondisi penggunaan lahan pesisir, serta kepadatan permukiman dan sosial ekonomi penduduknya.

Sampai saat ini, informasi untuk menetapkan berapa lebar mangrove yang efektif untuk mengurangi bahaya tsunami sangat terbatas. Harada and Imamura (2002) dari Universitas Tohoku, yang meneliti efektivitas hutan pantai untuk meredam tsunami menyatakan bahwa hutan pantai dengan tebal 200 meter, kerapatan 30 pohon per 100 m², dan diameter pohon 15 cm, dapat meredam 50% energi gelombang tsunami dengan ketinggian 3 m (Diposaptono dan Budiman, 2005).

Dalam mitigasi tsunami maka pola penanaman mangrove perlu meniru pola zonasi mangrove secara alami. Sesuai dengan kondisi ketahanan jenis dalam adaptasinya dengan kondisi lingkungan habitat pesisir, maka pada bagian terdepan yang berbatasan langsung dengan laut sebaiknya ditanam dengan jenis-jenis *Avicennia sp* dan *Sonneratia sp*, kemudian di bagian belakangnya dengan *Rhizophora sp* dan *Bruguiera sp*. Secara alami, pada bagian peralihan dengan ekosistem rawa ataupun persawahan banyak tumbuh nipa (*Nypa fruticans*). Penanaman diprioritaskan pada muara-muara sungai dan delta-delta sungai yang berlumpur. Dengan demikian, terdapat 4 jenis utama yang dapat segera diprioritaskan bagi pembangunan jalur hijau, yakni: *Avicennia (Avicennia alba)*, *Sonneratia (Sonneratia caseolaris)*, *Rhizophora (Rhizophora apiculata)*, dan *Bruguiera (Bruguiera gymnorhiza)*. Bagi kepentingan perlindungan, sebaiknya mangrove ditanam rapat, dengan jarak tanam 1 x 1 m.

Keberhasilan penanaman mangrove sangat ditentukan oleh pemeliharaan yang tepat, seperti penyiangan, penyulaman, dan pengontrolan terhadap faktor perusak. Penyiangan dilakukan apabila tanaman diinvasi oleh gulma atau tumbuhan pengganggu. Penyiangan dimaksudkan untuk menghilangkan persaingan tanaman mangrove dengan tumbuhan pengganggu. Penyulaman dilakukan untuk menggantikan tanaman mangrove yang mati. Kegiatan penyulaman dilakukan sampai umur tanaman mencapai 3 tahun.

Faktor-faktor perusak yang dapat menyebabkan kegagalan penanaman selain tumbuhan pengganggu adalah kepiting, kera/monyet, gelombang laut, serangga, dan erosi pantai. Faktor-faktor tersebut dimonitor secara teratur dengan memperhatikan intensitas kerusakan untuk segera dilakukan penanggulangan secara tepat. Tajuk pohon sangat berperan dalam menahan gelombang pasang dan arus balik. Oleh karena itu dalam mitigasi tsunami, berbagai jenis tanaman pohon dan memiliki bentuk tajuk tertentu disusun dan ditata sedemikian rupa baik jenis maupun alur penanamannya, sehingga secara berlapis berperan sebagai penyangga dan pemecah gelombang pasang. Selain itu, dalam pengaturan tanaman tersebut mempertimbangkan faktor estetika sehingga kawasan pantai dan pesisir tetap memiliki keindahan dan daya tarik. Jalur tanaman ditata sedemikian rupa sehingga menghasilkan tajuk yang berlapis di mana tanaman dengan tajuk rendah ditempatkan paling depan dan makin ke belakang tajuknya semakin tinggi yang berfungsi untuk memecahkan gelombang pasang dan penyangga arus balik. **Kesimpulan**

