

Tsunami

Oleh: Ir. Yakub Malik, M.Pd.

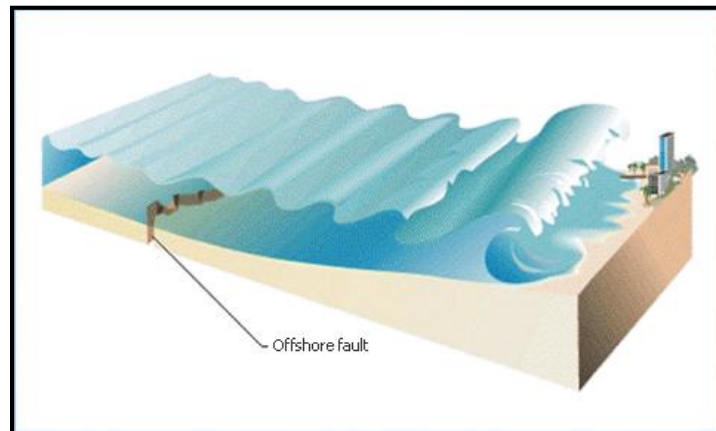
Jurusan Pendidikan Geografi UPI

A. TERMINOLOGI TSUNAMI

Istilah tsunami berasal dari bahasa Jepang. *Tsu* berarti "pelabuhan", dan *nami* berarti "gelombang", sehingga tsunami dapat diartikan sebagai "gelombang pelabuhan". Istilah ini pertama kali muncul di kalangan nelayan Jepang. Karena panjang gelombang tsunami sangat besar pada saat berada di tengah laut, para nelayan tidak merasakan adanya gelombang ini. Namun setibanya kembali ke pelabuhan, mereka mendapati wilayah di sekitar pelabuhan tersebut rusak parah. Karena itulah mereka menyimpulkan bahwa gelombang tsunami hanya timbul di wilayah sekitar pelabuhan, dan tidak di tengah lautan yang dalam.

Gambar 2.1.

Terminologi
(Sumber :



Tsunami

(disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

Tsunami adalah sebuah ombak yang terjadi setelah sebuah gempa bumi, gempa laut, gunung berapi meletus, atau hantaman meteor di laut. Tsunami tidak terlihat saat masih berada jauh di tengah lautan, namun begitu mencapai wilayah dangkal, gelombangnya yang bergerak cepat ini akan semakin membesar. Tenaga setiap tsunami adalah tetap terhadap fungsi ketinggian dan kelajuannya. Apabila gelombang menghampiri pantai, ketinggiannya meningkat sementara

kelajuannya menurun. Gelombang tersebut bergerak pada kelajuan tinggi, hampir tidak dapat dirasakan efeknya oleh kapal laut (misalnya) saat melintasi di laut dalam, tetapi meningkat ketinggian hingga mencapai 30 meter atau lebih di daerah pantai. Tsunami bisa menyebabkan kerusakan erosi dan korban jiwa pada kawasan pesisir pantai dan kepulauan.

Tsunami juga sering dianggap sebagai gelombang air pasang. Hal ini terjadi karena pada saat mencapai daratan, gelombang tsunami lebih menyerupai air pasang yang tinggi daripada menyerupai ombak biasa yang mencapai pantai secara alami oleh tiupan angin. Namun sebenarnya gelombang tsunami sama sekali tidak berkaitan dengan peristiwa pasang surut air laut. Karena itu untuk menghindari pemahaman yang salah, para ahli oseanografi sering menggunakan istilah gelombang laut seismik (*seismic sea wave*) untuk menyebut tsunami, yang secara ilmiah lebih akurat.

Dampak negatif yang diakibatkan tsunami adalah merusak apa saja yang dilaluinya. Bangunan, tumbuh-tumbuhan, dan mengakibatkan korban jiwa manusia serta menyebabkan genangan, pencemaran air asin lahan pertanian, tanah, dan air bersih.

Gambar 2.2.
Kerusakan yang
Tsunami
(Sumber :



Diakibatkan

www.tsunamis.com)

Tinggi tsunami pada saat mendekati pantai akan mengalami perbesaran karena adanya penumpukan massa air akibat adanya penurunan kesempatan penjalaran. Tinggi tsunami yang ada di laut dalam hanya sekitar 1 - 2 meter, saat mendekati pantai dapat mencapai tinggi puluhan meter. Tinggi diantaranya sangat ditentukan oleh karakteristik sumber pembangkit tsunami, morfologi dasar laut, serta bentuk pantai. Tinggi tsunami hasil survey satgas ITB diantaranya Banda Aceh 6 -12 meter, Lhoknga sekitar 15 - 20 meter, dan Meulaboh sekitar 8- 16 meter. Kerusakan yang diakibatkan tsunami biasanya disebabkan oleh dua penyebab utama, yaitu (a) terjangan gelombang tsunami, dan (b) kombinasi akibat guncangan gempa dan terjangan gelombang tsunami.

Bukti menunjukkan bahwa tidak mustahil terjadinya megatsunami, yang menyebabkan beberapa pulau tenggelam. Berikut ini adalah beberapa negara di dunia yang pernah dilanda Tsunami dalam kurun waktu (365 – 2007) :

- Gelombang raksasa paling tua yang pernah diketahui akibat gempa di laut, yang diberi nama "tsunami" oleh orang Jepang dan "hungtao" oleh orang Cina, adalah yang terjadi di Laut Tengah sebelah timur pada tanggal 21 Juli 365 M dan menewaskan ribuan orang di kota Iskandariyah, Mesir.
- Ibukota Portugal hancur akibat gempa dahsyat Lisbon pada tanggal 1 November 1775. Gelombang samudera Atlantik yang mencapai ketinggian 6 meter meluluhlantakkan pantai-pantai di Portugal, Spanyol dan Maroko.
- 27 Agustus 1883: Gunung berapi Krakatau di Indonesia meletus dan gelombang tsunami yang menyapu pantai-pantai Jawa dan Sumatra menewaskan 36.000 orang. Letusan gunung berapi tersebut sungguh dahsyat sehingga selama bermalam-malam langit bercahaya akibat debu lava berwarna merah.
- 15 Juni 1896: "Tsunami Sanriku" menghantam Jepang. Tsunami raksasa berketinggian 23 meter tersebut menyapu kerumunan orang yang berkumpul dalam perayaan agama dan menelan 26.000 korban jiwa.
- 17 Desember 1896: Tsunami merusak bagian pematang Santa Barbara di California, Amerika Serikat, dan menyebabkan banjir di jalan raya utama.
- 31 Januari 1906: Gempa di samudera Pasifik menghancurkan sebagian kota Tumaco di Kolombia, termasuk seluruh rumah di pantai yang terletak di antara Rioverde di Ekuador dan Micay di Kolombia; 1.500 orang meninggal dunia.
- 1 April 1946: Tsunami yang menghancurkan mercu suar Scotch Cap di kepulauan Aleut beserta lima orang penjaganya, bergerak menuju Hilo di Hawaii dan menewaskan 159 orang.
- Pada tahun 1958 : Gelombang tsunami tertinggi yang tercatat sampai saat ini adalah tsunami di Alaska yang disebabkan oleh amblesnya lempeng tektonik di Teluk Lituya. Tsunami ini memiliki ketinggian lebih dari 500 meter dan menghancurkan pohon-pohon dan tanah pada dinding *fjord*.
- 22 Mei 1960: Tsunami berketinggian 11 meter menewaskan 1.000 orang di Cili dan 61 orang di Hawaii. Gelombang raksasa melintas hingga ke pantai samudera Pasifik dan mengguncang Filipina dan pulau Okinawa di Jepang.
- 28 Maret 1964: Tsunami "Good Friday" di Alaska menghapuskan tiga desa dari peta dengan 107 warga tewas, dan 15 orang meninggal dunia di Oregon dan California.
- 16 Agustus 1976: Tsunami di Pasifik menewaskan 5.000 orang di Teluk Moro, Filipina.

- 17 Juli 1998: Gelombang laut akibat gempa yang terjadi di Papua New Guinea bagian utara menewaskan 2.313 orang, menghancurkan 7 desa dan mengakibatkan ribuan orang kehilangan tempat tinggal.
- 26 Desember 2004: Gempa berkekuatan 8,9 pada skala Richter dan gelombang laut raksasa yang melanda enam negara di Asia Tenggara menewaskan lebih dari 156.000 orang.
- 17 Juli 2006, Gempa yang menyebabkan tsunami terjadi di selatan pulau Jawa, Indonesia, dan setinggi maksimum ditemukan 21 meter di Pulau Nusakambangan. Memakan korban jiwa lebih dari 500 orang.
- 12 September 2007, Bengkulu, M8.4, Memakan korban jiwa 3 orang. Ketinggian tsunami 3-4 m.

B. PENYEBAB TERJADINYA TSUNAMI

Tsunami dapat dipicu oleh bermacam-macam gangguan (*disturbance*) berskala besar terhadap air laut, misalnya gempa bumi, pergeseran lempeng, meletusnya gunung berapi di bawah laut, atau tumbukan benda langit. Namun, 90% tsunami adalah akibat gempa bumi bawah laut. Dalam rekaman sejarah beberapa tsunami diakibatkan oleh gunung meletus, misalnya ketika meletusnya Gunung Krakatau. Tsunami dapat terjadi apabila dasar laut bergerak secara tiba-tiba dan mengalami perpindahan vertikal.

Gerakan vertikal pada kerak bumi, dapat mengakibatkan dasar laut naik atau turun secara tiba-tiba, yang mengakibatkan gangguan kesetimbangan air yang berada di atasnya. Hal ini mengakibatkan terjadinya aliran energi air laut, yang ketika sampai di pantai menjadi gelombang besar yang mengakibatkan terjadinya tsunami.

Kecepatan gelombang tsunami tergantung pada kedalaman laut di mana gelombang terjadi, dimana kecepatannya bisa mencapai ratusan kilometer per jam. Apabila tsunami mencapai pantai, kecepatannya akan menjadi kurang lebih 50 km/jam dan energinya sangat merusak daerah pantai yang dilaluinya. Di tengah laut tinggi gelombang tsunami hanya beberapa cm hingga beberapa meter, namun saat mencapai pantai tinggi gelombangnya bisa mencapai puluhan meter karena terjadi penumpukan masa air. Saat mencapai pantai tsunami akan merayap masuk daratan jauh dari garis pantai dengan jangkauan mencapai beberapa ratus meter bahkan bisa beberapa kilometer.

Gerakan vertikal ini dapat terjadi pada patahan bumi atau sesar. Gempa bumi juga banyak terjadi di daerah subduksi, dimana lempeng samudera menelusup ke bawah lempeng benua.

Tanah longsor yang terjadi di dasar laut serta runtuhnya gunung api juga dapat mengakibatkan gangguan air laut yang dapat menghasilkan tsunami. Gempa yang menyebabkan gerakan tegak lurus lapisan bumi. Akibatnya, dasar laut naik-turun secara tiba-tiba sehingga keseimbangan air laut yang berada di atasnya terganggu. Demikian pula halnya dengan benda kosmis atau meteor yang jatuh dari atas. Jika ukuran meteor atau longsor ini cukup besar, dapat terjadi megatsunami yang tingginya mencapai ratusan meter.

Beberapa penyebab terjadinya tsunami akan dijelaskan sebagai berikut :

- **Longsor Lempeng Bawah Laut (*Undersea landslides*)**

Gerakan yang besar pada kerak bumi biasanya terjadi di perbatasan antar lempeng tektonik. Celah retakan antara kedua lempeng tektonik ini disebut dengan sesar (*fault*). Sebagai contoh, di sekeliling tepian Samudera Pasifik yang biasa disebut dengan Lingkaran Api (*Ring of Fire*), lempeng samudera yang lebih padat menunjam masuk ke bawah lempeng benua. Proses ini dinamakan dengan penunjaman (*subduction*). Gempa subduksi sangat efektif membangkitkan gelombang tsunami.

- **Gempa Bumi Bawah Laut (*Undersea Earthquake*)**

Gempa tektonik merupakan salah satu gempa yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng bumi. Jika gempa semacam ini terjadi di bawah laut, air di atas wilayah lempeng yang bergerak tersebut berpindah dari posisi ekuilibriumnya. Gelombang muncul ketika air ini bergerak oleh pengaruh gravitasi kembali ke posisi ekuilibriumnya. Apabila wilayah yang luas pada dasar laut bergerak naik ataupun turun, tsunami dapat terjadi.

Berikut ini adalah beberapa persyaratan terjadinya tsunami yang diakibatkan oleh gempa bumi :

- a. Gempa bumi yang berpusat di tengah laut dan dangkal (0 – 30 km)
- b. Gempa bumi dengan kekuatan sekurang-kurangnya 6,5 Skala Richter
- c. Gempa bumi dengan pola sesar naik atau sesar turun

Tidak semua gempa menghasilkan tsunami, hal ini tergantung beberapa faktor utama seperti tipe sesaran (*fault type*), kemiringan sudut antar lempeng (*dip angle*), dan kedalaman pusat gempa (*hypocenter*). Gempa dengan karakteristik tertentu akan menghasilkan tsunami yang sangat berbahaya dan mematikan, yaitu:

1. Tipe sesaran naik (*thrust/ reverse fault*).

Tipe ini sangat efektif memindahkan volume air yang berada di atas lempeng untuk bergerak sebagai awal lahirnya tsunami.

2. Kemiringan sudut tegak antar lempeng yang bertemu.

Semakin tinggi sudut antar lempeng yang bertemu. (mendekati 90°), maka semakin efektif tsunami yang terbentuk.

3. Kedalaman pusat gempa yang dangkal (<70 km).

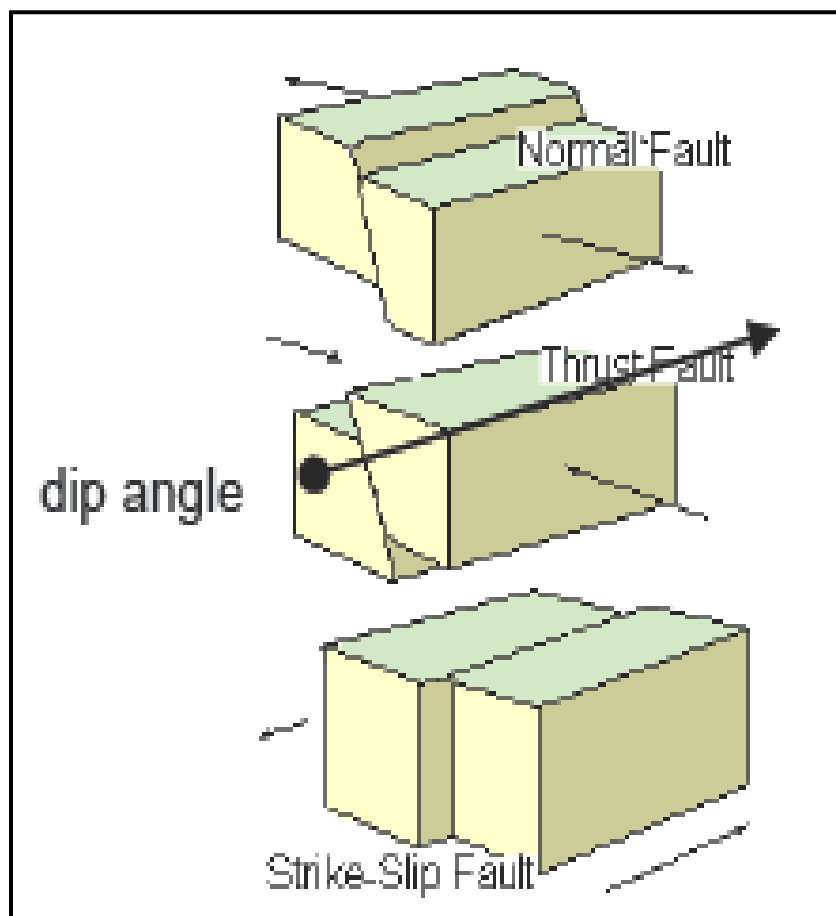
Semakin dangkal kedalaman pusat gempa, maka semakin efektif tsunami yang ditimbulkan. Sebagai ilustrasi, meski kekuatan gempa relative kecil (6.0-7.0R), tetapi dengan terpenuhinya ketiga syarat diatas, kemungkinan besar tsunami akan terbentuk. Sebaliknya, meski kekuatan gempa cukup besar (>7.0R) dan dangkal, tetapi kalau tipe sesarnya bukan naik, namun normal (*normal fault*) atau sejajar (*strike slip fault*), bisa dipastikan tsunami akan sulit terbentuk. Gempa dengan kekuatan 7.0R, dengan tipe sesaran naik dan dangkal, bisa membentuk tsunami dengan ketinggian mencapai 3-5 meter.

Gambar 2.3.

*Jenis Jenis
Lempeng
(Sumber :
2005)*

- **Aktivitas
(Volcanic**

lempeng
selain



Sesaran

Sutowijoyo,

**Vulkanik
Activities)**

Pergeseran
di dasar laut,
dapat

mengakibatkan gempa juga seringkali menyebabkan peningkatan aktivitas vulkanik pada gunung berapi. Kedua hal ini dapat menggoncangkan air laut di atas lempeng tersebut.

Demikian pula, meletusnya gunung berapi yang terletak di dasar samudera juga dapat menaikkan air dan membangkitkan gelombang tsunami.

- **Tumbukan Benda Luar Angkasa (*Cosmic-body Impacts*)**

Tumbukan dari benda luar angkasa seperti meteor merupakan gangguan terhadap air laut yang datang dari arah permukaan. Tsunami yang timbul karena sebab ini umumnya terjadi sangat cepat dan jarang mempengaruhi wilayah pesisir yang jauh dari sumber gelombang. Sekalipun begitu, apabila pergerakan lempeng dan tabrakan benda angkasa luar cukup dahsyat, kedua peristiwa ini dapat menciptakan megatsunami.

C. KARAKTERISTIK TSUNAMI

Perilaku gelombang tsunami sangat berbeda dari ombak laut biasa. Gelombang tsunami bergerak dengan kecepatan tinggi dan dapat merambat lintas-samudera dengan sedikit energi berkurang. Tsunami dapat menerjang wilayah yang berjarak ribuan kilometer dari sumbernya, sehingga mungkin ada selisih waktu beberapa jam antara terciptanya gelombang ini dengan bencana yang ditimbulkannya di pantai. Waktu perambatan gelombang tsunami lebih lama dari waktu yang diperlukan oleh gelombang seismik untuk mencapai tempat yang sama.

Periode tsunami cukup bervariasi, mulai dari 2 menit hingga lebih dari 1 jam. Panjang gelombangnya sangat besar, antara 100-200 km. Bandingkan dengan ombak laut biasa di pantai selancar (*surfing*) yang mungkin hanya memiliki periode 10 detik dan panjang gelombang 150 meter. Karena itulah pada saat masih di tengah laut, gelombang tsunami hampir tidak nampak dan hanya terasa seperti ayunan air saja. Berikut ini merupakan perbandingan gelombang tsunami dan ombak laut biasa :

Tabel 2.1.

Perbandingan Gelombang Tsunami dengan Ombak Laut Biasa
(Sumber : disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

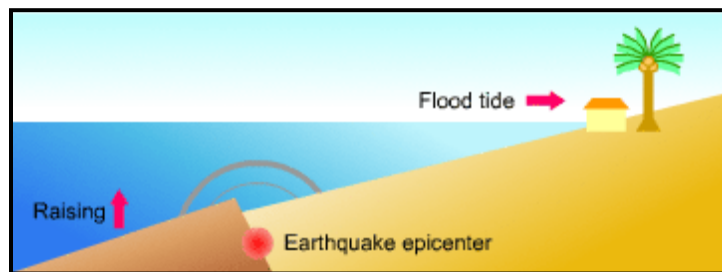
Perbandingan Gelombang Tsunami dan Ombak Laut Biasa		
Parameter	Gelombang Tsunami	Ombak Biasa
Periode gelombang	2 menit — > 1 jam	± 10 detik
Panjang gelombang	100 — 200 km	150 m

Kecepatan tsunami bergantung kepada kedalaman air. Di laut dalam dan terbuka, kecepatannya mencapai 800-1000 km/ jam. Ketinggian tsunami di lautan dalam hanya mencapai 30-60 cm, dengan panjang gelombang mencapai ratusan kilometer, sehingga keberadaan mereka di laut

dalam susah dibedakan dengan gelombang biasa, bahkan tidak dirasakan oleh kapal-kapal yang sedang berlabuh di tengah samudera. Berbeda dengan gelombang karena angin, dimana hanya bagian permukaan atas yang bergerak; gelombang tsunami mengalami pergerakan diseluruh bagian partikel air, mulai dari permukaan sampai bagian dalam samudera. Ketika tsunami memasuki perairan yang lebih dangkal, ketinggian gelombangnya meningkat dan kecepatannya menurun drastis, meski demikian energinya masih sangat kuat untuk menghanyutkan segala benda yang dilaluinya. Arus tsunami dengan ketinggian 70 cm masih cukup kuat untuk menyeret dan menghanyutkan orang.

Apabila lempeng samudera pada sesar bergerak naik (*raising*), terjadi air pasang di wilayah pantai hingga wilayah tersebut akan mengalami banjir sebelum kemudian gelombang air yang lebih tinggi datang menerjang. Dan apabila lempeng samudera bergerak turun, wilayah pantai akan mengalami banjir air pasang sebelum datangnya tsunami.

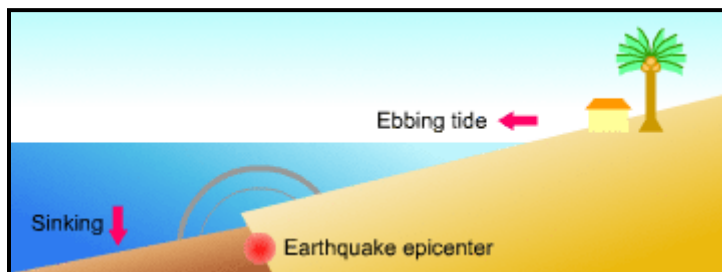
Gambar 2.4.
Lempeng
Bergerak Naik
(Sumber :



disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

Apabila lempeng samudera pada sesar bergerak turun (*sinking*), kurang lebih pada separuh waktu sebelum gelombang tsunami sampai di pantai, air laut di pantai tersebut surut. Pada pantai yang landai, surutnya air bisa mencapai lebih dari 800 meter menjauhi pantai. Masyarakat yang tidak sadar akan datangnya bahaya mungkin akan tetap tinggal di pantai karena ingin tahu apa yang sedang terjadi. Atau bagi para nelayan mereka justru memanfaatkan momen saat air laut surut tersebut untuk mengumpulkan ikan-ikan yang banyak bertebaran. Apabila lempeng samudera bergerak turun, di wilayah pantai air laut akan surut sebelum datangnya tsunami.

Gambar 2.5.
Lempeng
Bergerak Turun
(Sumber :



disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

Pada suatu gelombang, apabila rasio antara kedalaman air dan panjang gelombang menjadi sangat kecil, gelombang tersebut dinamakan gelombang air-dangkal. Karena gelombang tsunami

memiliki panjang gelombang yang sangat besar, gelombang tsunami berperan sebagai gelombang air-dangkal, bahkan di samudera yang dalam.

Gelombang air-dangkal bergerak dengan kecepatan yang setara dengan akar kuadrat hasil perkalian antara percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$) dan kedalaman air laut.

$$v = \sqrt{g(m/s^2) \times d(m)}$$

Dimana,

v = *velocity* (kecepatan)

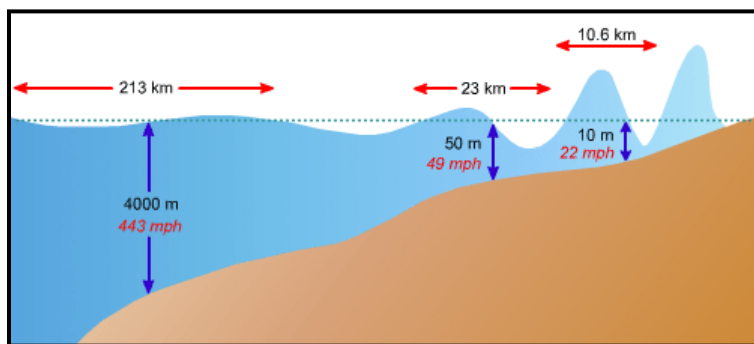
g = *gravitation* ($9,8 \text{ m/s}^2$)

d = *depth* (kedalaman)

Sebagai contoh, di Samudera Pasifik, dimana kedalaman air rata-rata adalah 4000 meter, gelombang tsunami merambat dengan kecepatan $\pm 200 \text{ m/s}$ (kira-kira 712 km/jam) dengan hanya sedikit energi yang hilang, bahkan untuk jarak yang jauh. Sementara pada kedalaman 40 meter, kecepatannya mencapai $\pm 20 \text{ m/s}$ (sekitar 71 km/jam), lebih lambat namun tetap sulit dilampaui.

Energi dari gelombang tsunami merupakan fungsi perkalian antara tinggi gelombang dan kecepatannya. Nilai energi ini selalu konstan, yang berarti tinggi gelombang berbanding terbalik dengan kecepatan merambat gelombang. Oleh sebab itu, ketika gelombang mencapai daratan, tingginya meningkat sementara kecepatannya menurun.

Gambar 2.6.
Ketinggian
Mencapai
(Sumber :



disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

Saat memasuki wilayah dangkal, kecepatan gelombang tsunami menurun sedangkan tingginya meningkat, menciptakan gelombang mengerikan yang sangat merusak. Berikut ini merupakan hubungan antara kedalaman, kecepatan, dan panjang gelombang tsunami :

Tabel 2.2.

*Hubungan Kedalaman, Kecepatan,
dan Panjang Gelombang Tsunami
(Sumber : disaster.elvini.net/tsunami.cgi)*

Kedalaman (m)	Kecepatan (mph)	Panjang Gelombang (km)
7000	586	282
4000	443	213
2000	313	151
200	99	48
50	49	23
10	22	10.6

Selagi orang-orang yang berada di tengah laut bahkan tidak menyadari adanya tsunami, gelombang tsunami dapat mencapai ketinggian hingga 30 meter atau lebih ketika mencapai wilayah pantai dan daerah padat. Tsunami dapat menimbulkan kerusakan yang sangat parah di wilayah yang jauh dari sumber pembangkitan gelombang, meskipun peristiwa pembangkitan gelombang itu sendiri mungkin tidak dapat dirasakan tanpa alat bantu.

Tsunami bergerak maju ke satu arah dari sumbernya, sehingga wilayah yang berada di daerah "bayangan" relatif dalam kondisi aman. Namun demikian, gelombang tsunami dapat saja berbelok di sekitar daratan. Gelombang ini juga bisa saja tidak simetris. Gelombang ke satu arah mungkin lebih kuat dibanding gelombang ke arah lainnya, tergantung dari peristiwa alam yang memicunya dan kondisi geografis wilayah sekitarnya.

Tsunami bisa merambat ke segala arah dari sumber asalnya dan bisa melanda wilayah yang cukup luas, bahkan didaerah belokan, terlindung atau daerah yang cukup jauh dari sumber asal tsunami. Ada yang disebut tsunami setempat (*local tsunami*), yaitu tsunami yang hanya terjadi dan melanda disuatu kawasan yang terbatas. Hal ini terjadi karena lokasi awal tsunami terletak disuatu wilayah yang sempit atau tertutup, seperti selat atau danau. Misalnya tsunami yang terjadi pada 16 Agustus 1976, di Teluk Moro Philipina yang menewaskan lebih dari 5.000 orang di Philipina.

Ada juga yang disebut tsunami jauh (*distant tsunami*), hal ini karena tsunami bisa melanda wilayah yang sangat luas dan jauh dari sumber asalnya. Seperti yang pernah terjadi di Chili pada 22 Mei 1960 akibat dipicu gempa dengan kekuatan lebih dari 8.0R. Tsunami dengan ketinggian lebih dari 10 meter ini menyebabkan korban jiwa dan kerusakan parah di Chili, Jepang, Hawaii, dan Philipina. Gelombang tsunami ini menewaskan 1000 orang di Chili dan 61 orang di Hawaai. Gelombang tsunami ini mencapai Okinawa dan pantai timur Jepang setelah menempuh perjalanan selama 22 jam dan menewaskan 150 orang di Jepang.

D. FISIKA TSUNAMI

Gelombang tsunami bisa dijelaskan dari fenomena penjalaran gelombang secara transversal; energinya adalah fungsi dari ketinggian (*amplitudo*) dan kecepatannya. Ketinggiannya sangat dipengaruhi oleh panjang gelombang. Tsunami memiliki panjang gelombang ratusan km, berperilaku seperti gelombang air-dangkal. Suatu gelombang menjadi gelombang air-dangkal atau *shallow-water wave* ketika perbandingan kedalaman air dengan panjang gelombangnya kecil dari 0.05.

Kecepatan gelombang air-dangkal (v) adalah : $v = \text{akar}(g \cdot d)$, dengan g adalah percepatan gravitasi dan d adalah kedalaman air. Bayangkan, pada kedalaman 10 km di samudera India, sebuah tsunami akan memiliki kecepatan awal sekitar 300 m/detik atau sekitar 1000 km/jam. Kecepatan ini akan berkurang seiring dengan semakin dangkalnya kedalaman air ke arah pantai.

Namun, energi yang dikandung gelombang tidaklah berkurang banyak. Ini sesuai hubungan laju energi yang hilang (*energi loss rate*) pada gelombang berjalan berbanding terbalik dengan panjang gelombangnya; dengan kata lain semakin besar panjang gelombangnya maka makin sedikit energi yang hilang, sehingga energi yang dikandung tsunami bisa dianggap konstan.

Karena energinya konstan, berkurangnya kecepatan akan membuat ketinggian gelombang (*amplitudo*) bertambah. Ilmuwan mencatat dengan kecepatan 1000 km/jam menuju pantai, tinggi gelombang bisa mengalami kenaikan sampai 30 meter.

E. MEGATSUNAMI DAN SEICHE

Banyak bukti menunjukkan bahwa megatsunami, yaitu tsunami yang mencapai ketinggian hingga 100 meter, memang mungkin terjadi. Peristiwa yang langka ini biasanya disebabkan oleh sebuah pulau yang cukup besar amblas ke dasar samudera. Megatsunami juga bisa disebabkan oleh sebangkah besar es yang jatuh ke air dari ketinggian ratusan meter. Gelombang ini dapat menyebabkan kerusakan yang sangat dahsyat pada cakupan wilayah pantai yang sangat luas.

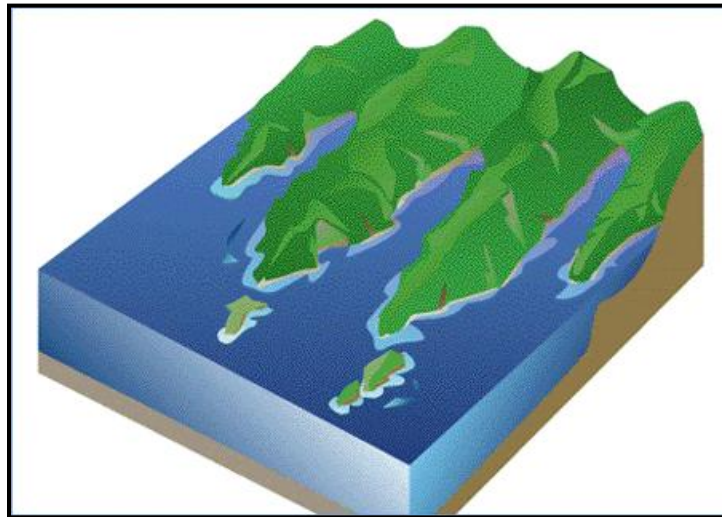
Satu hal yang berkaitan dengan tsunami antara lain adalah *seiche*, yaitu fluktuasi atau pengalunan permukaan danau atau badan air yang kecil yang disebabkan oleh gempa-bumi kecil, angin, atau oleh keragaman tekanan udara. Seringkali gempa yang besar menyebabkan tsunami dan *seiche* sekaligus, atau sebagian *seiche* justru terjadi karena tsunami.

F. TSUNAMI DENGAN GELOMBANG TERTINGGI

Gelombang tsunami tertinggi yang tercatat sampai saat ini adalah tsunami di Alaska pada tahun 1958 yang disebabkan oleh amblasnya lempeng tektonik di Teluk Lituya. Tsunami ini memiliki ketinggian lebih dari 500 meter dan menghancurkan pohon-pohon dan tanah pada dinding *fjord*. Saat gelombang tsunami kembali ke laut, gelombang tersebut langsung menyebar dan tingginya

menurun dengan cepat. Tingginya gelombang saat berada di pantai lebih disebabkan karena topografi wilayahnya, daripada karena energi yang dikeluarkan oleh peristiwa amblesnya lempeng.

Gambar 2.7.
Ketinggian
Disebabkan oleh
Wilayahnya
(Sumber :



Gelombang
Topografi

(disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

Fjord merupakan suatu teluk sempit (*inlet*) di antara tebing-tebing atau lahan terjal. Biasa dijumpai di Norwegia, Alaska, dan Selandia Baru. Sebelumnya *ffjord* ini merupakan sungai *gletser* yang terbentuk di wilayah pegunungan di kawasan pantai. Saat suhu menjadi hangat, sungai *gletser* ini mencair, akibatnya permukaan air laut naik dan membanjiri lembah di sela-sela pegunungan tersebut.

G. GEMPA BUMI DAN TSUNAMI

Gempa bumi merupakan salah satu penyebab terjadinya tsunami. Gempa bumi bisa disebabkan oleh berbagai sumber, antara lain (1) letusan gunung berapi (erupsi vulkanik), (2) tubrukan meteor, (3) ledakan bawah tanah (seperti uji nuklir), dan (4) pergerakan kulit bumi. Gempa bumi sering terjadi karena pergerakan kulit bumi, atau disebut gempa tektonik.

Berdasarkan *seismology*, gempa tektonik dijelaskan oleh “Teori Lapisan Tektonik”. Teori ini menyebutkan bahwa lapisan bebatuan terluar yang disebut *lithosphere* mengandung banyak lempengan. Di bawah *lithosphere* ada lapisan yang disebut *athenosphere*, lapisan ini seakan-akan melumasi bebatuan tersebut sehingga mudah bergerak.

Diantara dua lapisan ini, bisa terjadi 3 hal, yaitu :

1. Lempengan bergerak saling menjauh, maka magma dari perut bumi akan keluar menuju permukaan bumi. Magma yang sudah dipermukaan bumi ini disebut lava.
2. Lempengan bergerak saling menekan, maka salah satu lempeng akan naik atau turun, atau dua-duanya naik atau turun. Inilah cikal gunung atau lembah.

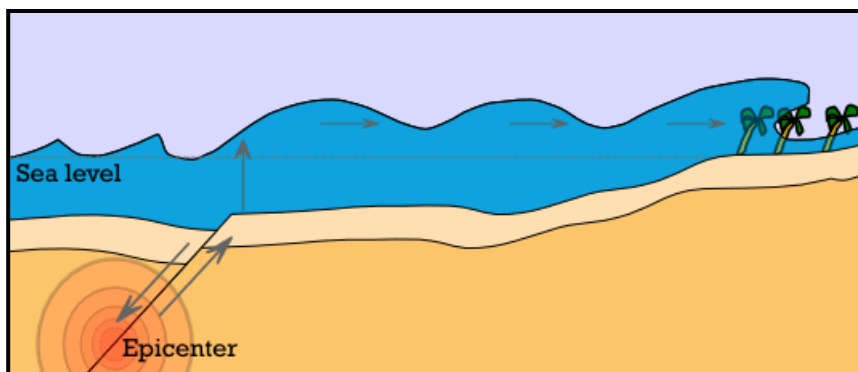
3. Lempengan bergerak berlawanan satu sama lain, misalnya satu ke arah selatan dan satunya ke arah utara.

Ketiga prediksi tersebut akan menimbulkan getaran yang dilewatkan oleh media tanah dan batu. Getaran ini disebut gelombang seismik (*seismic wave*), bergerak ke segala arah. Inilah yang disebut gempa. Lokasi di bawah tanah tempat sumber getaran disebut fokus gempa.

Jika lempengan bergerak saling menekan terjadi di dasar laut, ketika salah satu lempengan naik atau turun, maka volume daerah di atasnya akan mengalami perubahan kondisinya. Apabila lempengan itu turun, maka volume daerah itu akan bertambah. Sebaliknya apabila lempeng itu naik, maka volume daerah itu akan berkurang.

Perubahan volume tersebut akan mempengaruhi gelombang laut. Air dari arah pantai akan tersedot ke arah tersebut. Gelombang-gelombang menuju pantai akan terbentuk karena massa air yang berkurang pada daerah tersebut (efek dari hukum *Archimedes*); karena pengaruh gaya gravitasi, air tersebut berusaha kembali mencapai kondisi stabilnya. Ketika daerah tersebut cukup luas, maka gelombang tersebut mendapatkan tenaga yang lebih dahsyat. Inilah yang disebut dengan tsunami.

Tsunami merupakan fenomena gelombang laut yang tinggi dan besar akibat dari gangguan mendadak pada dasar laut yang secara vertikal mengurangi volume kolom air. Gangguan mendadak ini bisa datang dari gempa.



Gambar 2.8.

Skema Terjadinya Tsunami
(Sumber : Rusydi, 2005)

Epicenter adalah titik pada permukaan bumi yang mengalami efek dari gempa. Garis yang menghubungkan fokus gempa dengan *epicenter* disebut *faultline*. Perbedaan tingkat

ketinggian pada lapisan terluar kulit bumi adalah prediksi terjadinya lempengan bergerak saling menekan yang terjadi di dasar laut dari Teori Lapisan Tektonik.

Laju gerakan lempeng Indo-Australia melesak ke bawah lempeng Eurasia diperkirakan sebanyak 5 cm per tahun. Terkadang gerakan terjadi cepat dan lambat. Gerakan ini membuat posisi bebatuan di sepanjang lokasi pertemuan kedua lempeng sering bergerak. Pergerakan lempeng membuat bebatuan yang sudah terpecah-pecah bergerak. Gerakan ini menimbulkan gempa bumi.

Kekuatan atau *magnitudo* gempa biasa dinyatakan dalam skala Richter atau skala lain yang merupakan pengembangan skala Richter. Gempa diukur dengan alat yang disebut seismograf. Alat ini mencatat getaran yang ditimbulkan oleh pergerakan permukaan tanah dalam bentuk garis zig-zag yang menunjukkan variasi amplitudo gelombang yang ditimbulkan oleh gempa. Kenaikan satu unit *magnitudo* (misalnya dari 4.6 ke 5.6) menunjukkan 10 kali lipat kenaikan besar gerakan yang terjadi di permukaan tanah atau 30 kali lipat energi yang dilepaskan. Jadi

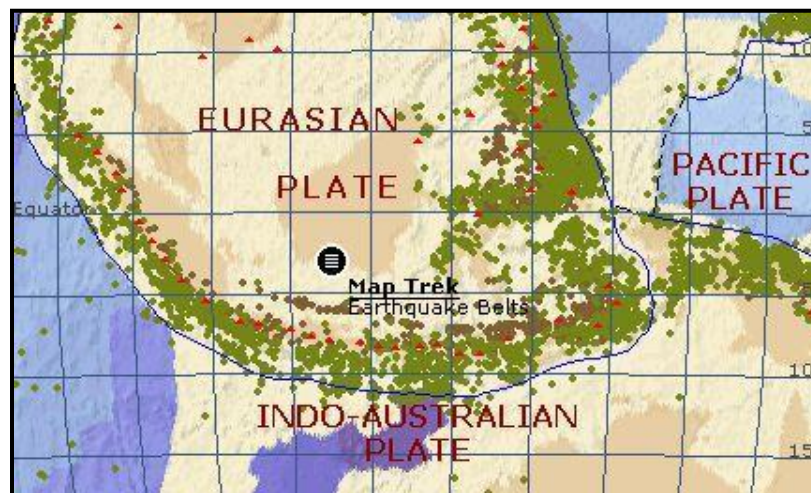
gempa berkekuatan 6.7 skala Richter menghasilkan 100 kali lipat lebih besar gerakan permukaan tanah atau 900 kali lipat energi yang dilepaskan pada gempa berskala 4.7. Gempa besar berskala 8 atau lebih secara statistik terjadi rata-rata satu kali tiap tahun di dunia. Gempa berskala sedang (5-5.9) terjadi rata-rata 1319 kali dalam setahun di dunia. Gempa berskala 2.5 atau kurang terjadi jutaan kali dan biasanya tidak dapat dirasakan oleh manusia.

Selain dinyatakan dalam magnitudo besaran gempa juga sering dinyatakan dalam intensitas. Intensitas gempa adalah ukuran efek gempa di suatu tempat terhadap manusia, tanah dan struktur atau bangunan. Standar intensitas yang sering digunakan adalah *Modified Mercalli*. Dalam standar ini skala I adalah gempa yang tidak terasa, skala II gempa yang dirasakan oleh beberapa orang yang sedang dalam posisi istirahat, terutama di bangunan tinggi, demikian seterusnya sampai meningkat ke skala VII untuk gempa yang merusakkan bangunan yang tidak dibangun dengan struktur yang baik tetapi hanya sedikit merusakkan bangunan yang dibangun dengan baik, dan skala XII untuk gempa yang menyebabkan kerusakan total, dan melemparkan benda-benda ke udara.

H. BENCANA DAN TSUNAMI DI INDONESIA

Indonesia terletak pada dua jalur gempa di dunia yaitu : jalur *circum Pacifik* dan jalur Himalaya – Mediterranean. Selain itu Indonesia berada 3 Lempeng tektonik yaitu : Lempeng Pasifik, Indo-Australia dan Eurasia. Di kawasan Indonesia banyak terdapat patahan aktif seperti : Patahan Semangko di Sumatera, Cimandiri di Jawa dan banyak patahan dan Sub patahan lainnya yang tersebar di seluruh penjuru Indonesia.

Gambar 2.9.
*Jalur Gempa
Aktif di
(Sumber :*



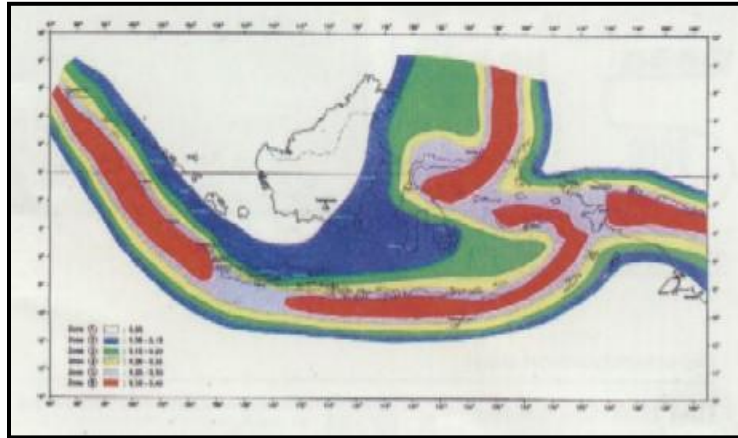
*dan Patahan
Indonesia*

blog.dhani.org)

Yang ditandai dengan titik berwarna hijau adalah zona gempa bumi dangkal; titik berwarna coklat menandai zona gempa bumi dalam; sementara segitiga merah adalah gunung berapi. Berdasarkan hal ini terlihat bahwa titik-titik tersebut terkonsentrasi di daerah sepanjang

pertemuan lempeng benua. Dari persebaran gunung berapi, tampak bahwa Indonesia dikelilingi oleh begitu banyak gunung berapi.

Gambar 2.10.
*Peta Kegempaan
Tanah Keras*
(Sumber :

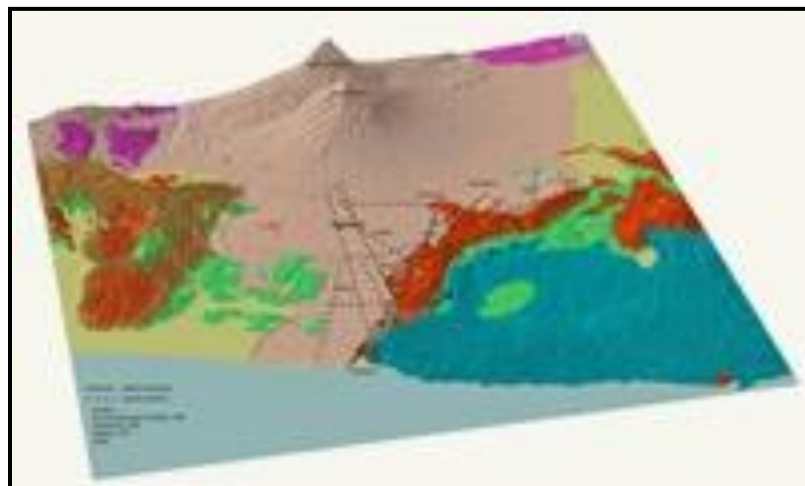


Indonesia untuk

www.pu.go.id/.../bencana/gempa/gempatsunami2.htm

Indonesia dilihat dari kondisi geologis merupakan daerah rawan bencana khususnya gempa bumi dan tsunami. Pasca meletusnya Gunung Krakatau yang menimbulkan tsunami besar di tahun 1883, setidaknya telah terjadi 17 bencana tsunami besar di Indonesia selama hampir satu abad (1900-1996).

Gambar 2.11.
*Kondisi
Indonesia*
(Sumber :



Geologis

www.i-

mobilecity.com/infogempa/

Berbagai daerah di Indonesia merupakan titik rawan bencana, terutama bencana gempa bumi, tsunami, banjir, dan letusan gunung berapi. Wilayah Indonesia dikelilingi oleh lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Sewaktu-waktu lempeng ini akan bergeser patah menimbulkan gempa bumi. Selanjutnya jika terjadi tumbukan antarlempeng tektonik dapat menghasilkan tsunami, seperti yang terjadi di Aceh, Sumatera Utara dan Pangandaran Jawa Barat. Korban yang meninggal mencapai kurang lebih 173.000 jiwa. 27 Mei 2006, Yogyakarta dan sebagian Jawa Tengah diporakporandakan gempa bumi dengan kekuatan 5,9 SR. Yogyakarta merupakan salah satu daerah yang memiliki patahan aktif dan memungkinkan terjadinya potensi bencana gempa bumi maupun tsunami.

Berdasarkan katalog gempa (1629 - 2002) di Indonesia pernah terjadi tsunami sebanyak 109 kali, yakni 1 kali akibat longsoran (*landslide*), 9 kali akibat gunung berapi dan 98 kali akibat gempa tektonik. Hal-hal yang paling berpotensi menimbulkan tsunami adalah:

1. Gempa yang terjadi di dasar laut
2. Kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km
3. Kekuatan gempa lebih besar dari 6,0 Skala Richter
4. Jenis pensesaran gempa tergolong sesar naik atau sesar turun
5. Tsunami di Samudera Hindia - 26 Desember 2004

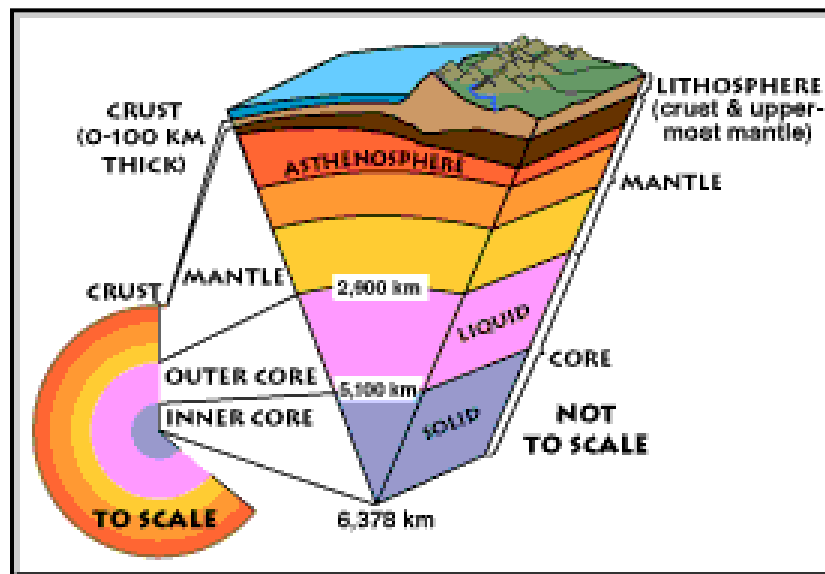
I. PERGERAKAN LEMPENG PENYEBAB GEMPA BUMI DAN TSUNAMI

Lapisan bumi terdiri dari inti (*core*), selubung (*mantle*) dan kerak (*crust*). Inti bumi tebalnya kira-kira 3475 km, selubung tebalnya kira-kira 2870 km, sedangkan bagian paling luar bumi, yaitu kerak tebalnya 35 km. Inti bumi terdiri dari dua bagian yaitu bagian dalam yang padat dan bagian luar yang cair. Selubung bumi adalah batuan yang semi-cair, sifatnya plastis, sedangkan kerak bumi yang jadi tempat hidup kita sifatnya padat.

Gambar

Lapisan Bumi
(Sumber :

Kerak bumi
bumi
temperatur
dingin
bagian inti.
perbedaan
inilah
aliran
selubung



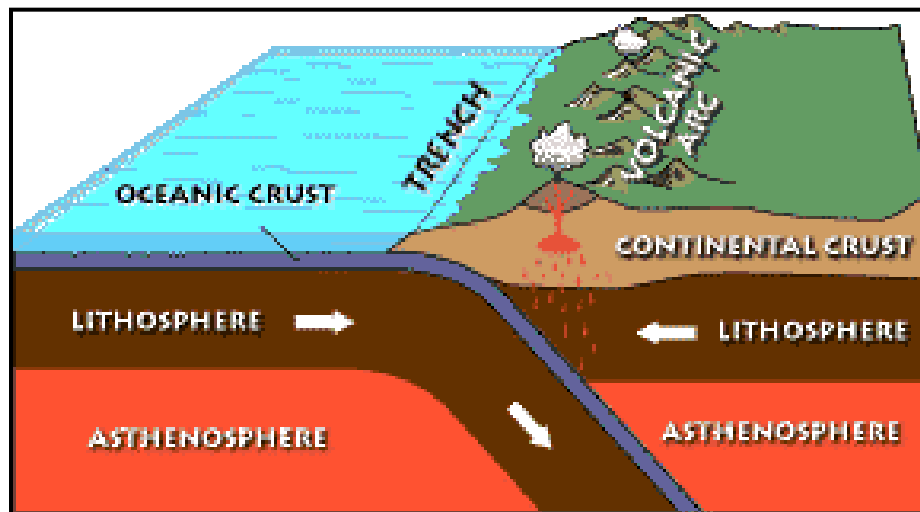
2.12.

Rusydi, 2005)

bagian terluar
mempunyai
yang lebih
daripada
Karena
temperatur
terjadilah
konveksi di
bumi.

Material yang panas naik menuju keluar dan material dingin turun menuju ke dalam. Ketika potongan-potongan atau lempengan kerak bumi tergerakkan oleh sistem roda berjalan ini, mereka bisa saling bertabrakan. Bagian terluar dari bumi ini bergerak. Apalagi dengan adanya beberapa bencana yang sangatlah berkaitan dengan pergerakan ini seperti gempa bumi dan tsunami. Bagian-bagian terluar dari bumi ini (*tectonic plate*) atau lempeng tektonik. Pergerakan lempeng-lempeng ini yang menjadi penyebab bencana-bencana seperti gempa bumi dan tsunami.

Gambar



2.13.

*Pergerakan Lempengan Kerak Bumi
(Sumber : Rusydi, 2005)*

Lempeng tektonik adalah lapisan terluar dari bumi yang terdiri dari lapisan luar yang bernama "*lithosphere*" dan lapisan dalam yang bernama "*asthenosphere*". Lempeng-lempeng inilah yang menyusun bentuk rupa dari bumi. Alfred Wegener, ahli astronomi merupakan orang pertama yang menyatakan bahwa bumi ini disebut 'PANGAEA' (berarti semua daratan) dan terletak di kutub selatan. Beliau menjelaskan bahwa gaya sentrifugal dari bumi ke arah khatulistiwa menyebabkan bumi ini terpecah-pecah. Teori beliau ini pada tahun 1912 sering disebut sebagai 'CONTINENTAL DRIFT'.

Alfred Wegener menggunakan beberapa bukti yang dapat meyakinkan teorinya ini. Salah satunya adalah penemuan fosil atau sisa-sisa makhluk hidup di beberapa benua yang memiliki persamaan genetik. Beliau juga mengatakan bahwa gunung-gunung terbentuk karena tabrakan antar kontinen.

Sampai akhirnya tahun 1929, Arthur Holmes mengemukakan bahwa bergeraknya lempeng terjadi akibat konveksi panas. Dimana apabila suatu benda dipanaskan maka densitasnya akan berkurang dan muncul ke permukaan sampai benda tersebut dingin dan tenggelam lagi. Perubahan panas dingin ini dipercaya dapat menghasilkan arus yang mampu menggerakkan

lempeng-lempeng di bumi. Beliau mengumpamakan konveksi panas ini seperti konveyor yang dengan berubahnya tekanan dapat memecahkan lempeng-lempeng tersebut. Saat itu tidak banyak orang yang percaya sampai akhirnya di awal tahun 1960 Harry Hess dan R. Deitz menggunakan beberapa bukti bahwa arus konveksi dari mantel bumi itu memang ada. Bukti ini ditunjang dengan penemuan-penemuan seperti pematang tengah samudera di lantai samudera dan beberapa temuan anomali geomagnetik. Mereka menyebut teorinya dengan sebutan 'SEA FLOOR SPREADING' yang artinya pemekaran lantai samudera.

Berdasarkan temuan-temuan inilah beberapa ilmuwan terutama ahli geologi mulai meyakini pergerakan beberapa lempeng di bumi. Lempeng ini bergerak beberapa sentimeter setiap tahunnya. Di bumi ini ada 7 lempeng besar, yaitu Pacific, North America, South America, African, Eurasian (lempeng dimana Indonesia berada), Australian, dan Antarctica. Di bawah lempeng-lempeng inilah arus konveksi berada dan *asthenosphere* (lapisan dalam dari lempeng) menjadi bagian yang terpanaskan oleh peluruhan radioaktif seperti Uranium, Thorium, dan Potasium. Bagian yang terpanaskan inilah yang menjadi sumber dari lava di gunung berapi dan juga sumber dari material yang keluar di pematang tengah samudera dan membentuk lantai samudera yang baru. Magma ini terus keluar ke atas di pematang tengah samudera dan menghasilkan aliran magma yang mengalir kedua arah berbeda dan menghasilkan kekuatan yang mampu membelah pematang tengah samudera. Pada saat lantai samudera tersebut terbelah, retakan terjadi di tengah pematang dan magma yang meleleh mampu keluar dan membentuk lantai samudera yang baru.

Kemudian lantai samudera tersebut bergerak menjauh dari pematang tengah samudera sampai dimana akhirnya bertemu dengan lempeng kontinen dan akan menyusup ke dalam karena berat jenisnya yang umumnya berkomporsi lebih berat dari berat jenis lempeng kontinen. Penyusupan lempeng samudera ke dalam lempeng benua inilah yang menghasilkan zona subduksi atau penunjaman dan akhirnya *lithosphere* akan kembali menyusup ke bawah *asthenosphere* dan terpanaskan lagi. Kejadian ini berlangsung secara terus-menerus.

Daerah pertemuan lempeng ini pada umumnya banyak menghasilkan gempa bumi dan apabila sumber gempa bumi ini ada di samudera maka besar kemungkinan terjadi tsunami.

