



Studi *Early Warning System of Tsunami* (EWS) Berbasis Pengetahuan Lokal pada Masyarakat Pesisir Selatan Yogyakarta

Masroer

UIN Sunan Kalijaga Indonesia

Email: masroer@uin-suka.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mencari model *Early Warning System of Tsunami* (EWS) yang paling sesuai dengan kondisi masyarakat pesisir selatan Yogyakarta. Model tersebut diarahkan agar sesuai dengan kondisi geografis, tata kelola pesisir pantai, kondisi sosiologis dan budaya lokal masyarakat, serta teknologi deteksi tsunami dan komunikasi. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan analisis secara makro dan data yang digunakan sebagai bahan analisis adalah data sekunder gempa bumi dan data primer dari wawancara dan observasi dengan masyarakat pesisir pantai untuk menggali pengetahuan lokal terhadap bahaya tsunami. Berdasarkan penelitian diperoleh hasil bahwa untuk menangani bencana tsunami di kawasan pesisir pantai selatan Yogyakarta, terutama di kawasan Parangtritis, masyarakat setempat melakukan strategi pencegahan agar dapat terhindar dan dapat mengetahui terjadinya tsunami lebih awal dengan pengetahuan lokal yang ada. Dengan adanya *Early Warning System of Tsunami* (EWS) yang berbasis pengetahuan lokal pada masyarakat pesisir selatan Yogyakarta tersebut, masyarakat sebenarnya telah mempersiapkan diri dengan baik, yakni penggunaan kentongan sebagai teknologi “tanda” apabila terjadi bencana tsunami. Selain kentongan yang masih tradisional tersebut, masyarakat setempat juga menggunakan teknologi modern pendeteksi dini tsunami atau sering disebut dengan EWS yang dibangun oleh pemerintah.

Kata Kunci: *Early Warning System of Tsunami* (EWS); pengetahuan lokal; masyarakat kawasan Parangtritis

PENDAHULUAN

Kawasan pesisir selatan Yogyakarta merupakan salah satu wilayah yang paling rawan terhadap kejadian tsunami. Tsunami dapat terjadi, antara lain karena gerakan seismik dari lantai samudra (gempa bumi), longsoran dan runtuhnya di atas maupun di dalam reservoir air ataupun erupsi vulkanik gunung api di bawah air (Levin dan Nosov, 2009). Tsunami dapat juga terjadi oleh patahnya batas lempeng dengan ditandai terjadinya gempabumi. Perbatasan lempeng Australia dan lempeng Eurasia yang membentang di sepanjang pulau Jawa, secara langsung menjadikan wilayah pesisir selatan Yogyakarta menjadi wilayah yang cukup sering merasakan gempabumi yang dapat menimbulkan tsunami.

Pada Senin 17 Juli 2006 pukul 15:19:22 WIB, Indonesia diguncang gempa bumi tektonik yang diikuti gelombang tsunami dengan kekuatan 6,8 Skala Richter. Berdasarkan data dari BMG, pusat gempa berada pada posisi 9,46 LS–107,19 BT di laut sejauh 286 km Selatan Bandung pada kedalaman 33 km. Kawasan di sepanjang pantai selatan mulai dari Kabupaten Garut di Provinsi Jawa Barat sampai pantai selatan Provinsi Yogyakarta merupakan daerah yang mengalami dampak kerusakan cukup parah, dimulai dari di Pantai Pangandaran (Kabupaten Ciamis), Pameungpeuk (Kabupaten Garut), Cipatujah (Kabupaten Tasikmalaya), Pantai Selatan Cilacap (Kabupaten Cilacap), Pantai Ayah (Kabupaten Kebumen), Pantai Puger, Pantai Trenggalek, sampai di sepanjang garis pantai Yogyakarta.

Pusat dari gempa terakhir yang cukup besar dan terjadi di wilayah Yogyakarta tercatat pada 9 September 2009 berkekuatan 6,8 Skala Richter (SR), berada di posisi 10.33 LS dan 110.62 BT atau sekitar 263 kilometer tenggara Yogyakarta. Pergerakan dan besar akumulasi *stress* gempa yang kemudian dapat menimbulkan gelombang tsunami ini hingga kini belum terdeteksi secara akurat oleh sains. Oleh karena itu, sepanjang belum ada penjelasan sains yang diterima publik, maka pengetahuan lokal masyarakat kemudian berkembang dan mencari bentuknya sendiri. Pengetahuan lokal ini menjadi pegangan masyarakat untuk melakukan mitigasi gempa bumi dan tsunami. Dan dari sini diperlukan penelitian lebih lanjut apakah kepercayaan masyarakat dari pengalaman tersebut dapat memberikan *guide* bila dipadukan dengan pengetahuan sains, dan bagaimanakah hal itu dapat dipakai menjadi model *early warning system* yang berbasis pengetahuan lokal sehingga memberi sumbangan bagi mitigasi tsunami.

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan untuk mendukung penelitian ini disajikan dalam tabel 1.

Data tabel 1. menunjukkan bahwa penelitian tentang peringatan dini gempabumi dan tsunami berbasis kondisi geologi dari masing-masing peneliti dengan basis sensor tunggal atau regional belum memperhitungkan aspek sosiologis dan pengetahuan lokal masyarakat.

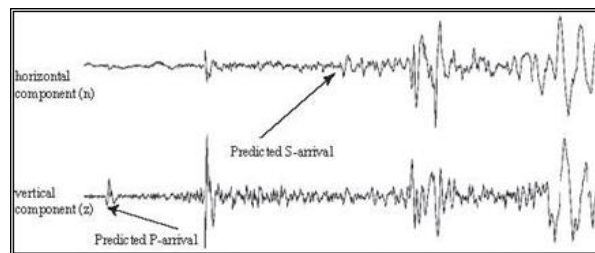
Tabel 1. Hasil Penelitian Sebelumnya tentang Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi.