Wilayah pesisir dan pantai Bangko-Bangko, Kabupaten Lombok Barat termasuk daerah rawan bencana tsunami sehingga diperlukan mitigasi untuk meredam kekuatan tsunami, yang disesuaikan dengan kondisi wilayah setempat baik secara ekologis, sosial, ekonomis, dan secara teknis memungkinkan untuk dilaksanakan. Hutan mangrove dengan kondisi perakarannya, tingginya tajuk, dan kerapatan batang per hektar dapat dipergunakan sebagai penyangga wilayah pesisir untuk mengurangi kekuatan dan kemampuan merusak tsunami, sehingga dampak kerusakannya dapat dikurangi. Pada kawasan Pantai Bangko-Bangko, Kabupaten Lombok Barat terdapat 13 jenis tumbuhan yang potensial dalam mitigasi tsunami adalah *Rhizophora mucronata*, *R.stylosa*, *R.apiculata*, *Avicennia marina*, *Sonneratia caseolaris*, *Excoecaria agallocha*, *Pemphis acidula*, *Ceriops tagal*, *C.decandra*, *Osbornia octodonta*, *Aegiceras corniculatum*, *Terminalia catappa*, dan *Thespesia populnea*.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Islam Al-Azhar dan Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dana hibah bagi pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Baba S. 2004. *Keynote presentation: what we can do for mangroves*. In: Vanucci M. (ed.) *Mangrove management and conservation workshop*, Okinawa, Japan, 2000. United Nations University Press, Tokyo.
- Bengen, D.G. 2004. *Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. Bogor: Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan (PKSPL), Institut Pertanian Bogor.
- Dahdouh-Guebas F, Jayatissa LP, Di Nitto D, Bosire JO, Lo Seen D, Koedam N. 2005. How effective were mangroves as a defence against the recent tsunami? *Current Biology* 15 (12): 443-447.
- Diposaptono, S. dan Budiman. 2005. *Tsunami*. Bogor: Penerbit Buku Ilmiah Populer.
- Harada, K. and F. Imamura. 2002. Experimental Study of the Effect in Reducing Tsunami by The Coastal Permeable Structures. *Proceedings of The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference*.
- Inmendagri No. 26 tahun 1997 tentang Jalur Hijau Mangrove dan Keppres No. 32 tahun 1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung.
- Jayatissa LP, Dahdouh-Guebas F, Koedam N. 2002. A review of the floral composition and distribution of mangroves in Sri Lanka. *Botanical Journal of The Linnean Society* 138 (1): 29-43.
- Kathiresan, K. and Bingham, B.L. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology* 40: 81-251.
- Kathiresan, K., and Rajendran, N. 2005. Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuary Coastal and Shelf Science* 65: 601-606.
- Kusmana C, Watanabe H. 1991. Zonation pattern of a mangrove forest in Riau, eastern Sumatra, Indonesia. *Rimba Indonesia* 24 (3-4): 13-18.
- Noor, Y.R., Khazali M., dan I.N.N Suryadiputra. 2012. *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. Bogor: Wetlands International Indonesia Programme.
- Peraturan Menteri Dalam Negeri No.33 Tahun 2006 tentang Pedoman Umum Mitigasi Bencana.
- Tanaka N, Sasaki Y, Mowjood MIM, Jinadasa KBSN, Homchuen S. 2007. Coastal vegetation structures and their functions in tsunami protection: experience of the recent Indian Ocean tsunami. *Lands and Ecological Engineering* 3 (1): 33-45.
- Tomascik T, Mah AJ, Nontji A, Moosa MK. 1997. *The Ecology of the Indonesian Seas*. Periplus, Singapore.
- Van Steenis, C. G. G. J. 2005. *Flora*. Penerjemah: M. Suryowinoto, S.Hardjosuwarno, S.S. Adisewojo, Wibisono, M. Partodidjojo, S. Wirjohardjo. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Yanagisawa H, Koshimura S, Goto K, Miyagi T, Imamura F, Ruangrassamee A, Tanavud C. 2009a. The reduction effects of mangrove forest on a tsunami based on field surveys at Pakarang Cape, Thailand and numerical analysis. *Estuary Coastal and Shelf Science* 81 (1): 27-37.
- Yanagisawa H, Koshimura S, Goto K, Miyagi T, Imamura F, Ruangrassamee A, Tanavud C. 2009b. Damage to mangrove forest by 2004 tsunami at Pakarang Cape and Namkem, Thailand. *Polish Journal of Environmental Studies* 18 (1): 35-42.
- Yanagisawa H, Koshimura S, Miyagi T, Imamura F. 2010. Tsunami damage reduction performance of a mangrove forest in Banda Aceh, Indonesia inferred from field data and a numerical model. *Journal of Geophysical Research* 115: 1-11.
- Yudhicara, Nia K.P., Juanda, dan Heri, I. 2011. *Penyelidikan Tsunamigenik Teluk Bima dan Sekitarnya*. Jakarta: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi.