

MITIGASI BENCANA ALAM TSUNAMI DI INDONESIA: SUMBANGAN PEMIKIRAN

KLIPING MEDIA

<http://www.geocities.com/klipingmedia>

Sari

Indonesia sebagai negara kepulauan secara geologis rentan terhadap bencana alam pesisir. Tsunami adalah salah satu bencana alam yang senantiasa mengancam penduduk pesisir. Walaupun jarang terjadi, namun daya hancurnya yang besar membuatnya harus diperhitungkan. Tsunami umumnya disebabkan oleh gempa bumi dasar laut. Sekitar 70% gempa bumi tektonik terjadi di dasar laut yang berpotensi menyebabkan tsunami (tsunamigenik).

Mitigasi bahaya tsunami yang efektif memiliki tiga unsur utama, yaitu: 1) penilaian bahaya (hazard assessment), 2) peringatan (warning), dan 3) persiapan (preparedness), serta satu unsur kunci pendukung, yaitu: penelitian yang terkait (tsunami-related research).

Untuk kondisi Indonesia saat ini yang dalam dasawarsa terakhir telah mengalami 5 kali bencana tsunami di berbagai tempat, sangat mendesak untuk segera dilakukan pembuatan peta (zonasi) daerah bahaya tsunami. Pembuatan peta tersebut membutuhkan pengetahuan tentang: 1) kemungkinan sumber tsunami dan karakteristiknya, 2) karakteristik tsunami, 3) probabilitas kejadian, dan 4) karakteristik morfologi dasar laut dan garis pantai. Pembuatan peta tersebut juga membutuhkan data rekaman tsunami dan/atau data paleotsunami serta pemodelan numerik. Dengan peta ini maka langkah-langkah mitigasi dapat direncanakan dengan matang dan sangat aman.

Pendahuluan

Gempabumi berskala besar kembali terjadi di Indonesia dalam kurun waktu dua bulan berturut-turut. Setelah Banggai, Sulawesi Utara, terguncang pada tanggal 4 Mei 2000 dengan 6.5 skala Richter dan menewaskan 46 jiwa serta merusak 23.000 unit bangunan (Kompas, 9 Mei 2000), kini giliran Pulau Enggano, Bengkulu, diguncang pada tanggal 5 Juni 2000 dengan 7.3 skala Richter dan menewaskan 92 orang serta merusak 16.900 unit bangunan (Kompas, 30 Juni 2000). Kedua bencana tersebut hanyalah lanjutan dari catatan panjang bencana alam geologi yang terjadi di Indonesia. Menarik untuk dicermati adalah posisi geografis kedua lokasi musibah tersebut, keduanya merupakan daerah pesisir. Pada kasus Banggai, gempa bumi yang terjadi diikuti oleh tsunami setinggi 6 m. Pada kasus Bengkulu, masyarakat yang tertimpa musibah juga dilanda kecemasan akan munculnya tsunami.

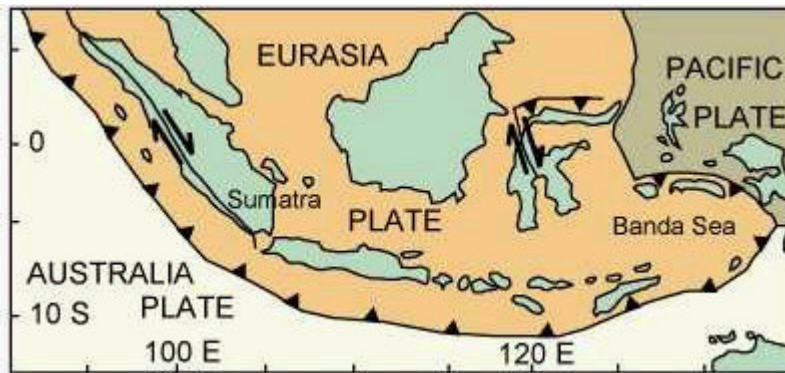
Indonesia sebagai negara maritim dengan ribuan pulau, secara geologis memang rentan terhadap bencana alam. Karena posisi geografis tersebut, hampir semua bencana alam yang terjadi merupakan jenis bencana alam pesisir. Indonesia termasuk dalam rangkaian "ring of fire" (sebutan untuk rangkaian gunungapi di Pasifik), dengan vulkanisme aktif dari Sumatra Utara hingga kepulauan timur Indonesia. Posisi geologis Indonesia sendiri yang terletak pada pertemuan beberapa lempeng tektonik aktif membawa implikasi terhadap kemungkinan bencana alam. Sekitar 70% gempa bumi tektonik terjadi di dasar laut yang berpotensi menyebabkan tsunami (tsunamigenik).

Berangkat dari kedua kasus mutakhir bencana alam pesisir tersebut diatas, sudah selayaknya diperlukan rencana terpadu mitigasi bencana alam pesisir, sehingga resiko bencana yang terjadi bisa diminimalisasi. Tulisan berikut mencoba menelaah langkah-langkah penanggulangan dan mitigasi pada bencana alam pesisir, khususnya tsunami. Jenis bencana alam ini dipilih karena hingga kini masih sedikit perhatian menyeluruh yang diberikan, padahal kemungkinan terjadinya di pesisir Indonesia tergolong besar dan dengan daya rusak yang luar biasa.

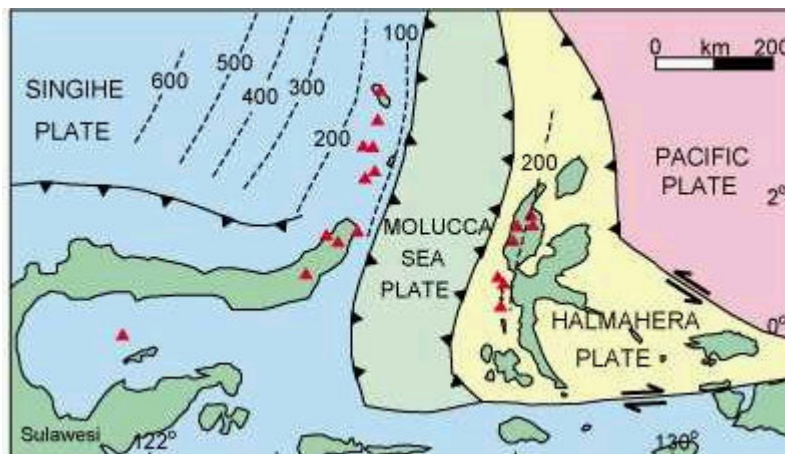
Kondisi Geologi Indonesia dan Bahaya Tsunami

Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng utama: Australia, Eurasia dan Pasifik, dan beberapa lempeng kecil lainnya seperti Sangihe, Maluku dan Halmahera (gambar 1 dan 2). Pertemuan lempeng-lempeng ini menghasilkan aktifitas kegempabuan dan kegempabuan.

<http://www.geocities.com/klipingmedia>



Gambar 1. Konfigurasi lempeng tektonik di Indonesia.



Gambar 2. Konfigurasi lempeng tektonik dan penyebaran gunungapi di daerah Halmahera – Sulawesi Utara.

Sebagian besar gunungapi terletak pada busur Sunda yang terbentang 3000 km dari ujung utara Sumatra hingga ke Laut Banda, terbentuk akibat proses subduksi Lempeng Australia dibawah Lempeng Eurasia. Sekitar ¼ dari total gunungapi Indonesia terletak pada sebelah utara Busur Sunda. Gunungapi di Sulawesi, Halmahera dan Sangihe terbentuk dari konfigurasi beberapa subduksi lempeng kecil yang memanjang utara-selatan (gambar 2) (Hamilton, 1979). Gunungapi di Laut Banda terbentuk akibat subduksi Lempeng Pasifik dibawah lempeng Eurasia.

Indonesia memiliki 76 gunungapi yang tercatat aktif, angka terbesar di seluruh dunia untuk suatu daerah vulkanik. Gunungapi-gunungapi tersebut telah meletus paling sedikit 1.171 kali, menempatkan Indonesia di tempat kedua (setelah Jepang) sebagai daerah dengan bahaya letusan gunungapi paling tinggi.

Gempabumi umumnya berkaitan dengan pergerakan lempeng tektonik pada kulit bumi. Beberapa daerah sensitif gempabumi di Indonesia adalah: sebelah barat Sumatra, sebelah selatan Jawa dan Bali, Nusa Tenggara, Laut Banda dan Sulawesi Tenggara, sebelah utara Maluku dan Sulawesi Utara, sebelah utara Papua, dan Selat Makassar (gambar 3).

Salah satu akibat gempabumi dan letusan gunungapi tersebut adalah tsunami (dalam bahasa Jepang yang berarti gelombang pelabuhan -- "harbour wave"). Indonesia sepanjang dasawarsa terakhir paling sedikit telah mengalami 5 kali tsunami (tabel 1).

Tabel 1. Peristiwa tsunami di Indonesia dalam dasawarsa terakhir (ITSU, 1999; * dari Kompas, 9 Mei 2000).

Tanggal	Lokasi	Perkiraan korban jiwa
12 Dec 1992	Flores Island	1000
3 Jun 1994	Jawa	222
1 Jan 1996	Papua	9
17 Feb 1996	Sulawesi	110
4 May 2000	Banggai	45*

Tsunami terbesar akibat letusan gunungapi adalah peristiwa letusan bersejarah Krakatau di tahun 1883 yang menciptakan

gelombang setinggi 40 meter diatas muka laut dan menewaskan 34.000 orang, melemparkan kapal hingga 2,5 km ke arah darat (Simkin and Siebert, 1994). Gelombang masih tercatat hingga pesisir selatan Semenanjung Arab – dengan jarak lebih dari 7.000 km dari Krakatau (Kious and Tilling, 1996).

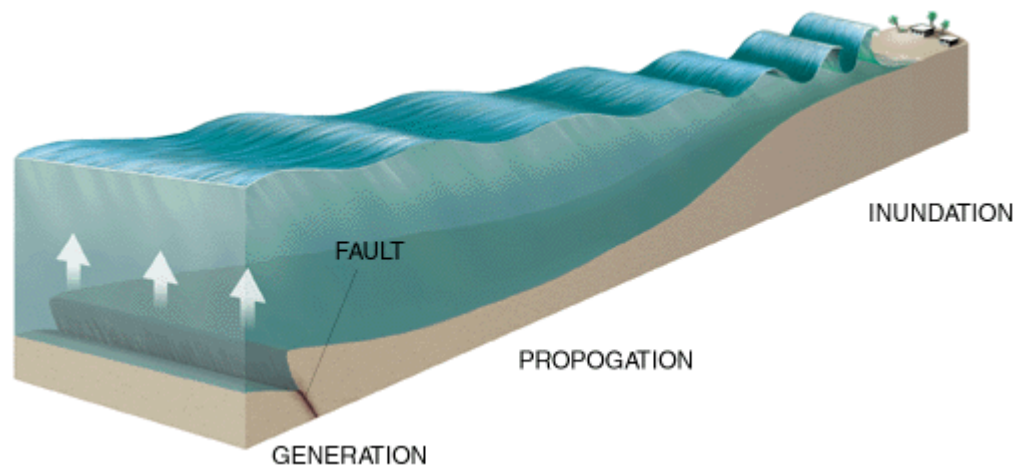


Gambar 3. Zona gempabumi tsunamigenik di Indonesia (ITSU, 1999).

Tsunami

Tsunami adalah suatu sistem **gelombang gravitasi** yang terbentuk akibat tubuh airlaut mengalami gangguan dalam skala besar dan dalam jangka waktu yang relatif singkat. Ketika gaya gravitasi berperan dalam proses air laut mencapai kembali kondisi equilibrium, suatu seri gerakan osilasi tubuh air laut terjadi baik pada permukaan laut maupun dibawahnya dan tsunami terbentuk dengan arah rambat keluar dari daerah sumber gangguan (gambar 4).

Kebanyakan tsunami dihasilkan oleh gempabumi, dimana pergeseran tektonik vertikal dasar laut di sepanjang zona rekahan pada kulit bumi menyebabkan gangguan vertikal tubuh air. Sumber mekanisme lainnya adalah letusan gunungapi yang berada di dekat atau di bawah laut, perpindahan sedimen dasar laut, peristiwa tanah longsor di daerah pesisir yang bergerak ke arah air laut, ledakan buatan manusia dan tumbukan benda langit /meteor yang terjadi di laut.



Gambar 4. Model terjadinya tsunami akibat pergerakan sesar/gempabumi (Gonzales, 1999).

Tsunami bergerak keluar dari daerah sumber sebagai suatu seri gelombang. Kecepatannya tergantung pada kedalaman air, sehingga gelombang tersebut mengalami percepatan atau perlambatan ketika melintasi kedalaman yang berbeda-beda. Proses ini juga menyebabkan perubahan arah rambat sehingga energi gelombang dapat menjadi fokus atau de-fokus. Pada laut dalam, gelombang tsunami dapat bergerak dengan kecepatan sekitar 500 hingga 1000 km/jam. Ketika mendekati pantai, rambatan tsunami menjadi lebih lambat hingga hanya beberapa puluh km/jam. Ketinggian gelombang tsunami juga tergantung pada kedalaman air. Gelombang tsunami yang ketinggian hanya satu meter pada laut dalam bisa berkembang menjadi puluhan meter pada garis pantai. Tidak seperti gelombang laut yang umumnya digerakkan oleh angin yang hanya mengganggu permukaan laut, energi gelombang tsunami mampu mencapai dasar laut. Pada daerah dekat pantai, energi tersebut terkonsentrasi pada arah vertikal akibat berkurangnya kedalaman air dan pada arah horisontal akibat pemendekan panjang gelombang karena perlambatan gerak gelombang. Tsunami memiliki rentang periode (waktu untuk satu siklus gelombang) dari hanya beberapa menit hingga lebih dari satu jam.

Pada daerah pesisir, tsunami dapat memiliki berbagai bentuk ekspresi tergantung pada ukuran dan periode gelombang, variasi kedalaman dan bentuk garis pantai, kondisi pasang-surut, dan faktor-faktor lainnya. Pada beberapa kasus tsunami dapat berupa gelombang pasang naik yang terjadi sangat cepat yang langsung membanjiri daerah pesisir rendah. Pada kasus lainnya tsunami dapat datang sebagai *bore* – suatu dinding vertikal air yang bersifat turbulen dengan daya rusak

tinggi. Arus laut yang kuat dan tidak lazim biasanya juga menemani tsunami berskala kecil.

Berdasarkan jarak sumber penyebab tsunami dan daerah yang terancam bahaya, tsunami dapat dikelompokkan menjadi dua: tsunami lokal (jarak dekat) dan tsunami distan (jarak jauh).

Daya hancur tsunami tergantung pada 3 faktor: **inundasi** (penggenangan), **kekuatan bangunan/struktur**, dan **erosi**. Tsunami dapat menyebabkan erosi pada fondasi bangunan dan menghancurkan jembatan dan *seawall* (struktur penahan gelombang yang sejajar garis pantai). Daya apung dan daya seret dapat memindahkan rumah dan membalik mobil-mobil. Benda-benda yang dibawa oleh tsunami tersebut juga menjadi "peluru" yang sangat berbahaya sebab bisa menghantam bangunan atau benda lainnya. Kebakaran bisa pula terjadi sebagai bahaya sekunder dan menyebabkan kerugian yang lebih besar lagi. Kerusakan sekunder lainnya adalah polusi fisik atau kimia akibat kerusakan yang telah terjadi.

Mitigasi Tsunami

Mitigasi meliputi segala tindakan yang mencegah bahaya, mengurangi kemungkinan terjadinya bahaya, dan mengurangi daya rusak suatu bahaya yang tidak dapat dihindarkan. Mitigasi adalah dasar manajemen situasi darurat. Mitigasi dapat didefinisikan sebagai "*aksi yang mengurangi atau menghilangkan resiko jangka panjang bahaya bencana alam dan akibatnya terhadap manusia dan harta-benda*" (FEMA, 2000). Mitigasi adalah usaha yang dilakukan oleh segala pihak terkait pada tingkat negara, masyarakat dan individu.

Untuk mitigasi bahaya tsunami atau untuk bencana alam lainnya, sangat diperlukan ketepatan dalam menilai kondisi alam yang terancam, merancang dan menerapkan teknik peringatan bahaya, dan mempersiapkan daerah yang terancam untuk mengurangi dampak negatif dari bahaya tersebut. Ketiga langkah penting tersebut: 1) **penilaian bahaya** (*hazard assessment*), 2) **peringatan** (*warning*), dan 3) **persiapan** (*preparedness*) adalah unsur utama model mitigasi. Unsur kunci lainnya yang tidak terlibat langsung dalam mitigasi tetapi sangat mendukung adalah **penelitian** yang terkait (*tsunami-related research*).

1. Penilaian Bahaya (*Hazard Assessment*)

Unsur pertama untuk mitigasi yang efektif adalah penilaian bahaya. Untuk setiap komunitas pesisir, penilaian bahaya tsunami diperlukan untuk mengidentifikasi populasi dan aset yang terancam, dan tingkat ancaman (level of risk). Penilaian ini membutuhkan pengetahuan tentang karakteristik sumber tsunami, probabilitas kejadian, karakteristik tsunami dan karakteristik morfologi dasar laut dan garis pantai. Untuk beberapa komunitas, data dari tsunami yang pernah terjadi dapat membantu kuantifikasi faktor-faktor tersebut. Untuk komunitas yang tidak atau hanya sedikit memiliki data dari masa lalu, model numerik tsunami dapat memberikan perkiraan. Tahapan ini umumnya menghasilkan **peta potensi bahaya tsunami** (contoh pada gambar 5) yang sangat penting untuk memotivasi dan merancang kedua unsur mitigasi lainnya, peringatan dan persiapan.

1.1. Data rekaman tsunami (*Historical tsunami data*)

Rekaman data umumnya tersedia dalam banyak bentuk dan di banyak tempat. Format yang ada mencakup publikasi dan katalog manuskrip, laporan penyelidikan lapangan, pengalaman pribadi, berita koran, rekaman film dan video. Salah satu instansi riset penyimpan data terbesar adalah International Tsunami Information Center di Honolulu, Hawaii.

1.2. Data paleotsunami

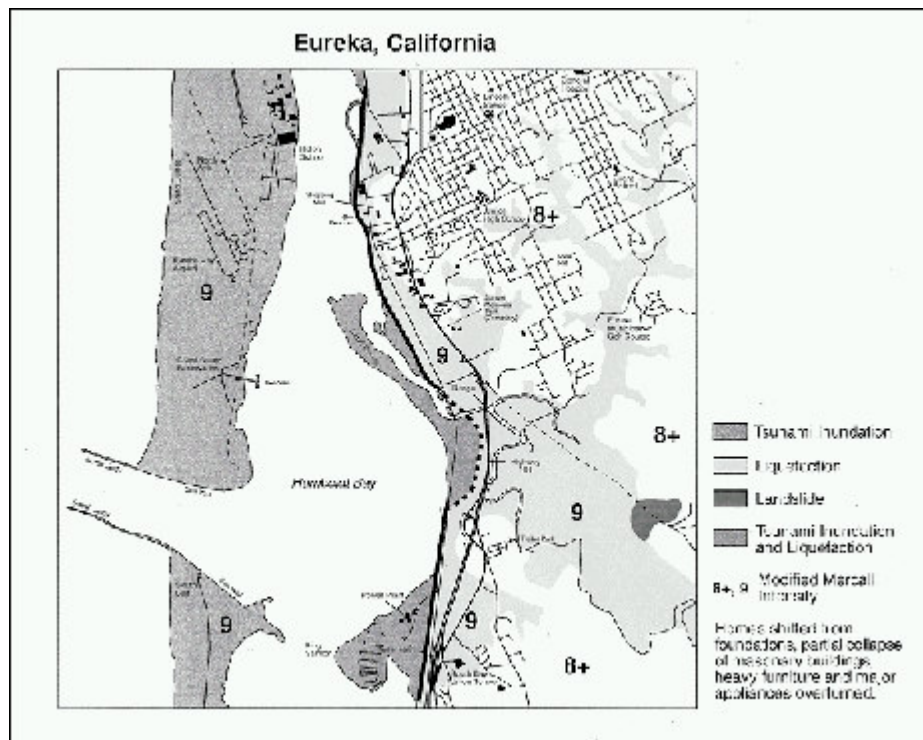
Penelitian paleotsunami juga dapat dilakukan pada endapan tsunami di daerah pesisir dan bukti-bukti lainnya yang terkait dengan pergeseran sesar penyebab gempabumi tsunamigenik.

1.3. Penyelidikan pasca tsunami

Survey penyelidikan pasca tsunami dilakukan mengikuti suatu peristiwa tsunami yang baru terjadi untuk mengukur batas inundasi dan merekam keterangan saksi mata mengenai jumlah gelombang, waktu kedatangan gelombang, dan gelombang mana yang terbesar.

1.4. Pemodelan numerik

Seringkali karena rekaman data minimal, satu-satunya jalan untuk menentukan daerah potensi bahaya adalah menggunakan pemodelan numerik. Model dapat dimulai dari skenario terburuk. Informasi ini kemudian menjadi dasar pembuatan peta evakuasi tsunami dan prosedurnya.



Gambar 5. Contoh peta zonasi potensi bencana tsunami Eureka, California, dibuat dengan pemodelan numerik. Peta ini juga memperlihatkan potensi gempa bumi, inundasi, tanah longsor yang harus diperhitungkan ketika merancang rute evakuasi (ITSU, 1999).

KLIPING MEDIA

2. Peringatan (warning)

<http://www.geocities.com/klipingmedia>

Unsur kunci kedua untuk mitigasi tsunami yang efektif adalah suatu sistem peringatan untuk memberi peringatan kepada komunitas pesisir tentang bahaya tsunami yang tengah mengancam. Sistem peringatan didasarkan kepada data gempa bumi sebagai peringatan dini, dan data perubahan muka airlaut untuk konfirmasi dan pengawasan tsunami. Sistem peringatan juga mengandalkan berbagai saluran komunikasi untuk menerima data seismik dan perubahan muka airlaut, dan untuk memberikan pesan kepada pihak yang berwenang. Pusat peringatan (*warning center*) haruslah: 1) **cepat** – memberikan peringatan secepat mungkin setelah pembentukan tsunami potensial terjadi, 2) **tepat** – menyampaikan pesan tentang tsunami yang berbahaya seraya mengurangi peringatan yang keliru, dan 3) **dipercaya** – bahwa sistem bekerja terus-menerus, dan pesan mereka disampaikan dan diterima secara langsung dan mudah dipahami oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

2.1. Data

Sistem peringatan membutuhkan data seismik dan muka airlaut setiap saat secara cepat (*real* atau *near-real time*). Sistem ini juga membutuhkan rekaman data gempa bumi dan tsunami yang pernah terjadi. Kedua jenis data tersebut dipergunakan untuk dapat secara cepat mendeteksi dan melokalisasi gempa bumi tsunamigenik potensial, untuk mengkonfirmasi apakah tsunami telah terbentuk, dan untuk memperkirakan dampak potensial terhadap daerah pesisir yang menjadi tanggungjawabnya.

2.1.1. Data seismik

Sinyal seismik - getaran dari gempa bumi yang bergerak secara cepat melalui kulit bumi - dipergunakan oleh pusat peringatan untuk mendeteksi terjadinya gempa bumi, dan kemudian untuk menentukan lokasi dan skalanya. Berdasarkan informasi tersebut, statistik *likelihood* tsunami yang terbentuk dapat diperkirakan secara cepat, dan peringatan dini atau informasi yang sesuai dapat dikeluarkan.

Seismometer standard periode pendek (0.5-2 *sec/cycle*) dan periode panjang (18-22 *sec/cycle*) menghasilkan data untuk menentukan lokasi dan skala gempa bumi. Seismometer skala luas -- *broadband seismometers* (0.01-100 *sec/cycle*) dapat pula dipergunakan untuk kedua tujuan diatas dan juga untuk penghitungan momen seismik yang sangat berguna untuk menyempurnakan analisis data yang dilakukan.

2.1.2. Data muka airlaut

Pengukur variasi muka laut (*water-level gauges*) adalah instrumen yang sangat penting dalam sistem peringatan tsunami. Mereka dipergunakan untuk konfirmasi secara cepat tentang kehadiran atau tidaknya suatu tsunami mengikuti peristiwa gempabumi, untuk mengamati perkembangan tsunami, untuk membantu estimasi tingkat bahaya, dan menyediakan alasan untuk memutuskan bahaya telah berlalu. *Gauges* kadangkala merupakan satu-satunya cara untuk mendeteksi tsunami ketika data seismik tidak mendukung, atau bila tsunami bukan disebabkan oleh gempabumi.

Untuk bisa memberikan peringatan secara efektif, *gauges* perlu diletakkan di dekat sumber tsunami sehingga konfirmasi secara cepat diperoleh, apakah tsunami telah terbentuk atau tidak, dan perkiraan awal mengenai ukuran tsunami. Mereka harus pula diletakkan diantara sumber dan daerah pesisir yang terancam untuk memonitor perkembangannya dan membantu memprediksi dampaknya. Untuk tsunami lokal, *gauges* dibutuhkan di sepanjang garis pantai untuk memperoleh konfirmasi tercepat dan untuk evaluasi.

2.1.3. Data rekaman tsunami dan gempabumi

Pusat peringatan membutuhkan akses cepat kepada data rekaman tsunami dan gempabumi untuk membantu memperkirakan apakah suatu gempabumi dari suatu lokasi dapat menyebabkan tsunami, dan apakah tsunami tersebut berbahaya bagi daerah tanggung jawab mereka. Sebagai contoh, adalah sangat berguna untuk mengetahui bila zona subduksi pada suatu daerah pernah mengalami gempabumi berskala 8 tetapi tidak pernah menghasilkan tsunami. Juga sangat berguna untuk mengetahui karakteristik rekaman data muka airlaut untuk tsunami yang berbahaya dan yang tidak berbahaya pada suatu daerah.

2.1.4. Data model numerik

Dewasa ini, pusat peringatan mulai mempergunakan data dari model numerik untuk memberikan panduan dalam prediksi tingkat bahaya tsunami berdasarkan parameter gempabumi dan data muka airlaut tertentu.

2.1.5. Data lainnya

Jenis data lainnya yang diperlukan oleh pusat peringatan adalah seperti data letusan gunungapi atau tanah longsor yang terjadi di dekat tubuh airlaut.

2.2. Komunikasi

Sistem peringatan tsunami membutuhkan komunikasi yang unik dan ekstensif. Data seismik dan perubahan muka airlaut harus dikirim dari lokasi secara cepat dan dapat dipercaya oleh penerima.

2.2.1 Akses data *real time*

Data seismik dan perubahan muka airlaut supaya berguna haruslah dapat diterima secara cepat real atau very near real time. Banyak teknik komunikasi yang bisa dipergunakan, seperti radio VHF, gelombang mikro, transmisi satelit.

2.2.2. Penyebaran pesan

Penyampaian pesan kepada para pengguna juga sama pentingnya sebagaimana mendapatkan data secara real time. Penyampaian pesan dapat secara cepat dilakukan melalui *Global Telecommunications System* (GTS) atau *Aeronautical Fixed Telecommunications Network* (AFTN). Pesan dapat pula disampaikan secara konvensional melalui e-mail, telpon atau fax.

3. Persiapan

Kegiatan kategori ini tergantung pada penilaian bahaya dan peringatan. Persiapan yang layak terhadap peringatan bahaya tsunami membutuhkan pengetahuan tentang daerah yang kemungkinan terkena bahaya (peta inundasi tsunami) dan pengetahuan tentang sistem peringatan untuk mengetahui kapan harus mengevakuasi dan kapan saatnya kembali ketika situasi telah aman. Tanpa kedua pengetahuan akan muncul kemungkinan kegagalan mitigasi bahaya tsunami. Tingkat kepedulian publik dan pemahamannya terhadap tsunami juga sangat penting. Jenis persiapan lainnya adalah perencanaan tata ruang yang menempatkan lokasi fasilitas vital masyarakat seperti sekolah, kantor polisi dan pemadam kebakaran, rumah sakit berada diluar zona bahaya. Usaha-usaha keteknikan untuk membangun struktur yang tahan terhadap tsunami, melindungi bangunan yang telah ada dan menciptakan *breakwater* penghalang tsunami juga termasuk bagian dari persiapan.

3.1. Evakuasi

Rencana evakuasi dan prosedurnya umumnya dikembangkan untuk tingkat lokal, karena rencana ini membutuhkan pengetahuan detil tentang populasi dan fasilitas yang terancam bahaya, dan potensi lokal yang dapat diterapkan untuk mengatasi masalah. Tsunami lokal hampir tidak menyediakan waktu yang cukup untuk peringatan formal dan disertai gempabumi, sementara tsunami distan mungkin memberi waktu beberapa jam untuk persiapan sebelum gelombang yang pertama tiba. Sehingga persiapan evakuasi dan

prosedurnya harus disiapkan untuk kedua skenario tersebut.

3.1.1. Evakuasi untuk tsunami lokal

Ketika tsunami lokal terjadi, satu-satunya tanda yang ada mungkin hanyalah guncangan gempa bumi, atau suatu kondisi yang tidak biasa pada tubuh airlaut. Masyarakat harus mampu mengenali tanda-tanda bahaya tersebut, kemudian pindah segera dan secepatnya ke arah darat atau ke arah dataran tinggi karena gelombang tsunami dapat menghantam dalam hitungan menit. Para pengungsi juga menghadapi bahaya yang disebabkan oleh gempa bumi seperti tanah longsor, runtuhnya bangunan dan jembatan yang mungkin menghambat usaha mereka dalam menyelamatkan diri. Untuk itu diperlukan sekali kepedulian publik dan pendidikan tentang tsunami dan kemungkinan bahaya yang mengikuti. Hal ini juga membutuhkan perencanaan resmi tentang zona bahaya dan rute evakuasi yang aman. Kunci utama untuk memotivasi pendidikan publik adalah pemahaman tentang bahaya tsunami dan dimana kemungkinan banjir tsunami tersebut terjadi.

3.1.2. Evakuasi untuk tsunami distan.

Pada kasus tsunami distan, pihak yang berwenang masih memiliki waktu yang cukup untuk mengorganisir evakuasi. Mengikuti peringatan dari pusat peringatan bahwa tsunami telah terbentuk dan waktu kedatangan gelombang pertama telah diketahui, pihak yang berwenang membuat keputusan tentang apakah evakuasi diperlukan. Keputusan ini didasarkan kepada data rekaman atau model tentang ancaman dari sumber tsunami dan panduan lebih lanjut dari pusat peringatan tentang pergerakan tsunami. Masyarakat diinformasikan tentang bahaya yang mengancam, dan diinstruksikan tentang bagaimana, kemana, dan kapan harus mengungsi. Badan-badan pelayanan masyarakat seperti polisi, pemadam kebakaran dan tentara, difungsikan untuk membantu kelancaran pengungsian. Zona evakuasi dan rute pengungsian harus ditentukan secara aman, masyarakat harus cukup diberi pengarahan tentang bahaya tsunami dan prosedur evakuasi, sehingga mereka tidak tetap berada di tempat tinggal ketika tsunami datang atau telah kembali ketika ancaman masih belum berakhir. Evakuasi yang tidak perlu harus dikurangi untuk menjaga kepercayaan publik terhadap sistem.

3.2. Pendidikan

Mitigasi tsunami harus mengandung rencana untuk meningkatkan pemahaman dan pengetahuan oleh masyarakat luas, pemerintah lokal, dan para pembuat kebijakan tentang sifat-sifat tsunami, kerusakan dan bahaya yang disebabkan dan langkah-langkah yang diperlukan untuk mengurangi bahaya.

3.2.1 Pendidikan publik.

Pendidikan publik yang dilaksanakan akan efektif bila ikut memperhitungkan bahasa dan budaya lokal, ada-istiadat, praktek keagamaan, hubungan masyarakat dengan kekuasaan, dan pengalaman tsunami masa lalu.

3.2.2. Pendidikan untuk para operator sistem peringatan, manager bencana alam, dan pembuat kebijakan.

Operator sistem peringatan, manager bencana alam, dan pembuat kebijakan harus memenuhi suatu tingkat pendidikan dan pemahaman terhadap bahaya tsunami. Sebab tsunami, baik lokal maupun distan, jarang terjadi pada suatu daerah tertentu, sehingga orang-orang kunci tersebut tidak memiliki pengalaman pribadi terhadap fenomena yang menjadi dasar keputusan menyangkut persiapan atau tindakan yang harus dilakukan ketika bahaya tersebut menimpa.

3.3. Tata guna lahan

Sebagai konsekuensi pertumbuhan penduduk global, daerah pesisir yang rawan tsunami berkembang dengan cepat. Karena tidak mungkin untuk menghentikan pembangunan, sebaiknya dilakukan pencegahan pembangunan fasilitas umum pada zona rawan bencana tsunami, seperti sekolah, polisi, pemadam kebakaran dan rumah sakit yang memiliki arti penting bagi populasi ketika bahaya sewaktu-waktu terjadi. Sebagai tambahan, hotel dan penginapan juga perlu ditempatkan pada lokasi yang sesuai dengan prosedur evakuasi untuk memberikan keamanan kepada para tamunya.

3.4. Keteknikan

Keteknikan dapat membantu mitigasi tsunami. Bangunan dapat diperkuat sehingga tahan terhadap tekanan gelombang dan arus yang kuat. Fondasi struktur dapat dikonstruksikan menahan erosi dan penggerusan oleh arus. Lantai dasar suatu bangunan dapat dibuat terbuka sehingga mampu membiarkan airlaut melintas, hal ini menolong mengurangi sifat penggerusan arus pada fondasi. Bagian penting dari suatu bangunan seperti generator cadangan, motor elevator dapat ditempatkan pada lantai yang tidak terkena banjir. Benda-benda berat berbahaya seperti tanki yang dapat hanyut terbawa banjir sebaiknya ditanamkan ke tanah. Sistem transportasi dikonstruksikan atau dimodifikasi sehingga mampu memfasilitasi evakuasi massal secara cepat keluar dari daerah bahaya. Beberapa struktur penahan gelombang laut seperti

seawall, sea dikes, breakwaters, river gates, juga mampu menahan atau mengurangi tekanan tsunami.

4. Penelitian

Meskipun tidak terkait langsung dengan aktivitas mitigasi, penelitian yang terkait dengan tsunami sangatlah penting untuk meningkatkan kualitas mitigasi. Riset yang menyelidiki bukti-bukti paleotsunami, mengembangkan database, kuantifikasi dampak bahaya tsunami, atau pemodelan numerik dapat meningkatkan tingkat akurasi penilaian bahaya. Teknik sistem peringatan untuk penilaian cepat dan akurat bahaya gempa bumi tsunamigenik potensial dari data seismik dan instrumen pengukur muka air laut dikembangkan melalui riset. Penelitian juga mampu meningkatkan cara pendidikan publik sehingga tingkat kepedulian masyarakat akan bahaya tsunami meningkat. Menciptakan prosedur evakuasi yang efektif juga membutuhkan riset tersendiri tentang bahaya susulan, terutama pada kasus tsunami lokal. Penelitian juga memberikan panduan perencanaan tata ruang dalam zona inundasi potensial. Demikian juga halnya riset mengenai sifat keteknikan untuk meningkatkan daya tahan struktur dan infrastruktur terhadap tekanan tsunami.

Penutup

Bencana tsunami senantiasa mengintai masyarakat pesisir Indonesia, karena kepulauan Indonesia tergolong sebagai daerah gempa aktif. Untuk itu masyarakat diminta mempersiapkan diri dalam menghadapi ancaman tersebut dan pihak yang berwenang harus dengan serius melakukan program mitigasi bencana tsunami.

Salah satu tahapan paling penting yang harus segera dilakukan dalam mitigasi adalah pembuatan **peta (zonasi) daerah rawan tsunami**. Pembuatan peta tersebut membutuhkan pengetahuan tentang: 1) kemungkinan sumber tsunami dan karakteristiknya, 2) karakteristik tsunami, 3) probabilitas kejadian, dan 4) karakteristik morfologi dasar laut dan garis pantai. Pembuatan peta tersebut juga membutuhkan data rekaman tsunami dan/atau data paleotsunami. Apabila data-data tersebut tidak tersedia secara lengkap, seperti di Indonesia, maka pemodelan numerik merupakan jalan keluar yang menarik.

Referensi:

- Federal Emergency Management Agency (FEMA)., 2000, **What Is Mitigation?**, *Mitigation: Reducing Risk through Mitigation*. Washington.
- Frank I. González, 1999, **Tsunami!**, *Scientific American*, May ed..
- Hamilton, W., 1979, **Tectonics of the Indonesian Region**, U.S. Geological Survey Prof. Paper 1078.
- International Coordination Group for the Tsunami Warning System in the Pacific (ITSU)., 1999, **Master Plan**, UNESCO – Intergovernmental Oceanographic Commission.
- Kious and Tilling, 1996, **This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics**, USGS General Interest Publication.
- Kompas, 9 Mei 2000, *Korban Gempa Banggai Terus Bertambah*.
- Kompas, 30 Juni 2000, *Mendesak, Rehabilitasi 16.900 Rumah Korban Gempa Bengkulu*.
- Simkin and Siebert, 1994, **Volcanoes of the World**, Smithsonian Institution, Global Volcanism Program, Geoscience Press, Inc., Arizona, 349p.

KLIPING MEDIA

<http://www.geocities.com/klippingmedia>

http://www.geocities.com/shddin/Mitigasi_Tsunami/Mitigasi_Tsunami.htm