No.	Karakteristik Subjek dan Objek Penelitian	
1.	Peneliti	R.M. Allen [1]
	Judul Penelitian	The ElarmS Earthquake Early Warning Methodology and Application across California
	Lembaga/Tahun	Springer Berlin / 2007
	Lokasi Penelitian	California, Amerika
	Komentar	Peringatan dini terhadap gempa bumi berbasis sensor tunggal dan kondisi geologi di California
	Keterangan	Dalam kumpulan makalah EEWs
2.	Peneliti	M. Böse, F.Wenzel, and M. Erdik [4]
	Judul Penelitian	Preseis: A Neural Network Based Approach To Earthquake Early Warning For Finite Faults
	Lembaga/Tahun	<i>Bull. Seismol.Soc. Am.</i> 98 , no. 1, pp. 366–382, 2008
	Lokasi Penelitian	Turki
	Komentar	Penelitian peringatan dini gempa bumi dengan pendekatan jaringan syaraf di Turki dengan regional sensor [5].
	Keterangan	Jurnal
3.	Peneliti	Takuji Yamada dan Satoshi Ide [14]
	Judul Penelitian	Limitation of the Predominant-Period Estimator for Earthquake Early Warning and the Initial Rupture of Earthquakes
	Lembaga/Tahun	<i>Bulletin of the Seismological Society of America</i> , Vol. 98, No. 6, pp. 2739–2745, December 2008
	Lokasi Penelitian	Jepang
	Komentar	Investigasi karakteristik dan batasan parameter τ_p yang menunjukkan periode awal dari gelombang P untuk penanda pada Early Warning System dan penanda patahan pada gempa bumi pada sensor tunggal
	Keterangan	Jurnal

Kerangka Teori

Energi gelombang karena gempa bumi merupakan sumber usikan gelombang yang merambat dari suatu tempat ke tempat lain dalam batuan sehingga menimbulkan gejala pemampatan (*stress*) dan peregangan (*strain*). Batuan mempunyai sifat elastik yang pada batas tertentu setelah menerima usikan akan kembali ke bentuk semula. Apabila batuan tersebut tidak dapat kembali ke bentuk semula setelah usikan hilang, maka batuan tersebut telah terdeformasi atau berubah bentuk akibat terlampauinya batas elastik (Kramer, 1996). Gempa bumi mengirimkan energinya ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik berupa gelombang *P* dan *S* sebagai *body wave* dan juga gelombang permukaan atau *surface wave* (Udias, 2002). Gelombang permukaan inilah yang sebenarnya menimbulkan kerusakan pada bangunan. Gelombang *P* merupakan gelombang pertama yang datang dan

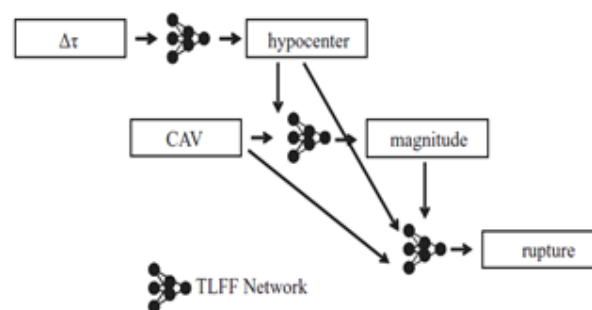
diterima stasiun seismik dan gelombang *S* pada kedatangan berikutnya (Gambar 1).



Gambar 1. Gelombang *P* dan *S* yang terekam pada seismograf.

Jeda waktu kedatangan gelombang *P* dan *S* tersebut dimanfaatkan untuk perhitungan peringatan dini gempabumi dari jaringan stasiun seismik (Satriano et al., 2007).

Jaringan stasiun seismik adalah stasiun-stasiun seismik yang merekam waktu kedatangan gelombang gempabumi (seismik) dengan memanfaatkan sistem jaringan syaraf tiruan yang mempunyai neuron-neuron (gambar 2) (Bishop, 1995). Informasi antar neuron didistribusikan oleh jaringan yang disebut *two-layer feed-forward (TLFF) neural networks* (Levenberg, 1994). Jaringan inilah yang akan memberikan informasi kedatangan gempa melalui sinyal listrik yang akan lebih cepat dibandingkan dengan kedatangan gelombang gempa pada daerah tertentu yang terhubung oleh jaringan seismik.



Gambar 2. Skema jaringan syaraf tiruan TLFF.

Memang secara obyektif sains, gempa bumi dan tsunami telah mengalami proses panjang penelaahan ilmiah oleh para ahli kegempaan (*seismologist*). Selain para ahli kegempaan, dalam konteks *local wisdom*, masyarakat di daerah yang sering mengalami fluktuatif proses alam, dengan bekal kultur tradisional dan religiusitasnya tentu mempunyai sudut pandang subyektif yang berbeda dengan obyektif. Masyarakat secara subyektif sering menginterpretasikan gempa bumi (dan tsunami) sebagai bencana, hukuman Allah, atau sebaliknya rahmat, bahkan bercampur dengan mitos-mitosnya yang dimiliki mengenai ulah kosmos yang menakutkan yang disebutnya sebagai pageblug (Masroer dan Fikri, 2009).

Menurut Irwan Abdullah, meskipun Indonesia, termasuk Jawa mempunyai banyak pengalaman mengenai bencana alam, seperti letusan gunung Karakatau (1883), dan letusan gunung Merapi yang dikenal dengan mahapralaya yang terjadi sekitar abad ke-10 M. Namun sayang kejadian yang berdampak luar biasa itu tidak berhasil diubah menjadi pengalaman kolektif yang dipelajari sebagai pengetahuan lokal kolektif. Bahkan pengalaman itu juga tidak berhasil menjadi dasar kebijakan antisipatif dan pemulihan (*recovery*) dampak bencana (Irwan, Kompas:14 November 2006).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian verifikatif yang bertujuan untuk mengkaji dan menguji teori secara empirik. Tahapan yang dilalui dalam penelitian verifikatif ini adalah menguji dan menjelaskan hubungan antar variabel guna mendapatkan informasi dan makna permasalahan penelitian. Berdasarkan hubungan variabel-variabel yang telah dirumuskan selanjutnya akan dianalisis pengaruh dan hubungan antar variabel tersebut berdasarkan data empirik.

Deskripsi atas fenomena permasalahan penelitian ditunjukkan dari data morfologi pesisir selatan Yogyakarta, data kejadian gempabumi di lepas pantai yang dikumpulkan dari sumber-sumber data sekunder. Objek penelitian ini adalah pesisir pantai termasuk didalamnya kondisi sosiologis, pengetahuan tsunami serta teknologi di masyarakat dan keadaan morfologis pantai Yogyakarta. Untuk keperluan pengukuran variabel-variabel agar dapat mencapai sasaran penelitian secara akurat, maka perlu ditetapkan batasan operasional variabel-variabel penelitian untuk menghindari kerancuan informasi dan kesalahan pengambilan kesimpulan. Batasan operasionalisasi variabel-variabel mengenai analisis arah tsunami menuju pantai dan implikasinya bagi proses mitigasi tsunami digunakan alat-alat seperti *altimeter*, *kompas*, dan *global positioning system*.

Pendekatan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan analisis secara makro dan data yang digunakan sebagai bahan analisis adalah data sekunder gempa bumi dan data primer dari wawancara dan observasi dengan masyarakat pesisir pantai untuk menggali pengetahuan lokal terhadap bahaya tsunami. Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran langsung di pantai atau pesisir pantai yang menjadi objek penelitian. Dari data yang telah terkumpul kemudian dilakukan pencatatan dan kategorisasi berdasarkan jenis variabel yang diperlukan. Untuk menjamin tingkat akurasi, maka perlu dilakukan penelitian ulang dan *cross-check* terhadap data yang diperoleh baik dari sumber data maupun objek data yang dicari.

Selanjutnya untuk mendapatkan model *early warning system* yang paling sesuai dengan kondisi

masyarakat pesisir pantai Yogyakarta, penelitian ini juga fokus pada pengembangan edukasi lokal bahaya tsunami, solusi teknologi yang *low cost* bagi model *early warning system*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

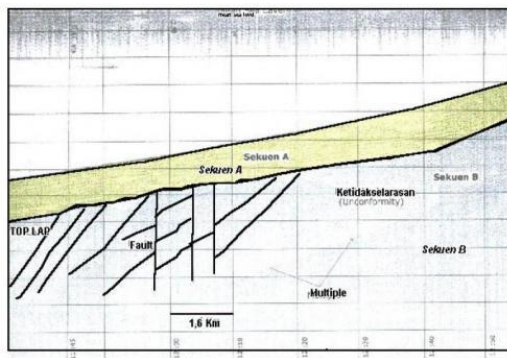
Potensi Bencana Tsunami di Pesisir Selatan Yogyakarta

Kedalaman dasar laut di perairan selatan wilayah Yogyakarta hingga batas 12 mil ke arah laut lepas, berkisar antara 5 sampai 350 meter, dengan kenaikan nilai kontur berangsur meningkat dengan pola sejajar pantai. Perairan selatan Yogyakarta memiliki tipe pasang surut *mixed tide predominantly* semi diurnal atau pasang campuran yang condong ke harian ganda. Hal ini berarti dalam satu hari terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut.

Data angin yang dikorelasikan dengan bentuk garis pantai daerah penyelidikan menunjukkan, bahwa frekuensi angin yang paling berpengaruh adalah berasal dari arah tenggara, selatan, barat daya dan barat. Hasil perhitungan energi fluks gelombang tahunan menunjukkan, bahwa bagian timur daerah penyelidikan, mulai dari daerah Sadeng hingga Parangendog, energi gelombang relatif tinggi dan berfluktuasi dengan nilai energi berkisar antara 5.1 hingga 29.7 Nm/det/m. Sedangkan bagian barat mulai dari daerah pantai Parangtritis hingga pantai Congot mempunyai potensi abrasi yang cukup besar, yang ditunjukkan dengan nilai energi gelombang yang relatif tinggi dan seragam, yaitu berkisar antara 17 hingga 23 Nm/det/m. Perbedaan nilai energi gelombang tersebut, menunjukkan bahwa proses pantai yang berkembang di kawasan pantai Yogyakarta cenderung didominasi oleh faktor klimatologi musim timur dengan arah angin dominan dari arah timur dan tenggara yang juga menyebabkan komponen arus sejajar pantai (*longshore current*) cenderung bergerak ke arah barat. Pengamatan karakteristik pantai memperlihatkan adanya dua jenis pantai yang berbeda di daerah penelitian.

Pantai yang bermorfologi tinggi, tersusun oleh tebing-tebing batu gamping yang menghasilkan kantong-kantong pantai (*pocket beach*) dengan pasir putih sebagai rombakan batugamping terumbu tersebut, yang dijumpai di bagian timur daerah penyelidikan. Sedangkan Pantai yang bermorfologi landai, tersusun oleh hamparan pasir berwarna hitam, dengan gunduk-gunduk pasir (*sand dune*) di belakang pantai dijumpai di bagian barat. Data seismik menunjukkan adanya struktur geologi pada sekuen B, yaitu pola patahan normal antara lain pada lintasan L-2, L-5 dan L-6, di beberapa lintasan seperti L-5 juga dijumpai adanya indikasi patahan anjak (*step fault*). Jika dikorelasikan dengan geologi darat berdasarkan hasil interpretasi rekaman seismik patahan ini merupakan patahan lampau yang diduga berumur Tesier (Bapekoinda Prop. D.I. Yogyakarta dan LPM Universitas Padjadjaran, 2002).

Potensi Bencana Geologi Data yang diperoleh dari USGS (1916-2002) dan ERI-Jepang (1995-2002) menunjukkan bahwa solusi mekanisme fokal dari beberapa gempa bumi merusak yang pernah terjadi di selatan Pulau Jawa (Gambar 3). Arah kompresi maksimum umumnya dominan berarah timur laut-barat daya, sebagian kecil utara-selatan, barat-timur dan barat-laut-tenggara. Hal ini menunjukkan gempa bumi yang terjadi di daerah ini berasosiasi dengan lajur penunjaman (subduksi) di selatan pulau Jawa. Sifat gempa bumi yang berasosiasi dengan lajur penunjaman di selatan Jawa, umumnya memiliki karakteristik tersendiri, misalnya di sebelah selatan Pulau Jawa, pusat gempa bumi umumnya berkedalaman dangkal (0-90 km), sedangkan makin ke utara pusat gempa bumi berkedalaman menengah (91-150 km) hingga dalam (151-700 km). Gempa bumi berke-dalaman dangkal (0-90 km) umumnya berbahaya dan dampaknya sangat merusak, karena kadang disertai oleh bencana tsunami.



Gambar 3. Hasil Interpretasi Seismik yang memperlihatkan Struktur Patahan Normal.

Yogyakarta Sebagai Kawasan Gempa dan Tsunami

Indonesia memang berada pada wilayah jalur gempa aktif yang dapat menyebabkan terjadinya tsunami. Bencana yang terjadi karena aktifitas seismik di Indonesia adalah yang terbesar di Asia Tenggara. Salah satu wilayah di Indonesia yang rawan terjadi tsunami adalah pesisir pantai selatan pulau Jawa. Secara geologis pesisir selatan pantai Jawa berada di jalur subduksi atau pertemuan dua lempeng besar yang saling bertumbukan, yaitu lempeng Eurasia dan juga lempeng Indo-australia. Pergerakan lempeng tektonik di kawasan ini dapat menyebabkan terjadinya gempa besar yang memicu gelombang tsunami.

Berdasarkan kondisi geomorfologi, geologi dan morfotektonik regional, dan sosial, potensi bahaya dan bencana alam yang mungkin terjadi adalah bahaya tsunami di pesisir pantai Parangtritis Kabupaten Bantul Yogyakarta. Perairan pantai Yogyakarta pada umumnya termasuk ke dalam kategori perairan terbuka (*open sea*) dengan horizon pantai yang langsung berhadapan dengan samudera Hindia. Oleh karena itu energi gelombang menuju pantai sangat berpengaruh terhadap dinamika pantai di daerah tersebut. Energi gelombang

selain menimbulkan abrasi juga dapat menyebabkan sedimentasi di daerah-daerah tertentu.

Kondisi tektonik yang berkembang di selatan pulau Jawa adalah adanya laju pergerakan aktif lempeng samudera Indo-australia ke bawah lempeng benua Eurasia, sehingga menyebabkan kawasan ini memiliki aktifitas kegempaan yang tinggi. Aktifitas tersebut dicerminkan dengan sebaran pusat gempa bumi baik di darat maupun di lautan. Gempa bumi dangkal berkekuatan lebih besar atau sama dengan 6 skala richter berpeluang besar terjadi di perairan selatan pulau Jawa. Sedangkan gempa bumi berkekuatan atau sama dengan 7 skala richter dapat terjadi di daerah samudera Hindia. Secara umum, gempa tersebut dapat menimbulkan tsunami.

Kedalaman dasar laut di perairan selatan wilayah Yogyakarta hingga batas 12 mil arah laut lepas adalah berkisar antara 5 meter sampai 350 meter dengan kenaikan nilai kontur berangsur meningkat dengan pola sejajar pantai. Perairan pesisir pantai Yogyakarta memiliki tipe pasang surut atau pasang campuran yang condong ke harian ganda, hal tersebut berarti dalam satu hari terjadi 2 (dua) kali pasang dan 2 (dua) kali surut.

Data angin yang dikorelasikan dengan bentuk garis pantai selatan Yogyakarta menunjukkan bahwa frekuensi angin yang paling berpengaruh adalah berasal dari tenggara, selatan, barat daya dan juga barat. Dari bagian barat pantai mulai dari daerah parangtritis hingga pantai congot mempunyai potensi terjadinya abrasi yang cukup besar yang ditunjukkan dengan nilai energi gelombang yang cukup tinggi dan beragam, yaitu berkisar antara 17 sampai 23 Nm/det/m. Berdasarkan penjelasan tersebut menunjukkan bahwa kawasan pantai Parangtritis cenderung didominasi oleh faktor klimatologi musim timur dengan arah mata angin dari timur dan tenggara yang juga menyebabkan komponen arus sejajar pantai (*longshore current*) cenderung bergerak ke arah barat. Oleh sebab itu ada perbedaan karakteristik pantai yang berada di pesisir selatan Yogyakarta. Pantai yang bermorfologi tinggi dan tersusun oleh tebing-tebing batu gamping yang menghasilkan kantong-kantong pantai (*pocket beach*) dengan pasir putih sebagai rombakan batu gamping tersebut dapat dijumpai di bagian timur. Sedangkan pantai yang bermorfologi landai tersusun oleh hamparan pasir berwarna hitam dengan gumuk-gumuk pasir (*sand dune*) di belakang pantai dapat dijumpai di bagian barat.

Bentuk morfologi pantai sangat berpengaruh terhadap dampak kerusakan yang akan ditimbulkan oleh bencana tsunami. Bentuk pantai berteluk umumnya memiliki kecenderungan untuk diwaspadai karena bentuk pantai seperti ini memiliki *potensi untuk mengakumulasi energi tsunami dan akan mengalami kerusakan lebih besar dibandingkan dengan daerah lainnya* yang memiliki garis pantai lurus. Kemiringan muka pantai yang landai akan lebih berbahaya dibandingkan dengan bentuk permukaan pantai yang memiliki kemiringan curam. Letak pemukiman dan aktifitas manusia juga sangat

berpengaruh pada tingkat kerusakan yang akan dialami oleh suatu daerah apabila terjadi tsunami.

Jenis bencana berdasarkan hasil penyelidikan dan sejarah kebencanaan yang pernah dialami oleh kawasan pantai selatan Yogyakarta menurut Bapekoindda Prop. D.I. Yogyakarta, LPM Universitas Padjajaran 2002, dapat dikelompokkan jenis bencana geologi yang berpotensi terjadi di daerah tersebut, yaitu abrasi, sedimentasi/pendangkalan dan tsunami. Gempa bumi dengan kedalaman dangkal antara 0-90 km umumnya berbahaya dan dampaknya sangat merusak karena berpotensi menimbulkan bencana tsunami.

Karakteristik Tsunami

Tsunami dikenal dengan gelombang pasang berdimensi gunung yang bergerak sepanjang samudera dengan kecepatan yang dapat mencapai 500 km/jam, yang dapat menerjang kawasan pantai dan merusak infrastruktur masyarakat (Prasetyo, H., dalam kumpulan Makalah Tsunami, 1994). Kecepatan perjalanan tsunami dipengaruhi oleh kedalaman relief tokografi dasar laut tinggi tsunami bisa mencapai kurang dari 5 (lima) meter ditengah laut akan tetapi dapat mencapai 30 (tigapuluh) meter pada kedalaman dangkal atau mendekati pantai. Pada pantai yang berbentuk teluk atau corong pada umumnya terjadi akumulasi massa air laut yang menambah kecepatan rambat dan tinggi tsunami sehingga seakan-akan merambat naik kedaratan. Tsunami juga akan menimbulkan arus sejajar pantai yang disebabkan karena bentuk pantai.

Kawasan pantai selatan dari Parangtritis ke arah barat memiliki morfologi mulut pantai yang landai dengan bukit-bukit pasir yang didominasi oleh garis pantai lurus. Letak pemukiman pada umumnya berada di belakang bukit pasir sehingga membuat daerah ini relatif aman terhadap landaan gelombang tsunami.

Berikut karakteristik terjadinya bencana tsunami diantaranya sebagai berikut:

1. Kecepatan tsunami

Secara empiris kecepatan tsunami tergantung pada kedalaman laut dan percepatan gravitasi di lokasi tersebut. Untuk di laut dalam kecepatan tsunami bisa setara dengan kecepatan pesawat jet, yaitu sekitar 800 (delapan ratus) km/jam. Semakin dangkal lautnya kecepatan tsunami semakin berkurang, yaitu berkisar antara 2-5 km/jam.

2. Ketinggian tsunami

Ketinggian gelombang tsunami berbanding terbalik dengan kecepatannya. Hal ini berarti jika kecepatan tsunami besar namun ketinggian gelombangnya hanya beberapa puluh centimeter saja. Sebaliknya untuk didaerah pantai jika kecepatan tsunaminya kecil maka ketinggian gelombangnya cukup tinggi bisa mencapai puluhan meter.

Ketinggian tsunami di pantai dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah bentuk pantainya. Ada dua bentuk pantai yaitu:

1. Pantainya terjal

Bentuk pantai seperti ini mengakibatkan bagian utama dari energi tsunami dipantulkan oleh *slope* (pembatas) sehingga pemantulannya secara utuh mengikuti periode tsunami tanpa pecah. Tinggi gelombang yang dihasilkan antara 1-2 m.

2. Pantainya landai

Bentuk pantai ini menimbulkan energi tsunami akan dinaikkan oleh pantai sehingga jika kecepatannya berkurang maka amplitudonya berkurang dan panjang gelombangnya berkurang serta mengakibatkan pecahnya gelombang. Hal ini yang menyebabkan tinggi gelombang tsunami bisa mencapai puluhan meter.

Sebab-Sebab Tsunami

Bencana tsunami muncul apabila terjadi gangguan yang menyebabkan perpindahan sejumlah besar air seperti letusan gunung berapi, gempa bumi, longsor maupun jatuhnya meteor ke bumi. Gerakan vertikal pada kerak bumi dapat mengakibatkan dasar laut naik atau turun secara tiba-tiba yang mengakibatkan gangguan keseimbangan air yang ada di atasnya. Hal ini merupakan proses terjadinya tsunami karena terjadinya aliran energi air laut yang ketika sampai di pantai menjadi gelombang besar. Kecepatan gelombang tsunami tergantung pada kedalaman laut, ketika gelombang laut terjadi maka kecepatannya bisa mencapai ratusan km/jam. Bila tsunami mencapai pantai kecepatannya akan menjadi kurang lebih 50 (lima puluh) km/jam dan energinya sangat merusak daerah pantai yang dilalui.

Gejala tsunami dapat diketahui oleh masyarakat pesisir pantai selatan Yogyakarta, yaitu dengan ciri-ciri sebagai berikut:

1. Diawali dengan gempa bumi
2. Air laut tiba-tiba surut
3. Bau garam menyengat
4. Langit tampak berwarna hitam
5. Terjadi ledakan yang dahsyat

Early Warning System (EWS) of Tsunami Berbasis Kearifan Lokal

▪ Kentongan dan Teknologi EWS Tsunami

Untuk menangani bencana tsunami di pesisir pantai selatan Yogyakarta terutama di kawasan Parangtritis, masyarakat setempat melakukan strategi pencegahan agar dapat terhindar dari bencana tersebut dan dapat mengetahui terjadinya tsunami lebih awal. Dengan adanya *Early Warning System of Tsunami* (EWS) yang berbasis pengetahuan lokal pada masyarakat pesisir selatan Yogyakarta, masyarakat setempat secara strategis telah mempersiapkan diri menggunakan kentongan sebagai teknologi “tanda” apabila terjadi bencana tsunami. Selain kentongan yang masih tradisional, masyarakat setempat juga menggunakan teknologi modern pendeteksi dini tsunami atau sering disebut dengan EWS yang dibangun oleh Pemerintah.

Bencana tsunami dapat diprediksi oleh berbagai institusi seismologi di berbagai penjuru dunia dan proses terjadinya tsunami dapat dimonitor melalui perangkat yang ada di dasar permukaan laut yang terkoneksi dengan satelit. Perekam tekanan di dasar laut bekerja sama dengan perangkat yang mengapung dilaut dapat digunakan untuk mendeteksi gelombang yang tidak dapat dilihat oleh pengamat manusia pada laut dalam. Walaupun demikian karena faktor alamiah seperti beragam topografi dan batimetri yang berada disekitar pantai serta adanya corak ragam tutupan lahan, perkiraan waktu kedatangan tsunami, ketinggian dan jarak rendaman tsunami masih belum bisa dimodelkan secara akurat.

Pemerintah Indonesia yang mendapat bantuan donor dari negara-negara maju telah mengembangkan sistem peringatan dini tsunami Indonesia (*Indonesian Tsunami Early Warning System*) sebagai peringatan dini apabila terjadi tsunami di pesisir pantai. Sistem ini berpusat pada Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di Jakarta. Sistem ini memungkinkan BMKG mengirimkan peringatan tsunami jika terjadi gempa yang berpotensi mengakibatkan tsunami. Sistem ini di desain untuk dapat mengeluarkan peringatan tsunami dalam waktu kurang lebih lima menit setelah gempa terjadi. Sistem peringatan dini ini memiliki empat komponen diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Pengetahuan mengenai bahaya dan resiko
2. Peramalan
3. Peringatan, reaksi dan observasi (monitoring gempa dan permukaan laut).
4. Integrasi dan diseminasi informasi serta kesiap siagaan.

Sistem peringatan dini tsunami merupakan rangkaian sistem kerja yang rumit dan melibatkan banyak pihak secara internasional, regional, nasional, daerah dan bermuara di masyarakat lokal. Apabila terjadi suatu gempa maka kejadian tersebut dicatat oleh alat seismograf (pencatat gempa). Data gempa ini juga akan diintegrasikan dengan sistem peringatan dini untuk memberikan konfirmasi mengenai gelombang tsunami yang sudah terbentuk.

▪ Mitigasi Tsunami

Selain menggunakan *early warning system of tsunami* (EWS) atau sering disebut dengan sistem peringatan dini, masyarakat sekitar juga menggunakan sistem mitigasi tsunami. Mitigasi meliputi segala tindakan yang mencegah bahaya, mengurangi kemungkinan terjadinya bahaya dan mengurangi daya rusak suatu bahaya yang tidak dapat dihindari. Mitigasi adalah dasar dari manajemen situasi darurat mitigasi dapat didefinisikan sebagai aksi yang mengurangi atau menghilangkan resiko jangka panjang dari bahaya bencana alam dan akibatnya terhadap manusia serta harta benda. Ada tiga unsur utama model mitigasi tsunami diantaranya adalah:

1. Penilaian bahaya (*hazard assessment*)

Unsur pertama untuk mitigasi yang efektif adalah penilaian bahaya. Untuk setiap komunitas pesisir penilaian bahaya tsunami diperlukan dalam mengidentifikasi populasi dan aset yang terancam serta tingkat ancaman. Penilaian ini membutuhkan pengetahuan tentang karakteristik sumber tsunami, probabilitas kejadian, karakteristik tsunami dan karakteristik morfologi dasar laut dan garis pantai.

2. Peringatan (*warning*)

Unsur kedua untuk mitigasi tsunami yang efektif adalah suatu sistem peringatan untuk memberi informasi kepada masyarakat pesisir tentang bahaya tsunami yang tengah mengancam. Sistem peringatan didasarkan kepada data gempa bumi sebagai peringatan dini dan data perubahan muka air laut untuk konfirmasi dan pengawasan tsunami. Sistem peringatan juga mengandalkan berbagai saluran komunikasi untuk menerima data seismik dan perubahan muka air laut serta untuk memberikan pesan kepada pihak yang berwenang. Pusat peringatan (*warning center*) secepatnya memberikan peringatan setelah pembentukan tsunami potensial terjadi, tepat menyampaikan pesan tentang tsunami dan dapat dipercaya bahwa sistem bekerja terus menerus serta pesan yang disampaikan dapat diterima secara langsung dan dapat dipahami oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

3. Persiapan (*preparedness*)

Kegiatan kategori ini tergantung pada penilaian bahaya dan peringatan. Persiapan yang layak terhadap peringatan bahaya tsunami membutuhkan pengetahuan tentang daerah yang kemungkinan terkena bahaya tsunami dan pengetahuan tentang sistem peringatan dini untuk mengetahui waktu mengevakuasi serta waktu saatnya kembali ketika situasi sudah aman.

▪ Pengetahuan Lokal Peringatan Dini Tsunami

Untuk pemberitahuan jika bencana tsunami terjadi masyarakat pesisir pantai di Parangtritis menggunakan alat-alat deteksi lokal. Selain itu ada upaya-upaya penyelamatan diri saat terjadi tsunami diantaranya adalah:

1. Sebesar apapun bahaya tsunami, gelombang ini tidak datang setiap saat.
2. Jika berada disekitar pantai, dan terasa ada guncangan gempa bumi serta air laut yang berada didekat pantai surut secara tiba-tiba sehingga dasar laut terlihat segeralah lari menuju tempat yang tinggi (perbukitan atau bangunan tinggi) sambil memberitahukan kepada teman-teman yang lain.
3. Jika sedang ada didalam perahu atau kapal ditengah laut dan mendengar berita bahwa telah terjadi tsunami, maka jangan mendekat kepantai arahkan perahu kelaut.
4. Jika gelombang pertama telah datang dan surut kembali jangan segera turun ke daerah yang rendah karena gelombang berikutnya akan menerjang.

5. Jika gelombang telah benar-benar mereda, lakukanlah perolongan pertama pad korban.

▪ **Teknologi Lokal Kentongan**

Kentongan adalah alat pemukul yang terbuat dari batang bambu atau batang kayu jati yang dipahat. Kegunaan kentongan didefinisikan sebagai tanda alarm, sinyal komunikasi jarak jauh, morse, penanda adzan, maupun tanda bahaya. Ukuran kentongan tersebut berkisar antara diameter 40cm dan tinggi 1,5M-2M. Kentongan sering diidentikkan dengan alat komunikasi zaman dahulu yang sering dimanfaatkan oleh penduduk yang tinggal di daerah pedesaan dan pegunungan.

Sejarah budaya kentongan sebenarnya berasal dari legenda Cheng Ho dari Cina yang mengadakan perjalanan dengan misi keagamaan. Dalam perjalanan tersebut, Cheng Ho menemukan kentongan ini sebagai alat komunikasi ritual keagamaan. Penemuan kentongan tersebut dibawa ke China, Korea, dan Jepang. Kentongan sudah ditemukan sejak awal masehi. Setiap daerah tentunya memiliki sejarah penemuan yang berbeda dengan nilai sejarahnya yang tinggi. Di Nusa Tenggara Barat, kentongan ditemukan ketika Raja Anak Agung Gede Ngurah yang berkuasa sekitar abad XIX menggunakannya untuk mengumpulkan massa. Di Yogyakarta ketika masa kerajaan Majapahit, kentongan Kyai Gorobangsa sering digunakan sebagai pengumpul warga. Di Daerah Pengasih, kentongan ditemukan sebagai alat untuk menguji kejujuran calon pemimpin daerah. Di masa sekarang ini, penggunaan kentongan lebih bervariasi.

Pertanyaannya kemudian, apakah generasi muda masih tahu tentang kentongan, makna suara kentongan dan senang berkomunikasi dengan kentongan? Suara sumbang sering terdengar begitu mendengar suara kentongan. *Kentongan, ah kuno*. Mereka kini terbiasa dengan sarana komunikasi canggih yang serba elektrik, seperti: loud speaker, telepon, H T, H. P. , dan lain-lain. Mungkin ungkapan di atas cukup beralasan, mengingat kaum muda kini hidup di abad elektronik dan kentongan dianggap kurang efektif untuk berkomunikasi.

Dalam masyarakat yang masih memegang kearifan lokal kiranya masih banyak yang mengenal kentongan, Di gardu Pos Ronda masih tergantung kentongan dengan alat pukulnya, Namun tidak jelas maknanya. Apakah sekedar hiasan pelengkap ataukah masih dipakai untuk komunikasi warga termasuk juga dalam peringatan bencana. Kegiatan "kamling" (keamanan lingkungan) melibatkan warga masyarakat serta perlunya mengetahui tanda-tanda suara kentongan yang berkaitan dengan apa yang terjadi atau berkaitan dengan adat-istiadat masyarakat (Iman Sudiyat, 1987). Di lingkungan masyarakat masih dikenal berlakunya hukum tidak tertulis, di antaranya adat-istiadat. Adat dapat disamakan dengan kebiasaan. Adat dirasa masih diperlukan karena ada unsur kebersamaan dan tuntunan hidupnya.

Sebagai alat komunikasi tradisional, kentongan mempunyai arti dari simbol-simbol suara yang

dikeluarkannya maka dari itu ada beberapa cara dalam menabuh kentongan. Menabuh kentongan mempunyai teknik yang berbeda misalnya kentong raja pati menandakan bahwa di sekitar kampung atau desa setempat ada pembunuhan, demikian pula jika kentongan dipukul dua kali berturut-turut dengan sela atau jeda yang menandakan adanya maling atau pencuri masuk di lokasi setempat. Tiga kali pukulan kentongan berturut-turut dengan jeda menandakan bahwa disekitar kampung atau desa ada kebakaran. Sedangkan untuk menyebarkan informasi tentang bencana alam atau banjir bandang kentongan di pukul empat kali berturut-turut diselingi waktu jeda. Bunyi kentong titir, yaitu lima kali pukulan berturut-turut dengan waktu jeda sejenak menandakan bahwa di kampung setempat ada pencurian binatang. Sedangkan bunyi kentong dara muluk, yaitu satu kali pukulan diselingi jeda dan diselingi pukulan delapan kali berturut-turut dengan spasi atau jeda ditambah pukulan satu kali menunjukkan suasana atau situasi dan kondisi kampung/desa dalam keadaan aman.

▪ **Kentongan Sebagai Peringatan Dini Bencana Tsunami**

Mengingat peristiwa tsunami dapat terjadi tanpa diduga-duga, maka dianjurkan kepada penduduk setempat yang mendiami wilayah pesisir pantai untuk memiliki kentongan sebagai alat untuk memberikan informasi ke warga lain jika terjadi sebuah bencana maupun tanda-tanda apabila akan terjadi tsunami. Fungsi kentongan sebagai alat informasi ini dapat dipakai sebagai tanda deteksi dini tsunami melalui pemukulan kentongan dengan kode tertentu. Dalam masyarakat Jawa, terutama di Yogyakarta, pemukulan kentongan memang sudah memiliki kode-kode tertentu melalui jumlah pemukulan untuk menjelaskan situasi dan kondisi yang ada. Misalnya jika kentongan dipukul dua kali dua kali itu mendandakan masyarakat diminta waspada, atau jika dipukul satu kali mendandakan situasi aman. Pemukulan kentongan juga menyangkut informasi tentang bencana alam. Jadi dalam kearifan lokal masyarakat Yogyakarta, pemukulan kentongan sudah ada sejak zaman dahulu, bahkan dalam soal menghadapi bencana alam. Hanya saja alat pemukul kentongan dengan pemukulan dalam jumlah tertentu sebagai alat untuk mengonfirmasikan kepada masyarakat mengenai suatu keadaan kini mulai memudar, bahkan hampir punah seiring dengan kemajuan teknologi informasi.

Dari situasi yang menimbulkan keprihatinan sosial itulah, Pemerintah Yogyakarta berusaha menghidupkannya kembali fungsi kentongan dalam masyarakat melalui kebijakan sosialisasi. Oleh karena itu dalam rangka mensosialisasikan kentongan, Pemerintah Daerah DIY telah mengeluarkan Instruksi Gubernur KDH-DIY nomor: 5/INST/1980 tertanggal 26 Mei 1980 tentang tanda bunyi kentongan, yaitu sebagai berikut:

1. Keadaan aman
Tanda bunyi: ----- V ----- (doro muluk satu kali)
Artinya: keadaan aman atau keadaan aman kembali
2. Keadaan siap /waspada
Tanda bunyi: 0 0. 0 0. 0 0 dst (dua dua)
Artinya :
a. Kemungkinan timbul bencana alam/kejahatan.
b. Keadaan samar-samar/mencurigakan
c. Mempersiapkan diri.
3. Kejahatan Khusus
Tanda bunyi: 0 0 0. 0 0 0. 0 0 0 dst (tiga-tiga).
Artinya: pertama, ada raja kaya (kerbau, sapi, kuda) hilang. Kedua, ada pencurian alat komunikasi. Ketiga, ada pencurian biasa/ringan.
4. Kejahatan besar
Tanda bunyi: 0000000. 0 – 0000000. 0 – 0000000 (tujuh gantul).
Artinya: pertama, ada penggedoran (perampokan). Kedua, ada pencurian dengan perlawanan. Ketiga, ada pembegalan/penjambretan. Keempat, ada pembunuhan (rajapati). Kelima, ada penjambretan dengan sepeda motor/kendaraan bermotor.
5. Bencana Alam
Tanda bunyi: 0000000000 (gobyok/titir). Artinya: pertama, ada banjir biasa/lahar dingin. Kedua, ada angin topan/ribut. Ketiga, ada kebakaran. Keempat, ada tanah longsor. Kelima, ada gunung berapi meletus. Keenam, ada binatang buas. Ketujuh ada bencana tsunami
6. Kematian
Tanda bunyi: ----- V ----- , ----- V ----- (doro muluk 2 kali).
Artinya: ada orang meninggal dunia (layatan). Agar dalam membunyikan kentongan masyarakat, maka instruksi tersebut dimohon untuk ditempelkan di gardu perondaan, rumah kepala dusun, rumah pejabat pemerintahan lainnya, bahkan diminta untuk ditempelkan di rumah-rumah penduduk.

