

PROSEDING

SEMINAR NASIONAL BASIC SCIENCE III

Tema:

*Kontribusi Sains untuk Pengembangan Pendidikan,
Biodiversitas dan Mitigasi Bencana pada Daerah Kepulauan*



Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Pattimura
Ambon 2010

ISBN : 978-602-97522-0-5

PROSEDING

SEMINAR NASIONAL BASIC SCIENCE II

Kontribusi Sains Untuk Pengembangan Pendidikan,
Biodiversitas dan Mitigasi Bencana
Pada Daerah Kepulauan



SCIENTIFIC COMMITTEE:

Prof. H.J. Sohilait, MS
Prof. Dr. Th. Pentury, M.Si
Dr. J.A. Rupilu, SU
Drs. A. Bandjar, M.Sc
Dr.Ir. Robert Hutagalung, M.Si

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PATTIMURA
AMBON, 2010**

2 Juli 2010

Pemetaan Gempa-Tsunami di Wilayah Tektonik Maluku dan Upaya Mengurangi Dampak Risiko

Robert Hutagalung

*Fisika FMIPA, Unpatti**e-mail: robert_hutagalung@yahoo.com*

ABSTRAK

Lokasi penelitian dibagi menjadi 2 blok, yaitu: blok I (1°LS - 4°LU dan 126°BT - 132°BT), meliputi Halmahera dan Maluku bagian Utara dan blok II ($1,2^{\circ}\text{LS}$ - 4°LS dan $124,5^{\circ}\text{BT}$ - 132°BT), meliputi Maluku bagian Selatan. Hampir semua wilayah ini berada pada kondisi tektonik aktif. Data yang digunakan adalah data gempa dari tahun 1950-1990 dengan magnitudo $>4\text{Mb}$. Jenis gempa yang terekam adalah gempa dangkal dan sedang. Untuk blok I, gempa dangkal menyebar hampir di seluruh wilayah dengan tingkat seismisitas tertinggi sebelah barat Halmahera berbatasan dengan sesar Sangihe dan di sebelah utara Halmahera, dimana magnitudo terbesar $6,8\text{ Mb}$. Sedangkan untuk blok II, gempa dangkal hampir menyebar di seluruh wilayah dengan seismisitas tertinggi di sekitar sesar Sula dan *Sula platform*, dimana magnitudo terbesar $5,8\text{ Mb}$. Hasil perhitungan nilai b untuk blok I dan II hampir sama, yakni: gempa dangkal dan menengah sebesar: ($1,6707 \pm 0,1177$; $1,3567 \pm 0,0927$); dan ($1,4616 \pm 0,07735$; $1,1705 \pm 0,0141$). Total energi yang dilepaskan (dalam erg): blok I dengan dua zona subduksi Halmahera ($2,00187 \times 10^{23}$); blok II dengan adanya Sesar Anjak Sula ($3,6428 \times 10^{22}$). Perhitungan ini menunjukkan sangat berpotensi terjadi gempa yang berbahaya. Secara geologi, umumnya kejadian gempa besar pada masa lalu akan terulang kembali pada masa yang akan datang. Walaupun tidak dapat diketahui secara pasti kapan terjadi, namun berpotensi mengakibatkan adanya gelombang tsunami. Risiko paling besar adalah masyarakat yang tinggal/berada di pesisir dan pantai. Dengan demikian, perlu dilakukan upaya-upaya mengurangi banyaknya korban.

Kata Kunci: Pemetaan, Gempa, Tsunami dan Risiko.

PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah satu fenomena proses dinamika bumi yang telah dikenal manusia sejak lama. Sifat kedatangannya adalah tiba-tiba dan mempunyai daya rusak yang sangat dahsyat. Fenomena ini berkaitan erat dengan proses internal bumi, khususnya proses dinamika bumi dan pergerakan lempeng (Hutagalung, 1996).

Penyebaran pusat-pusat gempa dalam waktu dan ruang telah banyak dipetakan seismolog. Dalam domain waktu yang tak terhingga penyebaran itu memenuhi distribusi Poisson (Smalley, et. al., 1987). Tetapi teori ini tak dapat mengkuantifikasi pola kegempaan dalam waktu

2 Juli 2010

tertentu, sehingga gempa yang akan terjadi waktunya belum dapat diprediksi. Terjadinya gempa bumi tidak dapat dihindari, yang dapat dilakukan adalah mempelajarinya untuk meminimumkan korban yang ditimbulkan. Estimasi mengenai energi gempa masih merupakan hal yang banyak mengundang keragu-raguan. Energi gempa umumnya hanya diestimasi secara subjektif melalui parameter magnitudo gempa, sedangkan selain parameter magnitudo gempa juga dikenal parameter yang diturunkan dari konsep magnitudo yaitu intensitas. Biasanya intensitas dihubungkan dengan tingkat kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa bumi.

Gempa bumi tercatat sebagai bencana yang paling besar menelan korban jiwa dan infrastruktur, tergantung lokasi episenter, hiposenter, jenis batuan, medium yang dilalui gelombang pembawa energi (Hutagalung, 2005). Usaha untuk mengurangi korban adalah langkah yang paling tepat untukantisipasi. Langkah ini dapat dilakukan dengan memberikan pengetahuan tentang gempa dan gejala-gejalanya, pengetahuan tentang tindakan penyelamatan diri melalui pendidikan, pelatihan dan sosialisasi. Peran teknologi juga sangat diperlukan untuk mengurangi korban, seperti tata kota, perencanaan bangunan dan infrastruktur tahan gempa serta sistem teknologi peringatan dini (*warning system*). Salah satu alternatif bagi masyarakat yang masih selamat adalah mengungsi ke tempat yang dianggap aman dan khusus gelombang tsunami agar para korban segera mencari tempat yang tinggi.

METODE DAN MATERI

Metode dan materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah: (1) mengumpulkan data gempa bumi daerah observasi dengan magnitudo di atas 4 Mb tahun 1950-1990 dari badan Meteorologi dan Geofisika-Jakarta; (2) analisis regional daerah Maluku yang dibagi menjadi 2 lokasi (blok), yaitu: (a) blok I ($1^{\circ}\text{LS}-4^{\circ}\text{LU}$ dan $126^{\circ}\text{BT}-132^{\circ}\text{BT}$), meliputi Halmahera dan Maluku bagian Utara; dan (b) blok II ($1,2^{\circ}\text{LS}-4^{\circ}\text{LS}$ dan $124,5^{\circ}\text{BT}-132^{\circ}\text{BT}$), meliputi Maluku bagian Selatan; (3) analisis seismisitas dan hubungannya dengan lingkungan tektonik; (4) pemetaan lokasi pusat-pusat gempa; (5) perhitungan energi yang dilepaskan oleh kedua wilayah penelitian serta penentuan besarnya nilai b ; (6) fenomena alam pertanda gempa; (7) sosialisasi gempa dan pelatihan/pendidikan; (8) teknik penyelamatan diri; dan (9) simpulan.

SUMBER GEMPA BUMI

Gelombang yang menyertai gempa bumi disebut sebagai gelombang seismik dan berasal dari suatu sumber energi di suatu tempat dalam bumi. Meskipun untuk gempa alamiah sumber ini terdistribusi pada suatu volume batuan, sering kali dianggap sumber gempa sebagai suatu titik darimana gelombang seismik dipancarkan dan titik inilah yang disebut fokus gempa (*earthquakes focus*). Fokus berada pada suatu kedalaman di bawah permukaan bumi, sedangkan titik pada permukaan yang berada tepat di atas fokus disebut episenter gempa (*earthquakes epicentre*).

SEISMISITAS DAN TEKTONIK DAERAH MALUKU

Tingkat seismisitas daerah observasi terekam dari tahun 1950-1990 dengan besar magnitudo > 4 Mb. Untuk menentukan pola gempa yang terjadi di wilayah Maluku dan sekitarnya dapat dilakukan perhitungan statistik dengan interval kedalaman hiposenter 10 Km selama selang waktu 10 tahun. Gempa yang terjadi ditinjau dari kedalaman hiposenter terdiri dari 2 jenis, yaitu: Gempa Dangkal dengan kedalaman hiposenter 0-100 km dan Gempa Sedang dengan kedalaman hiposenter 100,1-300 km.

Pada wilayah Halmahera dan sekitarnya (blok I), terjadi dua jenis gempa, yaitu: (a) Gempa Dangkal yang menyebar hampir seluruh wilayah blok tersebut dengan tingkat seismisitas tertinggi terdapat di sebelah barat Halmahera berbatasan dengan Sesar Sangihe dan di sebelah Utara pulau Halmahera . Magnitudo paling besar 6,8 Mb, terjadi dua kali dan (b) Gempa Sedang, terjadi dengan frekuensi relatif kecil tetapi hampir merata di wilayah blok I. Pada wilayah Maluku bagian Selatan (blok II), terjadi dua jenis gempa, yaitu: (a) Gempa Dangkal yang menyebar hampir di seluruh wilayah tersebut dengan tingkat seismisitas tertinggi sekitar Sesar Sula dan *Sula Platform*. Magnitudo paling besar 5,6 Mb, terjadi satu kali, dan (b) Gempa Sedang, terjadi dengan frekuensi relatif kecil selama selang waktu 40 tahun.

BESAR ENERGI YANG DILEPASKAN GEMPA BUMI DAN BESAR NILAI b

Besarnya nilai b dapat dihitung dengan persamaan: $\log N(L) = a - b.m (L)$. Dengan membuat garis linier hasil plot antara $\log N$ (\log penjumlahan gempa berurut dari magnitudo tertinggi sampai terendah), dengan magnitudo mewakili sumbu x , a adalah konstanta dari persamaan garis lurus metode " *Least Square* ", maka didapat nilai b untuk tiap-tiap wilayah.

2 Juli 2010

Semakin besar nilai b, semakin besar pula kemungkinan akan terjadi gempa dan sebaliknya semakin kecil nilai b, semakin kecil pula kemungkinan terjadi gempa.

Salah satu besaran fisis lain yang digunakan sebagai ukuran besar kecilnya gempa adalah energi yang dilepaskan oleh sumber gempa tersebut. Menurut Guttenberg dan Richter, besarnya energi gelombang seismik dapat diperkirakan dari besarnya magnitudo gelombang permukaan Ms (Silver,1981).

Tabel 1 Perhitungan Frekuensi Gempa dan Energi yang Dilepaskan

MAGNITUDO (Mb)	FREKUENSI GEMPA		ENERGI TOTAL	
	BLOK I (Mal.Utara)	BLOK II (Mal.Sel)	BLOK I (Mal.Utara)	BLOK II (Mal.Sel)
4	8	6	$1,1 \cdot 10^{19}$	$7,5 \cdot 10^{18}$
4,1	14	7	$1,9 \cdot 10^{19}$	$9,7 \cdot 10^{18}$
4,2	19	9	$1,9 \cdot 10^{19}$	$1,8 \cdot 10^{19}$
4,3	26	11	$7,0 \cdot 10^{19}$	$3 \cdot 10^{19}$
4,4	65	22	$2,5 \cdot 10^{20}$	$8,3 \cdot 10^{19}$
4,5	68	21	$3,5 \cdot 10^{20}$	$1,1 \cdot 10^{20}$
4,6	105	25	$7,7 \cdot 10^{20}$	$1,8 \cdot 10^{20}$
4,7	135	33	$1,3 \cdot 10^{21}$	$3,4 \cdot 10^{20}$
4,8	175	33	$2,4 \cdot 10^{21}$	$4,7 \cdot 10^{20}$
4,9	164	26	$3,1 \cdot 10^{21}$	$4,9 \cdot 10^{20}$
5	133	3	$3,6 \cdot 10^{21}$	$8,3 \cdot 10^{21}$
5,1	196	31	$7,5 \cdot 10^{21}$	$1,2 \cdot 10^{21}$
5,2	152	28	$8,1 \cdot 10^{21}$	$1,5 \cdot 10^{21}$
5,3	119	12	$8,9 \cdot 10^{21}$	$9 \cdot 10^{20}$
5,4	84	17	$1,2 \cdot 10^{21}$	$1,8 \cdot 10^{21}$
5,5	94	17	$1,3 \cdot 10^{21}$	$2 \cdot 10^{21}$
5,6	54	1	$1,1 \cdot 10^{21}$	$1,4 \cdot 10^{20}$
5,7	31	5	$8,7 \cdot 10^{21}$	$1,5 \cdot 10^{21}$
5,8	27	4	$1,1 \cdot 10^{21}$	$1,6 \cdot 10^{21}$
5,9	12	2	$6,5 \cdot 10^{21}$	$1,1 \cdot 10^{21}$
6	14	-	$1,1 \cdot 10^{21}$	-
6,1	7	1	$7,4 \cdot 10^{21}$	$1,1 \cdot 10^{21}$
6,2	6	2	$8,8 \cdot 10^{21}$	$2,9 \cdot 10^{21}$
6,3	3	3	$6,2 \cdot 10^{21}$	$6,1 \cdot 10^{21}$
6,4	3	1	$8,6 \cdot 10^{21}$	$2,9 \cdot 10^{21}$
6,5	4	1	$1,6 \cdot 10^{22}$	$4 \cdot 10^{21}$
6,6	2	1	$1,1 \cdot 10^{22}$	$1,1 \cdot 10^{21}$
6,7	-	-	-	$5,6 \cdot 10^{21}$
6,8	3	-	$3,2 \cdot 10^{22}$	-
6,9	-	-	-	-

2 Juli 2010

$$\frac{7}{\text{Total Energi yang Dilepaskan (Erg)}} : \frac{-}{2.10^{23}} \frac{-}{3.6.10^{22}}$$

Jenis gempa yang terjadi dan perhitungan besar nilai b, adalah: (a) Maluku Utara atau Halmahera dan sekitarnya (blok I), Gempa Dangkal= $1,6707 \pm 0,1177$; Gempa Menengah= $1,3567 \pm 0,0927$; dan (b) Maluku bagian Selatan (blok II), Gempa Dangkal= $1,4616 \pm 0,0735$; dan Gempa Menengah= $1,1705 \pm 0,014$. Seismisitas tertinggi dan total energi yang dilepaskan (dalam erg), adalah: blok I dengan dua zona subduksi, Halmahera ($2,00187 \times 10^{23}$) disusul blok II dengan adanya Sesar Anjak Sula ($3,6428 \times 10^{22}$).

LOKASI PUSAT-PUSAT GEMPA BERDASARKAN TATANAN TEKTONIK

Dari hasil analisis dan pemetaan, maka pusat-pusat gempa tektonik Maluku terdapat di 4 wilayah (Hutagalung, 1996), sebagai berikut:

1) Sesar Anjak Sula

Sesar Anjak Sula dibagi atas timbunan tingkatan *dipping* pada sisi utara *platform* yang kompleks membentuk material sampai ke selatan (Silver, 1981; Tjia, 1981). Keseluruhan penampang dari arah timur sampai bagian timur Sulawesi dilalui sesar dan disebut: “*Sula Thrust*” dipetakan oleh Hamilton sebagai “*North Sorong Sula Fault*” (Hamilton, 1979), tetapi akhir dari sesar itu belum berhubungan dengan longitudinal sesar zona laut Maluku. Tektonik sesar Sula dan hubungannya dengan sesar tidak dapat digambarkan dengan jelas, walaupun pada dasarnya akan ditunjukkan oleh konvergensi kedalaman laut antara *Sula platform* dan daerah ke arah selatan. Alternatif lain hasilnya lateral benturan laut Maluku ke arah utara di atas *platform*, ditunjukkan dengan benturan-benturan laut Maluku.

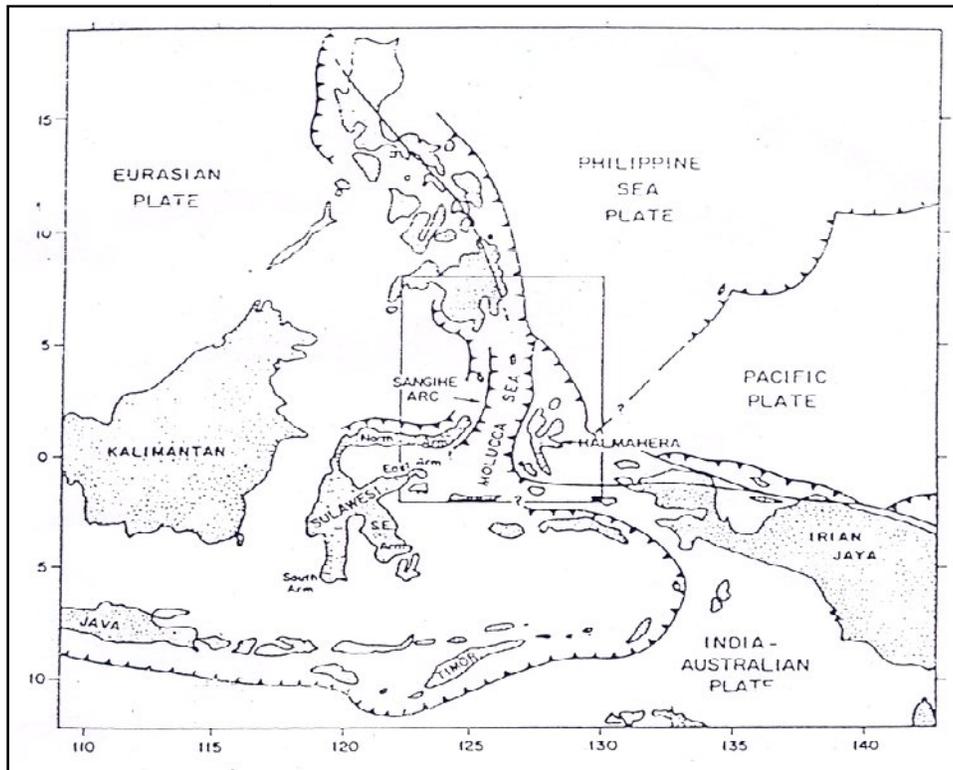
2) Sesar Anjak Sangihe Timur

Sesar Anjak Sangihe Timur adalah sesar yang berarah selatan pulau Sangihe, memanjang pada batas tepi barat benturan laut Maluku. Sesar ini mengarah ke Selatan lengkungan sekitar barat benturan, melintasi sesar 52 km dari Gorontalo basin. Penampang ini menunjukkan benturan material dengan cepat dan kompleks terdiri atas topografi yang tinggi, gaya gravitasi bebas sangat rendah ditunjukkan pada Gorontalo basin. Subduksi lempeng laut Maluku di bawah Gorontalo basin secara fisik berakhir pada titik pertengahan bagian selatan dan didefenisikan

2 Juli 2010

sebagai seismisitas, karena relatif banyak terdapat titik-titik sumber gempa. Sesar ini juga meliputi Sesar Anjak Batui, tetapi tidak berlanjut ke arah timur (Hutagalung, 1996).

Perkembangan sesar Sangihe Timur belakangan ini mempengaruhi sesar Sula dan berlanjut jauh sampai ke arah barat perpotongan.



Sumber: Hutagalung, 1996.

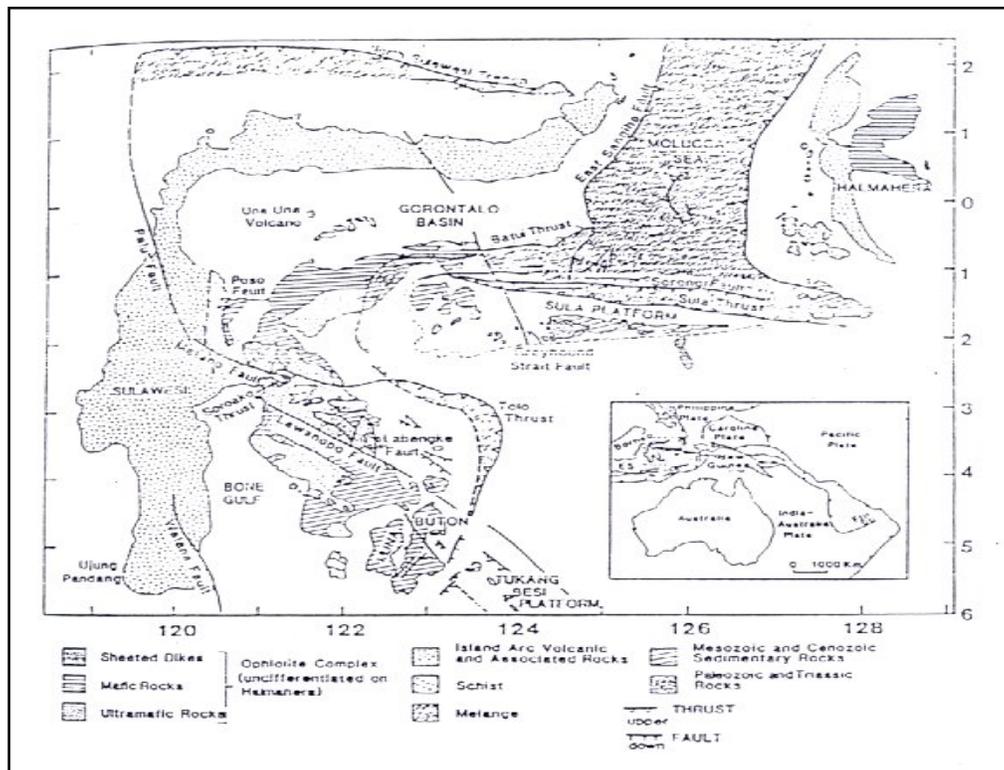
Gambar 1 Peta Tektonik Regional Indonesia Bagian Timur

3) *The Greyhound Strait Fault*

Bagian Selatan platform sangat curam dapat digunakan untuk memperoleh original daya lateral sesar, tetapi *slope* penampang menyilang tidak dapat diindikasikan dengan cepat. Bentuk yang menonjol berkembang atas perpecahan zona struktur, pada umumnya dapat mengakibatkan terjadinya sesar. Bukti-bukti perpotongan/penyilangan sesar ini ditandai dengan lokasi Sesar Anjak Sula bagian selatan akan nyata bila digambarkan dengan perpotongan sesar. Sesar yang ditunjukkan pada basin cenderung berarah *North West* (NW)

2 Juli 2010

memotong platform disebut “ *Greyhound Strait Fault*” . *Greyhound Strait Fault* berlanjut dari NW ke arah timur (Gambar 2).



Sumber: Hutagalung,1996.

Gambar 2 Peta Tektonik Daerah Sulawesi dan Laut Maluku.

4) Zona Benturan Laut Maluku

Zona benturan laut Maluku terletak pada daerah sekitar antara lempeng Eurasian, Australia, Pasifik dan Philipina (Gambar 2). Dua busur vulkanik, yaitu: Sangihe pada bagian barat dan busur Halmahera pada bagian timur termasuk aktif melengkung cembung ke depan laut Maluku. Pusat-pusat gempa membatasi 2 zona *benioff* , semua memanjang melengkung dari laut Maluku di bawah sisi busur vulkanik. Busur mendekati 250 km, paling rendah 3 km membatasi busur sepanjang laut Maluku.

2 Juli 2010

Pulau Halmahera mempunyai bentuk seperti pulau Sulawesi, bagian barat termasuk busur vulkanik dengan umur *cenozoic* terlambat dan *eocene*. Zona subdaksi minor berbatasan dengan Sangihe dan Halmahera dimana permukaan laut sesuai *acoustik* batuan tidak dapat dilarutkan pada punggung Talaud-Mayu sehingga mengisi deformasi *Trench*. Penampang laut Maluku menunjukkan pada hakekatnya mempunyai struktur tidak terpisah dengan tepi Talaud karena dihubungkan oleh *thrust*, dengan panjang 150 km lebih dan 500 km lebih. Batas timur daerah benturan terbentuk pada bagian selatan busur Halmahera dan pada bagian utara digambarkan pada basin Morotai. Busur bagian selatan paling ujung Halmahera menahan bagian utara paling ujung. Bagian atas dan bawah terdiri dari tiga *sequence*, yakni: menahan secara banyak, sedang dan sedikit.

Analisis ini berdasarkan data-data gempa sebelumnya dan tatanan tektonik wilayah penelitian. Gejala-gejala maupun kejadian aktivitas bumi akan berulang, jadi gempa yang besar di masa lampau akan terjadi kembali di masa yang akan datang dengan karakteristik yang sama.

ANALISIS GEMPA-TSUNAMI DI TATANAN TEKTONIK MALUKU

Gelombang tsunami dapat terjadi jika lokasi pusat gempa di laut dan umumnya jenis gempa dangkal. Gelombang tsunami berperan sebagai gelombang air dangkal dan model gelombangnya berlapis-lapis. Energi gelombang tsunami adalah fungsi perkalian antara tinggi dan kecepatan gelombang. Hampir tidak ada kehilangan energi atau dianggap konstan saat gelombang merambat.

Dari hasil penelitian diperoleh, bahwa wilayah Maluku bagian selatan dan utara sangat berpotensi tsunami. Tinggi gelombang berbanding terbalik dengan kecepatan rambat gelombang. sehingga ketika air menuju daratan, gelombang air laut makin tinggi, tetapi kecepatannya berkurang. Hasil penelitian kriteria gelombang tsunami di wilayah tektonik Maluku, diperoleh: kecepatan gelombang 22-99 m/s (61-275 km/jam), panjang gelombang 10,6-48 km, tinggi gelombang maksimum 25 meter dan energi yang dilepaskan dalam satu frekuensi gempa $1,08 \cdot 10^{15}$ Joule. Faktor eksternal yang dapat mempengaruhi gelombang adalah tofografi wilayah pantai Maluku umumnya berbentuk *plunging* dan *surging* yang mampu membangkitkan gelombang, sehingga gelombang yang tiba di daratan bertambah tinggi (Hutagalung, 1999).

2 Juli 2010

Menurut Van Bemmelen, aktivitas tektonik bumi secara global terjadi di Maluku dalam kurun waktu 100 tahun, yang menyebabkan terjadinya gempa sangat besar. Bila dikaitkan dengan gempa Elpha putih 1899, maka gempa sangat besar terjadi di Maluku tahun 1999. Teori Van Bemmelen tidak dapat dijadikan sebagai acuan baku, namun sampai saat ini masih relevan. Dalam kurun waktu 100 tahun dari Elpha putih, terjadi aktivitas lokal 25,50,75 tahun dan hal ini dapat memperlambat atau mempercepat terjadinya gempa yang sangat besar di Maluku yang berkarakteristik sama dengan gempa Elpha Putih (Hutagalung,2007). Dengan demikian diprediksikan bahwa energi maksimum dimungkinkan terjadi mendekati tahun 2024 atau 2049.

PERAN IPTEK MENGHADAPI BENCANA GEMPA-TSUNAMI

Secara pasti, tidak dapat diketahui kapan bencana gempa bumi ini terjadi, namun berpotensi mengakibatkan adanya gelombang tsunami, karena sebagian besar sumber gempanya berada di laut. Risiko yang paling besar adalah wilayah Halmahera dan sekitarnya, khususnya pemukiman dataran rendah, pesisir dan pantai.

Peran teknologi sangat diharapkan untuk mengurangi banyaknya korban, misalnya sistem teknologi peringatan dini (*Warning system*). Spesifikasi teknologi ini, harus mampu merekam dan memberikan informasi gempa dengan cepat. Gelombang yang terekam harus di fokus gempa (*earthquakes fokus*), kecepatan memberikan informasi harus lebih cepat dari kecepatan rambat gelombang seismik yang dipancarkan oleh gempa, artinya masyarakat sudah mengetahui lebih dahulu gempa yang terjadi sebelum energi gempa maupun gelombang tsunami sampai ke tempat-tempat pemukiman.

Upaya lain adalah perlu dilakukan evaluasi/penelitian terhadap kondisi batuan/geologi (medium yang dilalui gelombang seismik gempa), tata kota, bangunan/jalan dan pemukiman saat ini. Sistem tata kota, infra struktur, jalan-jalan, bangunan/gedung dan sebagainya harus diarahkan pada peraturan/konsep-konsep tahan gempa mulai dari perencanaan sampai tahap pembangunan. Disamping itu, masyarakat harus diberi pengetahuan tentang gempa, bahaya, gejala dan cara penyelamatan efektif melalui pendidikan formal dan non formal.

PENCEGAHAN DAN PENANGGULANGAN TSUNAMI

2 Juli 2010

Secara teoritis, memprediksi tsunami lebih mudah dibandingkan dengan gempa bumi. Tenggang waktu antara terjadinya gempa dan tibanya gelombang tsunami di pantai dapat digunakan upaya penyelamatan diri serta analisis karakteristik gempa. Gejala alamiah juga dapat dijadikan sebagai acuan untuk memprediksi akan terjadinya tsunami.

Penanggulangan tsunami sebagai upaya mengurangi dampak risiko dapat dilakukan masyarakat dan pemerintah. Tindakan yang perlu dilakukan oleh masyarakat adalah: (a) jarak pemukiman minimal 100 meter dari garis pantai; (b) menanam pohon di sekitar pantai yang mampu menahan gelombang, seperti palem, waru, camplung, beringin dan sejenisnya; dan (c) menaati tata guna lahan. Tindakan yang harus dilakukan oleh pemerintah adalah: (a) pemetaan atau identifikasi wilayah rawan gempa dan tsunami; (b) penyuluhan tentang gempa-tsunami kepada masyarakat di daerah rawan gempa dan berpotensi tsunami; (c) proteksi daerah yang rawan tsunami atau jalur hijau sekitar 200 meter dari garis pantai; (d) menata pemukiman di belakang jalur hijau, tetapi bila terpaksa harus dekat pantai, diupayakan rumah panggung (bagian bawah kosong); (e) membuat peraturan dan dasar hukum yang jelas, tegas, kuat dalam upaya penggunaan lahan di wilayah pantai; (f) penanganan serius dari pemerintah agarantisipasi lebih terarah dan terkontrol; (g) membentuk sistem peringatan dini tsunami (*tsunami warning system*); dan (h) kerjasama dengan PTWS (*Pacific Tsunami Warning System*).

FENOMENA ALAM PERTANDA GEMPA

Fenomena alamiah dapat dijadikan sebagai pertanda akan terjadinya gempa, antara lain: (a) Awan tegak. Awan tegak di langit berbentuk seperti angin tornado, batang dan pohon. Bentuk ini terjadi karena adanya gelombang elektromagnetis yang sangat besar dari dalam bumi sehingga mampu menarik (mengisap) daya listrik di awan akhirnya bentuk awan seakan tersedot ke bawah. Hal ini terjadi akibat adanya patahan atau pergeseran lempeng bumi ; (b) Uji magnetis di dalam rumah. Gelombang elektromagnetis akan semakin besar di sekitar kita, sehingga gambar dan siaran TV sangat terganggu (tidak seperti gangguan biasa). Jika kita menerima faks, hasilnya berantakan; (c) jika lampu neon dimatikan tapi tetap menyala meskipun tanpa aliran arus listrik; (d) gelombang/sinyal telepon seluler bergerak berubah-ubah (terganggu) secara cepat; dan (e) hewan-hewan gelisah, seperti menghilang atau lari-lari

2 Juli 2010

tidak menentu, meraung bahkan beberapa hewan liar keluar meninggalkan habitatnya (Hartuti,2009).

TEKNIK PENYELAMATAN DIRI

Tindakan yang perlu diperhatikan dan dilakukan menghadapi bahaya tsunami, adalah: (a) jangan panik; (b) jangan dijadikan gelombang tsunami sebagai tontonan; (c) jika air laut surut jauh dari batas normal, dimungkinkan tsunami, segera bergerak menuju tempat yang lebih tinggi (Anonim,2009). Jika dimungkinkan, bergerak menuju bukit dan bawa keluarga, tetapi jika situasi tidak dimungkinkan, bergerak/naik menuju bangunan yang bertulang baja; dan (d) jika dimungkinkan, gunakan jaket hujan tetapi barang apapun jangan dibawa.

Setelah terjadi tsunami dan dinyatakan aman tsunami, maka: (a) kembali ke rumah, periksa keluarga satu persatu; (b) daerah yang rusak tidak boleh, kecuali ada ijin dari tim ahli; (c) hindari instalasi listrik; (d) melapor ke posko terdekat; dan (e) kembali dalam kehidupan normal, diupayakan melupakan peristiwa yang baru saja terjadi.

Sebelum terjadi gempa bumi, perlu dipahami pengetahuan tentang gempa bumi. Pondasi rumah harus kokoh, saluran air panas dan gas harus tertanam dengan kuat serta gunakan sambungan pipa yang lentur. struktur bangunan harus dievaluasi dan direnovasi secara berkala. Tindakan yang harus dilakukan berdasarkan tempat berada, antara lain: (a) Dalam kantor atau rumah. Perhatikan letak pintu, lift, tangga darurat, belajar memberikan pertolongan pertama pada kecelakaan (PPPK), belajar menggunakan alat pemadam kebakaran dan mencatat nomor penting yang mudah dihubungi (BMKG,2009). Perabotan lemari, kabinet, rak, harus menempel ke dinding dan diberi paku pengikat. Benda-benda yang tergantung harus stabil dan letak hiasan dinding harus jauh dari tempat tidur, sofa serta kursi. Bahan yang mudah terbakar disimpan pada tempat yang tidak mudah pecah. Barang pecah belah diletakkan pada rak bagian bawah dan dalam keadaan terkunci. Matikan air, gas, alat elektronik jika tidak digunakan. Senter dan P3K harus selalu tersedia. Saat terjadi gempa, berusaha keluar melalui tangga biasa atau jangan menggunakan lift. Jika tidak mungkin keluar ruangan, lindungi kepala, berlindung di bawah meja, jangan berlindung dekat jendela atau tembok. tetapi jika tidak ada meja, kepala dilindungi dengan bantal; (b) Di dapur. Alat masak segera dimatikan; (c) Di mall, bioskop atau lantai dasar gedung. Jangan membuat orang lain panik; (d) Di lift. Tekan semua tombol dan segera keluar ketika lift berhenti, jika

2 Juli 2010

terjebak di lift, hubungi petugas gedung; (e) Di luar gedung. Lindungi kepala dengan tangan, tas atau benda lainnya dan jauhi gedung, tembok, tiang listrik, pohon, papan reklame dan sebagainya. Perhatikan tanah, jauhi rekahan/tanah retak; (f) Sedang mengendarai, seakan-akan ban mobil gundul/tergelincir. Segera berhenti di pinggir jalan, matikan mesin, jauhi persimpangan, pohon, tiang listrik, papan reklame, tembok dan segera keluar serta menjauh dari mobil, biarkan mobil dalam keadaan tidak terkunci; (g) Di pegunungan. Segera jauhi tebing, pohon besar atau benda-benda yang bisa runtuh; (h) Di pantai. Segera jauhi garis pantai dan berlindung di daerah rimbunan. Jika dimungkinkan, dengarkan informasi dari media massa dan waspada dengan gempa susulan.

Setelah gempa selesai posisi masih dalam ruangan, segera keluar melalui tangga biasa dan data ulang sanak saudara. Periksa keamanan sekitar, hati-hati ancaman kebakaran, tutup pipa gas jika diduga bocor dan jangan dibuka sebelum diperbaiki ahlinya; matikan meteran listrik; jauhi kabel listrik, meskipun meteran sudah mati; gunakan senter sebagai penerang, jangan menggunakan korek api, lilin, obor dan gas. Jika gedung/rumah memungkinkan untuk dimasuki dan dibersihkan, maka kenakan celana panjang, sepatu yang kuat, pengaman kepala dan sarung tangan.

Desain rumah atau gedung tahan gempa harus disesuaikan dengan jenis batuan, kondisi geologi dan lingkungan tektoniknya. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan adalah: (a) denah harus sederhana dan simetris; (b) bahan bangunan harus seringan mungkin; (c) pembebanan harus disesuaikan dengan konstruksi dan bahan; (d) konstruksi penahan beban harus memadai; (e) struktur pondasi dipasang keliling dan diikat kaki dengan kolom; (f) *sloof* diangkur ke pondasi; (g) gaya – gaya aksial ditahan oleh dinding; (h) kekakuan struktur dan (i) dinding adalah pembatas bukan sebagai penopang.

KESIMPULAN

1. Tingkat seismisitas tertinggi pusat gempa terdapat pada sesar, subduksi dan palung.
2. Kedua wilayah penelitian dilalui sesar aktif dan tergolong daerah rawan gempa serta berpotensi terjadinya gelombang tsunami. Urutan risiko tertinggi, adalah: blok I (Maluku Utara) disusul blok II (Maluku).

2 Juli 2010

3. Gempa-Tsunami berpotensi terjadi dengan kriteria gelombang: kecepatan 22-99 m/s (61-275 km/jam), panjang 10,6-48 km, tinggi maksimum 25 meter dan energi yang dilepaskan dalam satu frekuensi gempa $1,08 \cdot 10^{15}$ J.
4. Faktor eksternal yang dapat mempengaruhi gelombang adalah topografi wilayah pantai, umumnya berbentuk *plunging* dan *surging* yang mampu membangkitkan gelombang menjadi tambah tinggi,
5. Energi yang dilepaskan oleh subduksi lebih besar dari energi yang dilepaskan oleh sesar dan palung.
6. Peran teknologi sistem peringatan dini (*Warning System*), sangat dibutuhkan untuk mengurangi besar korban akibat gempa dan gelombang tsunami.
7. Topografi dan pantai di wilayah penelitian berperan menambah besar gelombang tsunami.
8. Sistem tata kota, bangunan/gedung, jalan dan infra struktur diarahkan dengan membuat peraturan/konsep tahan gempa sejak perencanaan sampai pembangunan.
9. Masyarakat perlu mengetahui gejala dan bahaya gempa/tsunami serta cara/langkah efektif menyelamatkan diri melalui pendidikan formal dan non formal.
10. Perlu diubah pola pikir dari penanganan pasca bencana menjadi penanganan prabencana.
11. Perlu disusun SOP untuk keselamatan bencana gempa dan tsunami.
12. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk jarak pusat gempa ke pemukiman dan topografi lokal pemukiman rawan gempa sekitar pantai.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2009. Gelombang Tsunami. (cited 2009 Okt. 10). Availabel At: <http://www.edukasi.net>.
- BMKG. 2009. Cara Penyelamatan dari Bahaya Gempa Bumi. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofika.
- Hamilton,W.. 1979. Earthquake Map of the Indonesia Region.Misc. Invest Ser. Map I-875-C.U.S. Geology Survey. Denver, Colo.
- Hartuti,E.R. 2009. *Buku Pintar Gempa*. Yogyakarta: DIVA press.
- Hutagalung,R. 2007. *Prediksi Tentang Gempa-Tsunami di Bali*. Denpasar: Bali Pos.

2 Juli 2010

- Hutagalung, R. 2006. Seismisitas Tektonik Sulawesi-Maluku dan Penerapan Ergonomi Untuk Mengurangi Dampak Risiko. Proceeding Simposium Nasional RAPI V, Peran Teknologi Menanggulangi Bencana. Surakarta, 9 Desember.
- Hutagalung, R. 2005. Sistem Pengaturan Distribusi Bantuan Kepada Korban Bencana Gempa Bumi di Pulau Nias dan Sekitarnya. Proceeding Seminar Nasional Ergonomi dan K3. Semarang, 15 November.
- Hutagalung, R. 1999. Oseanografi dan Pemodelan Numerik. Bandung: ITB-EUIDP.
- Hutagalung, R. 1996. Seismisitas Daerah Minahasa-Halmahera dan Hubungannya dengan Lingkungan Tektoniknya. Bandung: ITB.
- Silver, E. 1981. A New Tectonic Map of Eastern Indonesia, in Geology and Tectonics of Eastern Indonesia. Spec. Pub. 2. Edited by J. Barber and S. Wirosujono. p. 343-347. Geological Research and Development Center. Bandung, Indonesia.
- Smalley, R.F. 1987. A Fractal Approach to the Clustering of Earthquakes Application to the Seismicity of the New Hebrides. Bulletin Seismological Society America. vol: 77. p. 1368-1381.
- Tjia, H.D. 1981. Examples of Young Tectonism in Eastern Indonesia, in the Geology and Tectonics of Eastern Indonesia. Spec. Pub. 2. Edited by A.J. Barber and S. Tjokrosapoetro. p. 89-104. Geological Research and Development Center. Bandung, Indonesia.