Pertemuan dari lempeng-lempeng tersebut adalah zona patahan dan bisa dibagi menjadi 3 kelompok. Mereka adalah patahan normal (*normal fault*), patahan naik (*thrust fault*), dan patahan geser (*strike slip fault*). Selain ketiga kelompok ini ada satu lagi yang biasanya disebut tumbukan atau *obduction* dimana kedua lempeng sama-sama relatif ringan sehingga bertumbukan dan tidak menunjam seperti di selatan Iran dan di India, dimana lempeng Arabian dan lempeng Indian bertumbukan dengan lempeng Eurasian. Patahan normal biasanya berhubungan dengan gaya *extensional* atau regangan sedangkan patahan naik berhubungan dengan *compressional* atau tegasan atau dorongan. Patahan geser banyak berhubungan dengan gaya transformasi.

Indonesia terletak pada pertemuan lempeng Australian dan Eurasian dimana lempeng Australian menyusup ke dalam zona eurasian sehingga membentuk zona subduksi sepanjang Sumatra, Jawa, Bali, Lombok, Nusa Tenggara, Timur dan melingkar di Banda. Sedangkan Irian Jaya adalah tempat bertemunya beberapa lempeng yaitu Australian, Eurasian, Pasific, dan Philipine.

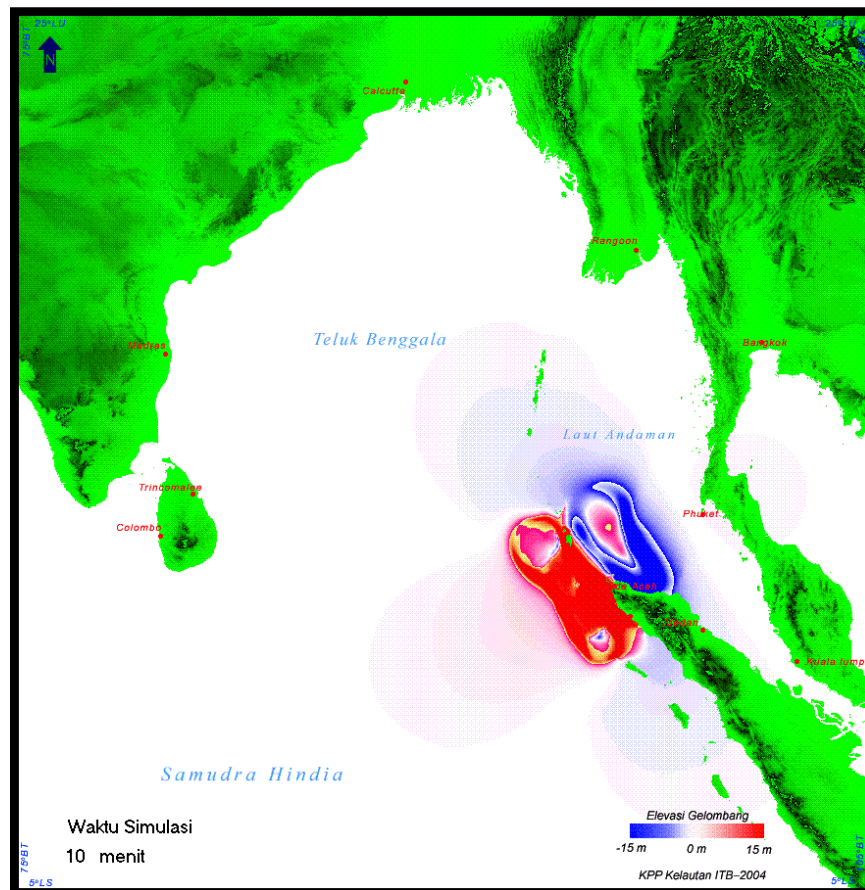
Akibat dari terbentuknya zona subduksi inilah maka banyak sekali ditemukan gunung berapi di Indonesia.

J. GEMPA DAN TSUNAMI DI ACEH

Gempa dan tsunami di Nanggroe Aceh Darussalam (NAD) pada tanggal 26 Desember merupakan gelombang tsunami yang dahsyat yang telah menyebabkan korban meninggal lebih dari 200.000 orang di berbagai negara. Gempa yang terjadi di NAD ini adalah gempa terbesar yang terjadi selama 40 tahun terakhir (Puspito, 2005).

Gambar
Gelombang
Aceh
(Sumber :
Kelautan

Gempa yang
pantai barat
Utara
9 skala
(berdasarkan
Geological
USGS).



2.14.
Tsunami

KPP
ITB, 2004)

terjadi di
Sumatera
berkekuatan
Richter
United State
Survey,

Menempatkan bencana internasional ini sebagai gempa ke-4 terdahsyat semenjak tahun 1900. Urutan pertama adalah di Chili tahun 1960 (9.5 skala Richter), kemudian Alaska tahun 1964 (9.2 skala Richter), dan Alaska lagi tahun 1957 (9.1 skala Richter).

Fokus gempa diperkirakan pada koordinat (3.298 LU, 95.779 LB), atau sekitar 160 km dari pantai terdekat pulau Sumatera, pada kedalaman 10 km di bawah permukaan laut. Ini adalah wilayah “lingkaran api” (*ring of fire*), yaitu rangkaian gunung berapi bawah tanah yang aktif melintasi Selandia Baru, Papua Timur, Indonesia, Filipina, Jepang, pantai barat Amerika Serikat, Amerika Tengah, dan pantai barat Amerika Selatan.

Gempa diperkirakan terjadi akibat penurunan lempengan sebagai akibat pergerakan kulit bumi. Teori Lapisan Tektonik menyatakan bahwa daratan di Bumi ini bergerak, termasuk pulau-pulau kecil akibat dari pergerakan lapisan *lithosphere*. Panjang lempengan yang bergerak itu sekitar 1200 km dan turun sejauh 15 meter. Ini membuat gelombang dahsyat (tsunami) dengan kecepatan sampai 800 km/jam.

K. KEKUATAN DAN EFEK GEMPA TERHADAP FISIK BUMI

Energi yang dihasilkan pada 9,0 skala Richter adalah sekitar 2×10^{18} Joules, atau 5 Mton TNT. Ini setara dengan massa 20 kg dengan memakai persamaan energi-massa Einstein: $E = mc^2$. Ini cukup untuk memasak 5000 liter air untuk setiap orang di Bumi ini. Setara dengan dengan 30% energi yang dikonsumsi oleh Amerika Serikat dalam satu tahun, atau sama dengan energi yang dilepaskan oleh angin badai Isabel (*Hurricane Isabel*) selama 70 hari. Energi ini setara dengan 2 kali ledakan yang terjadi di seluruh perang dunia ke dua.

Efeknya adalah beberapa pulau di barat daya Sumatera bergeser 20 meter ke arah barat daya. Ujung pulau Sumatera bergeser 36 meter ke arah barat daya. Beberapa pulau kecil di sekitar Provinsi Aceh hilang. Dan terbentuk danau dan sungai baru di bekas daratan Aceh, memutuskan transportasi ke kampung-kampung yang juga hilang dari peta dunia selamanya.

L. TSUNAMI DI SAMUDERA HINDIA

Indonesia merupakan negara rawan akan tsunami, yaitu berada di urutan ketiga di dunia setelah Jepang dan Amerika. Wilayah yang paling sering dilanda tsunami sebenarnya adalah negara-negara di kawasan Lautan Pasifik, karena adanya "*Pacific ring of fire*". Di Indonesia, tsunami sangat rawan terutama di wilayah Indonesia bagian timur. Tsunami yang terjadi di Samudera Hindia tanggal 26 Desember 2004 ini memang cukup mengejutkan, meski dari pergeseran lempeng Indo-Australia dan Eurasia yang selama ini diteliti, mestinya sudah bisa diprediksi bakal ada gempa besar. Tiga rangkaian gempa besar telah terjadi di zone pertemuan antara dua lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Gempa pertama dengan kekuatan 8.9R terjadi pada pukul 07.58.50 di wilayah perairan Nanggroe Aceh Darussalam (NAD), berjarak sekitar 257 km dari Banda Aceh. Gempa kedua dengan kekuatan 5.8R terjadi pada pukul 09.15.57 di wilayah Nicobar. Sedangkan gempa ketiga terjadi dengan kekuatan 6.0R pada pukul 09.22.01 di kepulauan Andaman.

Dari rangkaian gempa yang terjadi di atas bisa dipastikan bahwa gempa pertama dengan kekuatan 8.9R merupakan penyebab utama tsunami yang menghancurkan di pesisir barat Sumatra ke arah NAD, Thailand, India juga Sri Lanka. Gempa ini merupakan gempa dengan karakteristik yang sangat efektif membentuk tsunami, karena tipe sesarannya naik (*thrust fault*), dengan kemiringan sudut antar lempeng cukup tinggi (79°) dan sangat dangkal (10 km). Gempa susulan dengan kekuatan 5.8R dan 6.0R tidak cukup signifikan untuk melahirkan tsunami, meski tipe sesarnya naik dan dangkal. Melihat perbedaan waktu terjadinya, gempa-gempa susulan ini bisa

menimbulkan tsunami susulan, tetapi tidak akan lebih besar dari tsunami yang datang pertama. Dari posisi sumber gempa pertama (8.9R), kedatangan gelombang tsunami di wilayah pesisir barat Sumatra akan cenderung membentuk gelombang tepi (*edge wave*). Gelombang tsunami jenis ini bergerak sejajar atau paralel dengan garis pantai, meski sifatnya juga merusak, tetapi kerusakan akan lebih parah terjadi apabila kedatangan gelombang tsunami cenderung tegak lurus ke arah pantai. Meski demikian wilayah NAD mengalami kerusakan terparah dengan korban terbanyak dibanding kerusakan dan korban di negara lain, karena lokasinya yang relatif dekat dari sumber asal tsunami.

Banyaknya korban di Sri Lanka bisa jadi disebabkan karena energi tsunami yang memang cenderung utuh sejak terbentuknya, juga karena kedatangan gelombang tsunami di Sri Lanka lebih tegak lurus ke arah pantai. Meski kemungkinan gempa susulan masih ada, tetapi kemungkinan datangnya tsunami susulan akan lebih kecil. Bahkan dengan kekuatan dan kondisi gempa yang sama, tsunami yang terbentuk akan lebih kecil daripada tsunami yang terjadi pertama kali.

M. KERUSAKAN AKIBAT TSUNAMI

Energi tsunami bisa mencapai 10% dari energi gempa pemicunya. Bisa dibayangkan, gempa dengan kekuatan mencapai 9.0R akan menghasilkan energi yang setara dengan lebih dari 100.000 kali kekuatan bom atom Hiroshima, Jepang. Bentuk pantai, bentuk dasar laut wilayah pantai, sudut kedatangan gelombang, dan bentuk depan gelombang tsunami yang datang ke pantai akan sangat berpengaruh terhadap kerusakan yang ditimbulkan. Karena beberapa alasan ini, sebagian pantai akan dilanda tsunami dengan tingkat kerusakan dan ketinggian arus yang berbeda dibanding pantai yang lain, meski letaknya tidak terlalu berjauhan. Daerah teluk akan menderita tsunami lebih parah akibat konsentrasi energi tsunami.

Korban meninggal akibat tsunami terjadi biasanya karena tenggelam, terseret arus, terkubur pasir, terhantam serpihan atau puing, dan lain-lain. Kerusakan lain akan meliputi kerusakan rumah tinggal, bangunan pantai, prasarana lalu lintas (jalan kereta, jalan raya, dan pelabuhan), suplai air, listrik, dan telpon. Gelombang tsunami juga akan merusak sektor perikanan, pertanian, kehutanan, industri minyak berupa pencemaran dan kebakaran.

N. PENANGGULANGAN BENCANA ALAM

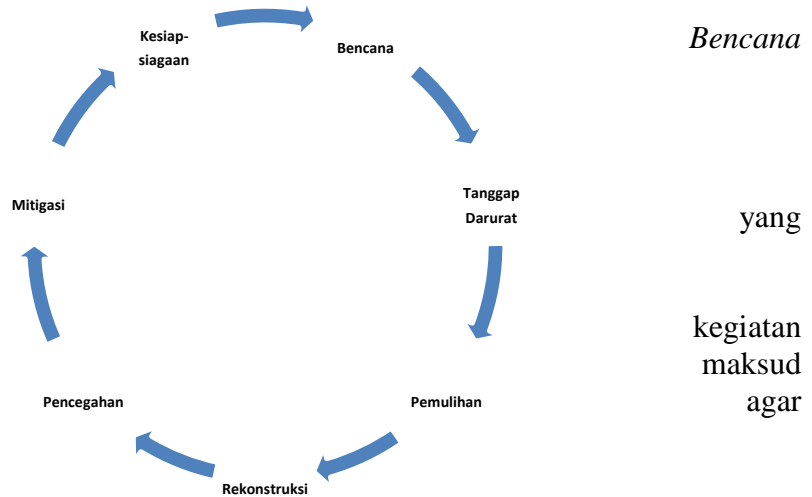
Bencana adalah suatu kecelakaan sebagai hasil dari faktor buatan manusia atau alami (atau suatu kombinasi kedua-duanya) yang mempunyai dampak negatif pada kondisi kehidupan manusia dan flora/fauna. Bencana alam meliputi banjir, musim kering berkepanjangan, gempa bumi, gelombang tsunami, angin puyuh, angin topan, tanah longsor, letusan gunung berapi (vulkanis) dan lain-lain. Bencana buatan manusia dapat meliputi radiasi akibat kecelakaan bahan kimia, minyak tumpah, kebakaran hutan dan lain-lain.

Untuk menangani masalah bencana maka dikenal dengan penanggulangan bencana, yaitu suatu siklus kegiatan yang saling berkaitan, mulai dari kegiatan pencegahan, kegiatan mitigasi,

kegiatan kesiapsiagaan, kegiatan tanggap darurat, kegiatan pemulihan yang meliputi restorasi, rehabilitasi dan rekonstruksi, serta kegiatan pembangunan. Semua kegiatan, mulai dari tanggap darurat sampai pengumpulan data dan informasi serta pembangunan, merupakan rangkaian dalam menghadapi kemungkinan bencana. Tahap-tahap ini dapat saling berkaitan dan merupakan lingkaran atau siklus manajemen bencana.

Gambar 2.15.

*Siklus Manajemen
(Pratikto, 2005)*



Mitigasi bencana merupakan kegiatan sangat penting dalam penanggulangan bencana, karena ini dilakukan dengan untuk mengantisipasi dampak yang ditimbulkan dapat dikurangi. Mitigasi

alam dilakukan secara struktural dan non struktural. Secara struktural yaitu dengan melakukan upaya teknis, baik secara alami maupun buatan mengenai sarana dan prasarana mitigasi. Secara non struktural adalah upaya non teknis yang menyangkut penyesuaian dan pengaturan tentang kegiatan manusia agar sejalan dan sesuai dengan upaya mitigasi struktural maupun upaya lainnya.

Untuk mengatasi masalah bencana perlu dilakukan upaya mitigasi yang komprehensif yaitu kombinasi upaya struktur (pembuatan prasarana dan sarana pengendali) dan non struktur yang pelaksanaannya harus melibatkan instansi terkait. Seberapa besarpun upaya tersebut tidak akan dapat membebaskan dari masalah bencana alam secara mutlak. Oleh karena itu kunci keberhasilan sebenarnya adalah keharmonisan antara manusia/masyarakat dengan alam lingkungannya.

Bagian paling kritis dari pelaksanaan mitigasi adalah pemahaman penuh sifat bencana. Tipe-tipe bahaya bencana pada setiap daerah berbeda-beda, ada suatu daerah yang rentan terhadap banjir, ada yang rentan terhadap gempa bumi, ada pula daerah yang rentan terhadap longsor dan lain-lain. Pemahaman bahaya-bahaya mencakup memahami tentang:

1. Bagaimana bahaya-bahaya itu muncul,
2. Kemungkinan terjadi dan besarnya,
3. Mekanisme fisik kerusakan,
4. Elemen-elemen dan aktivitas-aktivitas yang paling rentan terhadap pengaruh-pengaruhnya,
5. Konsekuensi-konsekuensi kerusakan.

Informasi Geospasial sebagai faktor kunci dalam melakukan pertukaran informasi secara global, merupakan suatu sarana penting bagi berlangsungnya suatu tatanan masyarakat berwawasan iptek dengan kekayaan sumberdaya alam yang sangat besar. Data dan informasi geospasial tentang kebencanaan, dan kedaruratan yang dibutuhkan, dapat diperoleh melalui sistem koordinasi yang terpadu, cepat, dan akurat.

Data dan informasi yang dibutuhkan meliputi :

- Titik-titik lokasi dimana bencana terjadi,
- Seberapa besar potensi bencana terjadi: luas area, besar bencana, periode berlangsungnya, lamanya, dll,
- Seberapa besar potensi korban jiwa yang bisa terjadi,
- Berapa jumlah kerugian: fisik, materi, dll.

Data dan informasi di atas akan digunakan dalam menentukan kebijakan: pencegahan, penanggulangan, penanganan, evaluasi, serta rehabilitasi.

Tanggap darurat (*emergency response*) merupakan suatu bentuk kegiatan awal setelah terjadinya bencana alam. Bentuk kegiatan tanggap darurat antara lain peningkatan efektivitas pengorganisasian, koordinasi, dan kodal; percepatan pengefektifan evakuasi jenazah; percepatan relokasi pengungsi; perawatan bagi yang terluka dan sakit; pengelolaan bantuan negara sahabat dan bantuan dalam negeri; kesinambungan pasokan logistik; pengelolaan transportasi darat, laut, dan udara; dan intensifikasi kegiatan komunikasi publik (*public relation*).

O. USAHA MERINGANKAN BAHAYA TSUNAMI

Banyaknya korban jiwa karena tsunami disebabkan banyak faktor seperti kurangnya pengetahuan masyarakat tentang gempa dan tsunami, terbatasnya peralatan, peramalan, peringatan dan masih banyak lagi. Untuk mengurangi bahaya bencana tsunami diperlukan perhatian khusus terhadap 3 hal yaitu:

- Struktur Pantai (*Coastal Structures*)
- Penataan Wilayah (*City Planning*)
- Sistem yang terpadu (*Tsunami Prevention System*)

1. Struktur Pantai

Didaerah pantai dimana gempa biasa terjadi sebaiknya dibangun struktur bangunan penahan ombak berupa dinding pantai (*sea wall or coastal dike*) yang merupakan bangunan pertahanan

(*defense structure*) terhadap tsunami. Struktur ini akan efektif, apabila ketinggian tsunami relatif tidak terlalu tinggi. Jika ketinggian tsunami melebihi 5 meter, prasarana ini kurang begitu berfungsi. Pohon-pohon pantai seperti tanaman bakau (*mangrove*) juga cukup efektif untuk mereduksi energi tsunami, terutama untuk tsunami dengan ketinggian kurang dari 3 meter.

2. Penataan Wilayah

Korban terbanyak bencana tsunami adalah perkampungan padat di daerah pantai disamping daerah wisata pantai. Cara paling efektif mengurangi korban bahaya tsunami adalah dengan memindahkan wilayah pemukiman pantai ke daerah bebas tsunami (*tsunami-free area*). Menurut catatan, sudah banyak peristiwa tsunami yang menyapu habis pemukiman nelayan disekitar pantai, mereka terperangkap dan tidak sempat menyelamatkan diri ketika tsunami datang. Kedatangan tsunami yang begitu cepat sangat tidak memungkinkan penduduk di daerah pesisir pantai untuk meloloskan diri. Perkiraan tentang daerah penggenangan tsunami (*tsunami inundation area*) diperlukan untuk merancang daerah pemukiman yang aman bagi penduduk.

3. Sistem Yang Terpadu

Sistem pencegahan tsunami (*tsunami prevention system*) akan meliputi hal hal sebagai berikut: peramalan, peringatan, evakuasi, pendidikan masyarakat, latihan, kebiasaan untuk selalu waspada terhadap bencana, dan kesiapan pasca bencana.

Kedatangan tsunami sama dengan kejadian gempa itu sendiri, masih sulit diprediksi. Pada 15 Juni 1896, wilayah Sanriku-Jepang pernah dihantam gelombang tsunami tanpa peringatan sama sekali. Ketinggian gelombang tsunami mencapai 21 meter dan menewaskan lebih dari 26.000 orang yang sedang berkumpul mengadakan festival keagamaan. Pemasangan seismograp bawah laut (*ocean-bottom seismograph*) akan memberikan data cukup detail tentang data seismik yang akan berguna untuk memprediksi apakah tsunami akan terbentuk dari kejadian seismik tersebut atau tidak.

Beberapa tahun terakhir, *Japan Marine Science and Technology Center* (JAMSTEC) telah menempatkan seismograp bawah laut di beberapa wilayah perairan Jepang untuk melakukan deteksi dini akan munculnya tsunami akibat gempa bawah laut. Dengan pemasangan seismograp bawah laut ini, kedatangan tsunami bisa dideteksi dalam hitungan menit.

Peringatan awal akan datangnya tsunami akan memberikan peluang kepada masyarakat di daerah rawan untuk mengadakan persiapan penyelamatan diri. Memang tidak setiap gempa bumi akan mendatangkan tsunami, tetapi sikap atau kebiasaan untuk selalu waspada terhadap bencana tsunami sebaiknya selalu melekat di setiap masyarakat. Ketika berada di pantai dan merasakan adanya getaran gempa, segeralah berlari ke arah dataran yang tinggi (minimal 20 meter). Jangan pernah menunggu tsunami datang.

Ketika tsunami datang dalam jarak dekat di depan mata, bisa dipastikan keselamatan jiwa berpeluang kecil untuk selamat. Air laut yang surut tiba-tiba atau kadang kala sebelum tsunami

datang, suara seperti ledakan bom yang memekikkan datang dari arah laut, ini juga pertanda bahwa masyarakat harus segera meninggalkan pantai tanpa harus menunggu. Kedatangan tsunami yang bisa beberapa kali dengan selang kedatangan bisa mencapai beberapa jam sangat membahayakan masyarakat yang berdatangan ke pantai setelah kedatangan gelombang tsunami yang pertama. Hal ini mesti dihindari.

Pemasangan sirine atau pengeras suara di pantai-pantai yang sering dipadati oleh kunjungan masyarakat akan sangat efektif untuk memberikan peringatan dini kepada pengunjung akan bahaya tsunami begitu getaran gempa terasa. Pemasangan papan pengumuman "daerah rawan tsunami" atau "awas tsunami!!!" di pantai-pantai, di daerah rawan tsunami akan mengingatkan masyarakat yang berada di daerah tersebut. Pembangunan tugu peringatan bahwa tsunami pernah terjadi di daerah tersebut akan mengingatkan masyarakat bahwa dia berada di daerah rawan tsunami dan harus selalu waspada.

Pendidikan ke masyarakat tentang bahaya gempa dan tsunami menjadi sangat penting. Tidak semua orang punya pengalaman dengan tsunami sepanjang hidupnya. Dan untuk selamat dari bencana tsunami, seseorang tidak harus pernah punya pengalaman dengan tsunami. Jika seseorang punya pengetahuan sederhana tentang kedatangan tsunami, begitu gempa datang, segera dia akan menyelamatkan diri ke arah dataran tinggi. Pengetahuan ini sebaiknya ditransfer ke masyarakat sekitar dan juga generasi berikutnya. Di wilayah Sanriku-Jepang, yang merupakan daerah paling rawan tsunami di dunia, setiap tahun diadakan latihan untuk memperingati tsunami yang telah menelan ribuan korban di daerah itu. Dengan kegiatan demikian diharapkan kesadaran masyarakat akan adanya bahaya tsunami selalu meningkat.

Demikianlah upaya untuk mengurangi korban bencana akibat tsunami. Keberhasilan upaya ini akan meminimalkan korban bencana tsunami secara signifikan seperti yang terjadi di negara-negara maju seperti Jepang atau Amerika.

Tabel 2.3.

Rekomendasi Sistem Terpadu

Rekomendasi Sistem Terpadu	
Jika tsunami datang	Sesudah tsunami :

<ol style="list-style-type: none"> 1. Jangan panik 2. Jangan menjadikan gelombang tsunami sebagai tontonan. Apabila gelombang tsunami dapat dilihat, berarti kita berada di kawasan yang berbahaya 3. Jika air laut surut dari batas normal, tsunami mungkin terjadi 4. Bergeraklah dengan cepat ke tempat yang lebih tinggi ajaklah keluarga dan orang di sekitar turut serta. 5. Tetaplah di tempat yang aman sampai air laut benar-benar surut. 6. Jika Anda sedang berada di pinggir laut atau dekat sungai, segera berlari sekuat-kuatnya ke tempat yang lebih tinggi. 7. Jika memungkinkan, berlarilah menuju bukit yang terdekat 8. Jika situasi memungkinkan, pergilah ke tempat evakuasi yang sudah ditentukan 9. Jika situasi tidak memungkinkan untuk melakukan tindakan seperti di atas, carilah bangunan bertingkat yang bertulang baja (ferroconcrete building), gunakan tangga darurat untuk sampai ke lantai yang paling atas (sedikitnya sampai ke lantai 3). 10. Jika situasi memungkinkan, pakai jaket hujan dan pastikan tangan anda bebas dan tidak membawa apa-apa 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ketika kembali ke rumah, jangan lupa memeriksa kerabat satu-persatu 2. Jangan memasuki wilayah yang rusak, kecuali setelah dinyatakan aman 3. Hindari instalasi listrik 4. Datangi posko bencana, untuk mendapatkan informasi Jalinlah komunikasi dan kerja sama dengan warga sekitar 5. Bersiaplah untuk kembali ke kehidupan yang normal
--	---

P. SISTEM PERINGATAN DINI

Sampai saat ini kita belum bisa meramalkan terjadinya gempa bumi dan tsunami. Yang bisa dilakukan adalah mencegah jatuhnya terlalu banyak korban. Tidak mungkin mengosongkan seluruh daerah rawan gempa dari penduduk. Konstruksi tahan gempa adalah salah satu alternatif. Demikian pula dengan tsunami, tidak mungkin mengosongkan seluruh daerah pantai di sekitar daerah rawan gempa.

Yang mungkin adalah mengadakan sistem peringatan dini dan prosedur evakuasi manakala peringatan dini terjadi. Memang ini tidak menyelesaikan seluruh masalah karena apabila pusat gempa terjadi tidak jauh dari pantai, tsunami bisa datang dalam hitungan menit sehingga tidak mungkin ada kesempatan untuk melarikan diri. Tapi prosedur evakuasi masih bisa dilakukan untuk berjaga-jaga manakala gempa yang mungkin menimbulkan tsunami terjadi jauh dari daerah kita sehingga memberi kesempatan untuk evakuasi.

Kebanyakan kota di sekitar Samudera Pasifik, terutama di Jepang juga di Hawaii, mempunyai sistem peringatan dan prosedur pengungsian sekiranya tsunami diramalkan akan terjadi. Bencana tsunami dapat diprediksi oleh berbagai institusi seismologi di berbagai penjuru dunia dan proses terjadinya tsunami dapat dimonitor melalui perangkat yang ada di dasar atau permukaan laut yang terkoneksi dengan satelit.

Perekam tekanan di dasar laut bersama-sama dengan perangkat yang mengapung di laut *buoy*, dapat digunakan untuk mendeteksi gelombang yang tidak dapat dilihat oleh pengamat manusia pada laut dalam. Sistem sederhana yang pertama kali digunakan untuk memberikan peringatan awal akan terjadinya tsunami pernah dicoba di Hawaii pada tahun 1920-an. Kemudian, sistem yang lebih canggih dikembangkan lagi setelah terjadinya tsunami besar pada tanggal 1 April 1946 dan 23 Mei 1960. Amerika Serikat membuat *Pacific Tsunami Warning Center* pada tahun 1949, dan menghubungkannya ke jaringan data dan peringatan internasional pada tahun 1965.

Salah satu sistem untuk menyediakan peringatan dini tsunami, CREST Project, dipasang di pantai Barat Amerika Serikat, Alaska, dan Hawaii oleh USGS, NOAA, dan *Pacific Northwest Seismograph Network*, serta oleh tiga jaringan seismik universitas.

Hingga kini, ilmu tentang tsunami sudah cukup berkembang, meskipun proses terjadinya masih banyak yang belum diketahui dengan pasti. Episenter dari sebuah gempa bawah laut dan kemungkinan kejadian tsunami dapat cepat dihitung. Pemodelan tsunami yang baik telah berhasil memperkirakan seberapa besar tinggi gelombang tsunami di daerah sumber, kecepatan penjarannya dan waktu sampai di pantai, berapa ketinggian tsunami di pantai dan seberapa jauh rendaman yang mungkin terjadi di daratan. Walaupun begitu, karena faktor alamiah, seperti kompleksitas topografi dan batimetri sekitar pantai dan adanya corak ragam tutupan lahan (baik tumbuhan, bangunan, dll), perkiraan waktu kedatangan tsunami, ketinggian dan jarak rendaman tsunami masih belum bisa dimodelkan secara akurat.

Gempa bumi dapat terjadi kapan saja dan sulit untuk diprediksi. Oleh karena itu masyarakat membutuhkan sebuah sistem peringatan dini (*early warning system*) yang berfungsi sebagai “alarm” seandainya terjadi gempa bumi secara tiba-tiba. Mitigasi bencana alam atau upaya preventif untuk meminimalkan dampak negatif bencana alam terhadap manusia, harta benda, infrastruktur dan lingkungan.

Pada bulan Desember 2004 negara kita mengalami bencana tsunami yang juga melanda negara-negara di sekitar Indonesia seperti Thailand, Bangladesh, India, Sri Lanka, bahkan Maladewa, Somalia, Kenya, dan Tanzania yang berada di Afrika. Tsunami yang melanda Aceh dan sebagian Sumatera Utara, sebelumnya ditandai dengan gempa berkekuatan 9,15 magnitudo momen. Ratusan ribu orang tewas, belum lagi korban luka-luka dan korban materi. Jumlah korban yang

sangat besar membuat tsunami ini merupakan tsunami paling mematikan sepanjang sejarah dunia.

Sayangnya, kita tidak memiliki sistem peringatan dini seperti halnya yang ada di Samudera Pasifik. Ini karena kita memang jarang mengalami musibah tsunami. Tsunami terakhir yang cukup besar di Indonesia terjadi pada tahun 1883, yang disebabkan oleh meletusnya Gunung Krakatau di Selat Sunda. Itu berarti sudah lebih dari seabad yang lalu. Setelah ada tsunami ini, UNESCO dan lembaga-lembaga lainnya di dunia mulai merintis pengembangan sistem pengawasan tsunami global untuk wilayah di sekitar Samudera Hindia.

Oleh karena itu kita patut mewaspadaikan kejadian gempa dan dampaknya yang mungkin terjadi sewaktu-waktu. Dimana saja dan dapat terjadi berulang di suatu tempat dalam kurun waktu tertentu.

Hal lain yang perlu diwaspadai pada kejadian gempa adalah dampak Tsunami yang diakibatkannya. Peristiwa Flores, Banyuwangi, Bengkulu, Banggai dan terakhir di Aceh dan Sumatera Utara hendaknya menjadi pelajaran yang sangat berharga bagi kita semua. Gempa yang diiringi dengan air laut yang menyurutkan merupakan petunjuk alam tentang akan terjadinya gelombang tsunami.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, 2005, *Ada Apa dengan "Tsunami" ?*, dalam website:
<http://id.wikipedia.org/wiki/Tsunami>
- Anonymous, 2006, *Bumi bergerak (Moving Earth)*, dalam website:
doddys.wordpress.com/2006/09/
- Anonymous, 2006, *Indonesia Adalah Daerah Rawan Bencana*. dalam website:
www.i-mobilecity.com/infogempa/
- Anonymous, 2006, *Mewaspadaikan Bahaya Gempa dan Tsunami di Indonesia*. dalam website:
www.pu.go.id/.../bencana/gempa/gempatsunami2.htm
- Anonymous, 2006, *Tsunami*, dalam website:
disaster.elvini.net/tsunami.cgi
- Anonymous, 2006, *Tsunami*, dalam website:
www.tsunamis.com
- Fauzi, Ihwan, 2005, *Desain Peta Tanggap Darurat untuk Penanggulangan Bencana Alam Tsunami Berbasis Citra Ikonos dan SRTM (Studi Kasus Banda Aceh)*, Teknik Geodesi ITB: Bandung.
- Hudawati, Nannie, 2003, *Informasi Geospasial dalam mengatasi masalah Kebencanaan dan Kedaruratan di Indonesia*, Forum Komunikasi Geospasial Nasional 2003, 14 - 15 Oktober 2003: Jakarta.
- Kompas, 2005, *Presiden: Lemah, Pengendalian Penanganan Bencana Aceh – Sabtu, 15 Januari 2005*, dalam website: <http://www.kompas.com>
(akses: 1 September 2005), Harian Kompas: Jakarta .

KPP Kelautan ITB, 2004, *Simulasi Tsunami*, ITB: Bandung.

Pratikto, Widi A, 2005, Makalah: *Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil Berbasis Mitigasi Bencana*, Seminar Nasional Sistem Manajemen Air untuk Menata Kehidupan, Kelompok Peneliti Sumber Daya Air-ITB (KPSD-ITB): 15-16 Februari 2005: ITB: Bandung.

Puspito, Nanang T, 2005, *Tsunami: Potensi dan Mitigasinya*, dalam Seminar Nasional Sistem Manajemen Air untuk Menata Kehidupan Kelompok Peneliti Sumber Daya Air-ITB (KPSDA-ITB);15-16 Februari 2005: ITB: Bandung.

Rusydi, Febdian, 2005, *Fenomena Gempa Bumi dan Tsunami*, dalam website:
http://febdian.net/physics_of_tsunami

Sutowijoyo, AP., 2005), *Tsunami, Karakteristiknya dan Pencegahannya*, dalam website:
<http://io.ppi-jepang.org>

- www.wikipedia.org
- www.Geocities.org
- www.bmg.go.id
- www.bakornas.go.id
- fauzi@bmg.go.id
- www.ozone.or.id