Dalam pada itu kentongan yang dapat dipakai sebagai alat peringatan dini tsunami melalui pendayagunaan fungsinya, sebagai sarana komunikasi dan informasi kepada masyarakat, memang memiliki keunggulan tertentu dengan basis pengetahuan lokal yang dibawanya secara turun-temurun. Pengetahuan lokal itu sudah sedemikian populer di masyarakat dengan tanda bunyi yang dipukul dari kentongan itu memiliki arti tersendiri dan pengethaun khusus dalam membaca situasi dan bahkan memahami fenomena alam, termasuk bencana tsunami, sehingga dapat mengurangi resiko bencana.

Namun teknologi peringatan dini yang terbuat dari kentongan ini juga mengandung sejumlah kelemahan, antara lain, *pertama*, sistem informasi peringatan dini yang diciptakan dari bunyi kentongan memiliki radius dengar yang terbatas, sehingga jangkauan informasinya menjadi terbatas pula di masyarakat. *Kedua*, kentongan dengan kesederhanaan teknologinya ternyata juga tidak

mampu menjadi alat pendeteksi pergerakan lempeng bumi di dasar lautan, sebagaimana yang diketahui sebagai penyebab utama timbulnya gelombang tsunami. Jadi teknologi kentongan masih tergantung juga dengan teknologi canggih yang dimiliki oleh Pemerintah dari sumbangan negara-negara maju.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, untuk menangani bencana tsunami di kawasan pesisir pantai selatan Yogyakarta, terutama di kawasan Parangtritis, masyarakat setempat melakukan strategi pencegahan agar dapat terhindar dari bencana tersebut, dan dapat mengetahui terjadinya tsunami lebih awal dengan pengetahuan lokal yang ada. Dengan adanya *Early Warning System of Tsunami (EWS)* yang berbasis pengetahuan lokal pada masyarakat pesisir selatan Yogyakarta tersebut, masyarakat sebenarnya telah mempersiapkan diri dengan baik, yakni penggunaan kentongan sebagai teknologi “tanda” apabila terjadi bencana tsunami. Selain kentongan yang masih tradisional tersebut, masyarakat setempat juga menggunakan teknologi modern pendeteksi dini tsunami atau sering disebut dengan EWS yang dibangun oleh pemerintah.

Pemerintah Indonesia yang mendapat bantuan negara-negara maju telah mengembangkan teknologi tinggi sistem peringatan dini tsunami Indonesia (*Indonesian Tsunami Early Warning System*) sebagai peringatan dini apabila terjadi tsunami di pesisir pantai. Sistem ini berpusat pada Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di Jakarta, sehingga belum mampu dibangun didaerah-daerah karena keterbatasan dana. Sistem ini memungkinkan BMKG mengirimkan peringatan tsunami jika terjadi gempa yang berpotensi mengakibatkan tsunami. Sistem ini didesain untuk dapat mengeluarkan peringatan tsunami dalam waktu kurang lebih lima menit setelah gempa terjadi. Sistem peringatan dini ini memiliki empat komponen diantaranya adalah sebagai berikut: Pengetahuan mengenai bahaya dan resiko, Peramalan, Peringatan, reaksi dan observasi (*monitoring* gempa dan permukaan laut) dan Integrasi dan diseminasi informasi serta kesiap siagaan.

Namun dengan teknologi yang berbiaya tinggi dan daya pengetahuan masyarakat yang belum memadai, masyarakat juga menggunakan kentongan sebagai alat pendeteksi tsunami. Kentongan ini digunakan sebagai bentuk kearifan lokal yang ada yang telah lama menjadi warisan budaya masa lalu. Penggunaan teknologi kentongan pada masyarakat dilakukan dengan cara memukul alat tersebut sehingga menghasilkan bunyi yang dapat dijadikan sebagai tanda bencana tsunami terjadi. Dengan teknologi kentongan ini, selain biayanya murah dan bahan-bahannya juga mudah didapat di sekitar penduduk serta sangat melekat dalam pengetahuan masyarakat, maka pemerintah hendaknya

mendorong masyarakat untuk menggunakan teknologi kentongan sebagai alat pendeteksi tsunami, terutama pada kawasan masyarakat pesisir selatan Yogyakarta. Sebab teknologi lokal itu selama ini belum banyak terpasang dengan baik (baca: makin hilang) di rumah-rumah penduduk pesisir selatan seiring dengan perubahan sosial yang terjadi akibat kemajuan zaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Bapekoindda Prop. D.I. Yogyakarta. 2002. LPM Universitas Padjajaran. Geologi Bencana.
- Bishop C. 1995. Neural Networks for Pattern Recognition. Clarendon, London.
- Cakraningrat H. 1994. Kitab Primbon Betaljemur Adammakna. Soemodidjojo Mahadewa, Yogyakarta.
- Edward B. 2007. Tsunami Bahaya yang Diabaikan, diterjemahkan oleh Wasi Dewanta Raya dan Tim Pakar Raya. Pakar Raya Pustaka, Klaten.
- Ika AK. 2006. Malin Kundang Pascagempa. *Kompas.com*
- Irwan Abdullah. 2006. *Kompas*, diakses pada tanggal 14 November 2006.
- Kramer. 1996. Geotechnical Earthquake Engineering: International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics. Prentice Hall, New York.
- Levenberg K. 1994. A Method for the Solution of Certain Non-Linear Problems in Least Squares. *Q J Appl Math* 2: 164–168.
- Levin B, Nosov M. 2009. Physics of Tsunami. Springer.
- Masroer Ch Jb, Thaqibul FN. 2009. Gempabumi Antara Mitologi Religius dan Sains Fisika Modern. *Jurnal Religi Fakultas Ushuluddin Studi Agama dan Pemikiran Islam UIN Sunan Kalijaga* 2.
- R.M. Allen. 2007. The ElarmS Earthquake Early Warning Methodology and Application across California: Earthquake Early Warning Systems. Springer, Berlin.
- Satriano C, et al. 2007. Optimal, Real-time Earthquake Location for Early Warning; Earthquake Early Warning Systems. Springer, Berlin.
- T. Yamada et al. 2008. Limitation of the Predominant-Period Estimator for Earthquake Early Warning and the Initial Rupture of Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America* 98(6): 2739–2745.
- Udias A. 2002. Theoretical Seismology an Introduction: International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology. Academic Press, Florida.

THIS PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK