

VOL. 1 NO. 4 DESEMBER 2011

GEO MAGZ

MAJALAH GEOLOGI POPULER



Dekade Teror GEMPA SUMATRA

Profil

Emmy Suparka

Profesor Geologi
Perempuan Pertama
Indonesia

Kekerabatan
EMAS dan PANAS BUMI

Esei Foto

**Aceh, Sekelumit Masa Lalu
dan Semangat Pasca Tsunami**



ARTIKEL

Dekade Teror Gempa Sumatra 16 •.....
Puluh Weh, Gunung Api
di Kilometer Nol 44

Kekerabatan Emas dan Panas Bumi 50
Mitigasi Tsunami di Pulau Sumatra 60



RESENSI BUKU

Menyelamatkan Diri dari Tsunami 74 •.....
Tsunami Gelombang Pembunuh 78

• PROFIL 80

Emmy Suparka

Profesor Geologi Perempuan Pertama Indonesia



• GEOTREK 86

Menelusuri Sabuk Geologis Timah Bangka
Melabrak Mitos Waktu Rawan di Tambang Timah



ESEI FOTO 92 •.....

Aceh, Sekelumit Masa Lalu
dan Semangat Pasca Tsunami



Geomagz Majalah Geologi Populer **Pelindung** Kepala Badan Geologi **Pembina** Sekretaris Badan Geologi **Pemimpin Redaksi** Oman Abdurahman **Wakil Pemimpin Redaksi** Priatna **Sekretaris Redaksi** Syamsul Rizal Wittiri **Dewan Redaksi** Eddy Mulyadi, Rukmana N. Adhi, Budi Brahmantyo, Oki Oktariadi, T. Bachtiar, Moch. Nugraha Kartadinata, Imam Santosa, Prima M. Hilman, Sinung Baskoro, Teuku Ishlah **Redaktur Pelaksana** Joko Parwata, Hadiano, Bunyamin, Wineta Andaruni, Wiguna **Penata letak** Gunawan, Mohamad Masyhudi **Dokumentasi** Asep Sofyan, Titan Roskusumah, Sofyan Suwardi (Ivan), Fera Damayanti **Sekretariat** Dimas Ario Prasetyo, Fatmah Ughi, Nurul Husaeni **Distribusi** Rian Koswara, Budi Kurnia, Riantini

Sekretariat Redaksi: Badan Geologi, Gedung II Lt. 2 Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, Jl. Diponegoro No. 57 Bandung Telp. 022-72277393 e-mail: geomagz@bgl.esdm.go.id

Setiap artikel atau tulisan yang dikirim ke redaksi hendaknya ditik dengan spasi rangkap, maksimal 5000 karakter, ditandatangani dan disertai identitas. Untuk format digital dikirim ke alamat email redaksi. Setiap artikel/tulisan/foto atau materi apa pun yang telah dimuat di GeoMagz dapat diumumkan/dialihwujudkan kembali dalam format digital maupun non digital yang tetap merupakan bagian Geomagz. Redaksi berhak melakukan penyuntingan naskah yang masuk.

Foto Sampul
Perahu yang terhempas tsunami Aceh sejauh ± 4 km.
Foto: Supartoyo

PEMBACA YTH

Sejak 2004, di setiap penghujung tahun, kita selalu digetarkan oleh ingatan akan peristiwa bencana tsunami Aceh, 26 Desember 2004. Tsunami dahsyat itu memporakporandakan pantai-pantai wilayah Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam (NAD), meliputi Banda Aceh, Meulaboh, Lamno, dan lainnya. Tsunami hebat itu juga menghantam pantai-pantai Nias dan lainnya di Sumatra Utara; dan menerjang hingga wilayah pantai-pantai nun jauh dari NAD, mulai dari Phuket di Thailand hingga Pulau Madagaskar. Dengan jumlah korban mencapai lebih dari 250.000 jiwa meninggal dan kerusakan harta benda yang tak terhitung jumlahnya, Tsunami Aceh 2004 adalah tsunami terbesar dalam kurun 100 tahun terakhir. Rehabilitasi akibat bencana itu hingga kini masih terus berlangsung.



Tsunami itu disebabkan oleh gempa bumi berkekuatan M 9,2 yang berpusat beberapa puluh kilometer di sebelah barat Banda Aceh pada kedalaman kurang dari 40 km. Kita selalu ingin tahu, bagaimana perilaku gempa bumi penyebab tsunami, dan perilaku tsunami itu sendiri; dan bagaimana antisipasi yang harus dilakukan terhadap gempa bumi serta tsunami yang mungkin muncul di kemudian hari? Jawaban atas pertanyaan-pertanyaan itu sangat diperlukan untuk satu tujuan utama: meminimalkan jatuhnya korban jiwa, baik akibat gempa bumi itu sendiri, maupun karena tsunami yang dipicunya. Inilah mitigasi bencana gempa bumi dan tsunami.

Dengan berpedoman kepada informasi ilmiah kegempaan dari suatu wilayah, dan pengalaman dari kejadian dan penanganan bencana gempa bumi dan tsunami; sejumlah rencana aksi mitigasi bencana gempa bumi dan tsunami dapat diterapkan di wilayah itu. Rencana aksi itu mulai dari penelitian rinci sumber gempa bumi, pemetaan kawasan rawan bencana gempa bumi dan tsunami, penataan ruang wilayah pantai, sosialisasi pengurangan risiko bencana, latihan evakuasi dan penyelamatan diri saat terjadi bencana, pendidikan kebencanaan; peringatan dini, tanggap darurat, serta restorasi dan rehabilitasi. Semuanya ditujukan untuk mengurangi hingga ke tingkat sekecil mungkin risiko gempa bumi dan tsunami, terutama korban manusia.

Untuk mengenang Tsunami Aceh dan Sumatra Utara 2004, Geomagz Volume 1 Nomor 4 ini menurunkan dua tulisan yang bertautan. Tulisan pertama membahas secara komprehensif perilaku kegempaan Sumatra, khususnya di pantai sebelah baratnya; tsunami yang diakibatkannya, dan antisipasi akibat gempa bumi dan tsunami ke depan. Tulisan kedua membahas tsunami dari sisi hilirnya, yaitu penjalaran dan fenomena tsunami di pantai; rendaman dan potensi kerusakan oleh tsunami. Dalam tulisan kedua dikemukakan pula suatu contoh analisis kerentanan dan risiko atau dampak bencana tsunami untuk Pulau Sumatra.

Tulisan berikutnya tentang gunung api di Kilometer Nol, Pulau Weh, Aceh. Kami sajikan pula tulisan tentang salah satu sumber daya geologi, yaitu panas bumi yang ternyata sering “berkerabat” dengan keterdapatan logam mulia emas. Adapun esei foto kali ini, melengkapi artikel-artikel utamanya, menampilkan Aceh di masa kini, tujuh tahun setelah kejadian gempa bumi dan tsunami nan dahsyat itu.

Berkaitan dengan Hari Ibu, 22 Desember 2011, profil Geomagz edisi akhir tahun ini menampilkan seorang tokoh ibu ahli geologi Indonesia, yaitu Prof. Dr. Emmy Suparka. Beliau adalah profesor geologi perempuan yang pertama di Indonesia yang juga menekuni seni tradisi, khususnya seni tari. Tokoh geologi ini menunjukkan bahwa perempuan pun dapat menekuni bidang geologi dan berkiprah melalui disiplin ilmu kebumiharian itu dengan tetap kukuh dalam karakter budaya sendiri.

Selamat membaca. ■



Oman Abdurahman
Pemimpin Redaksi

Surat

Wah, majalah ini sudah sangat baik. Teruskan saja dengan artikel-artikel barunya.

Fauzie Hasibuan
Profesor Riset Badan Geologi

Membaca Geomagz memberikan banyak informasi dan bukti, betapa kaya dan indahnya alam Nusantara. Sebagai guru geografi, saya sangat terbantu dengan kehadiran geomagz dalam memberikan materi pelajaran geografi. Obyek dan materi geografi menjadi lebih menarik dan lebih mudah dipahami, sehingga kami tak hanya memandangi keindahannya saja tapi juga melihat dengan pemahaman.

Semoga Geomagz juga berkenan untuk meliputi obyek dan pesona alam Pati dan sekitarnya yang meliputi: Gunung Karst Kendeng Utara, air terjun tadah hujan, goa pancur, goa wareh, waduk gunung rowo, waduk gembong, mata air tiga rasa dan yang paling sensasional adalah penemuan candi Hindu di wilayah Kecamatan Kayen.

Ali Muchlas, MPd.,
Guru Geografi SMA Negeri 3 Pati, Jawa Tengah

Kami sangat bangga dengan hadirnya Geomagz, media yang mempopulerkan ilmu kebumian, sehingga dapat menambah nilai pengetahuan positif yang dibutuhkan oleh masyarakat. Seiring dengan banyaknya fenomena kebencanaan yang terjadi di sekitar kita, mudah-mudahan Geomagz dapat menjawab dan menginformasikan, sehingga masyarakat lebih siap menghadapi, mencegah dan menanggulangi bencana, dan akhirnya terbentuk mental yang siap menyikapi bencana. Semoga Geomagz terus sukses dan berkembang menjadi media informasi yang membahas kebumian secara populer. Semoga lestari bumi kita.

Elfa Maulana Yusron,
Komunitas Mata Bumi, Bandung, Indonesia

Geomagz bagus-bagus isinya. Hanya sedikit saran: mohon agar jilidnya menggunakan pengikat benang/ dijahit. Kiriman Geomagz yang ada di perpustakaan saya kini sudah pada lepas lemnya karena dibaca banyak orang. Kalau jilidnya dijahit akan lebih tahan lama. Selain itu, bagaimana jika Geomagz menggunakan kertas daur ulang, sehingga memuat pesan mitigasi untuk pelestarian lingkungan?

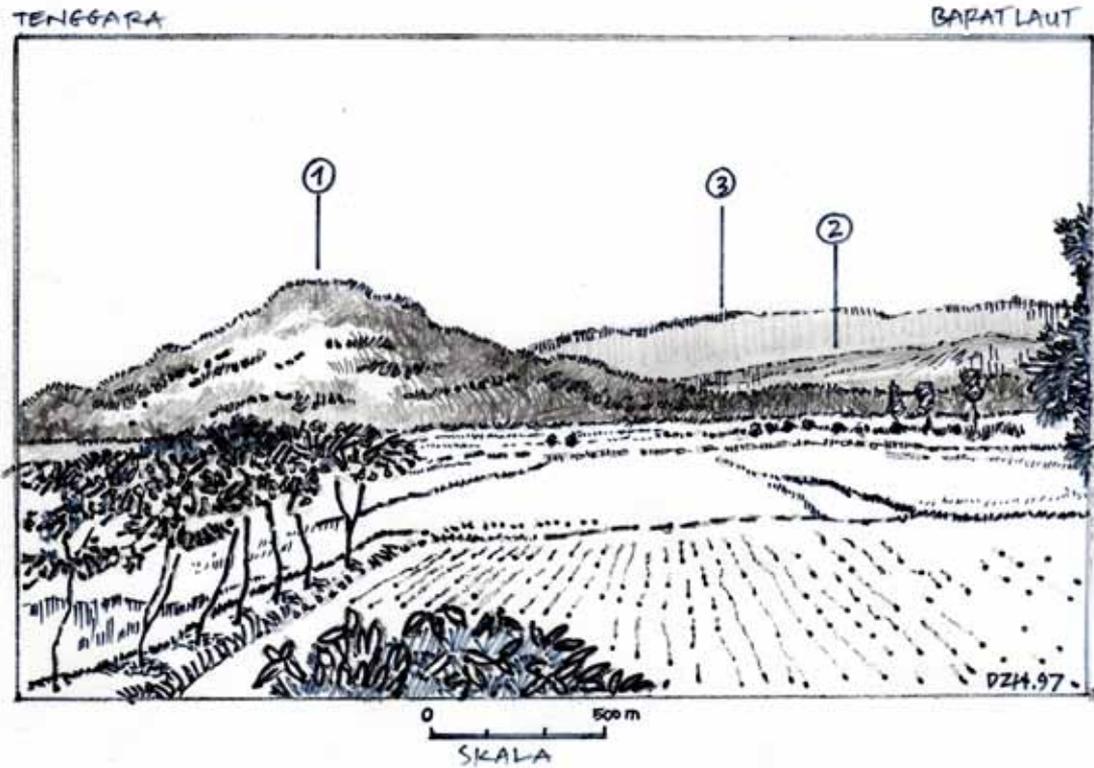
P. Amalia Siregar,
Aktivis Disaster Mitigation Readiness of Indonesia
Community, Koordinator 3, Jawa Barat,
tinggal di Sukabumi.

Saya sudah berkunjung ke berbagai daerah, seperti: Citatah, Maros, Jambi, Museum Gunung Merapi, Gunung Galunggung, Gunung Krakatau, Curug Malela, dan tempat-tempat wisata di Indonesia, tapi sebagai pengunjung biasa yang kurang memahami keadaan daerah tersebut. Begitu membaca geomagz, berkali-kali saya bergumam, "Oh, begitu, ya... oh, karena begitu, ya..." Saya menjadi paham tentang keadaan, kejadian tempat-tempat yang pernah saya kunjungi itu. Geomagz sudah memberikan wawasan yang mudah dipahami.

Amie Ch. Umaran,
PNS, tinggal di Bandung

Bangga dan sangat terkesan dengan Geomagz, sehingga kehadirannya setiap edisi selalu saya nantikan. Mengingatkan saya akan kebesaran Sang Pencipta, menambah wawasan saya mengenai alam raya dengan penjelasan yang mudah dipahami, serta mengenalkan fenomena-fenomena alam yang belum sempat saya lihat/kunjungi melalui gambar-gambar yang sangat menarik, sehingga menggugah saya untuk suatu saat nanti mengunjungi tempat-tempat tersebut.

Indri Virgianti, S.Pd, M.T.,
Guru Geografi SMAN 1Subang



Sketsa bentang alam terobosan diorit (G. Tenongan, 1) terhadap kompleks batuan vulkanik andesitik (Dusun Kalipuru, 2), mengakibatkan terjadinya mineralisasi epitermal emas pada batuan vulkanik; dengan latar belakang kaldera gunung api purba (3). Dilihat dari arah kecamatan Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah (digambar oleh Danny Z. Herman, 1997).



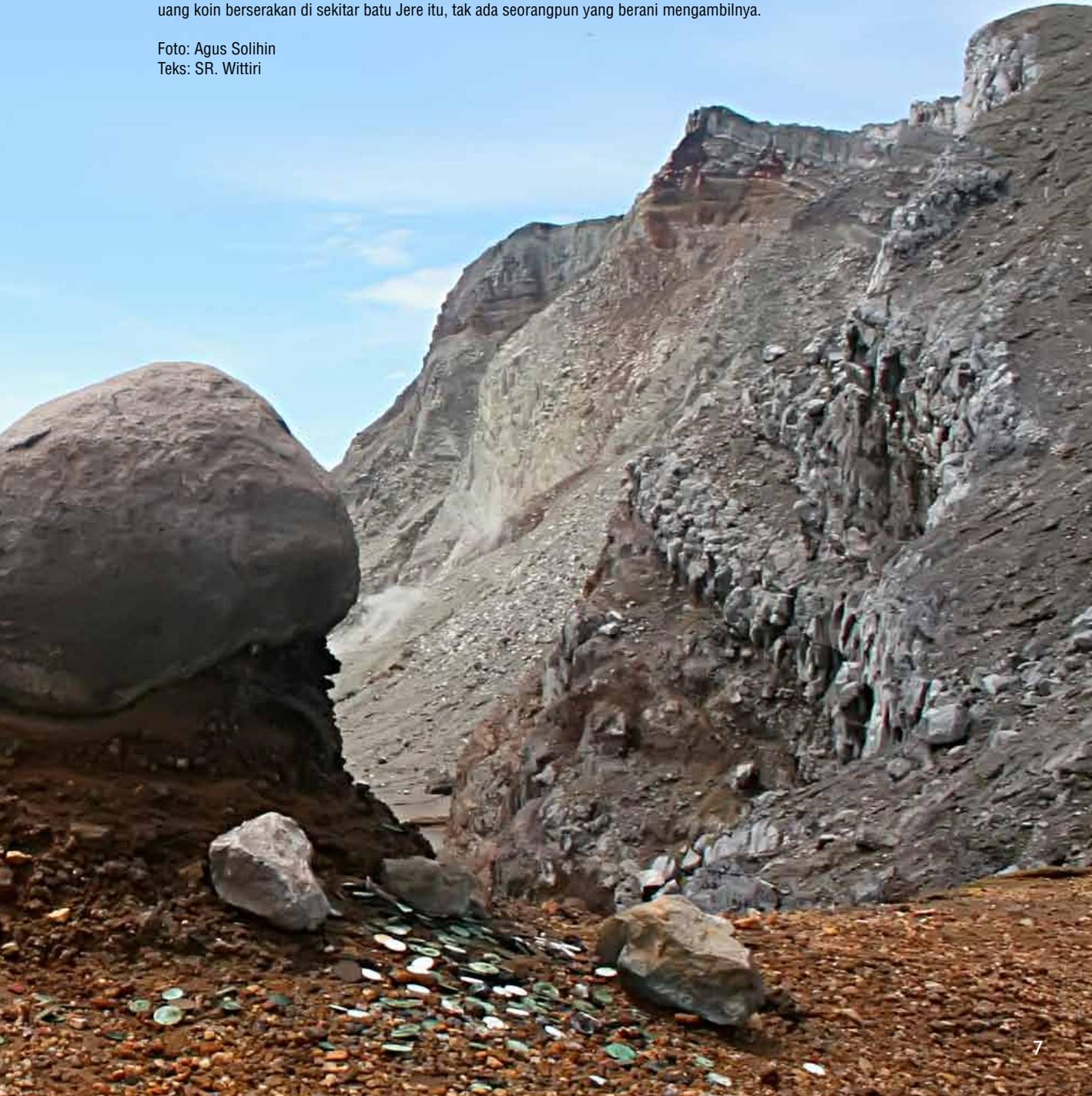
JERE, BATU KERAMAT GUNUNG GAMKONORA

Para pendaki Gunung Gamkonora ketika tiba di mulut kawah harus mengikuti acara ritual yang dipimpin oleh sang juru kunci. Diawali dengan membakar kemenyan di depan batu yang dikeramatkan, yang disebut Jere, menaburkan uang koin, dan diakhiri dengan doa.

Untuk mendaki Gunung Gamkonora di Halmahera, Maluku Utara, juru kunci yang memimpin pendakian tidak boleh memakai alas kaki. Aturan lainnya para pendaki tidak boleh mendahului atau berbincang dengan sang juru kunci. Konon katanya, apabila aturan itu dilanggar, cuaca mendung atau lainnya akan menghadang para pendaki. Tidak heran, walau uang koin berserakan di sekitar batu Jere itu, tak ada seorangpun yang berani mengambilnya.

Foto: Agus Solihin

Teks: SR. Wittiri





ZONA MERAH DANAU MANINJAU



Tebing kaldera pantai barat Danau Maninjau yang runtuh menghancurkan permukiman dan memutus jalan akibat dikoyak gempa bumi 30 September 2009 dikenal sebagai Zona Merah. Saat ini Zona Merah mulai pulih dan menjadi objek wisata baru yang banyak dikunjungi. Zona tersebut dilarang untuk permukiman.

Foto dan Teks: Oki Oktariadi





BANGKAI TSUNAMI ACEH 2004

Senin, 27 Desember 2004, di satu sudut kota Banda Aceh, tidak jauh dari Krueng Aceh, sungai utama yang membelah kota, tumpukan sampah dari berbagai jenis benda termasuk mobil, berserakan. Sehari sebelumnya gelombang tsunami mendorong air laut dengan sangat kuat membentuk dinding setinggi puluhan meter, menggulung sangat cepat merambah daratan.

Gelombang raksasa itu mendorong segala benda yang berada di hadapannya dan menyeretnya kembali ke arah berlawanan, saling bertabrakan, menghasilkan tumpukan sampah itu. Bangkai tsunami itu membuktikan betapa kita sangat lemah berhadapan dengan kekuatan alam.

Foto: Cahya Patria
Teks: SR. Wittiri dan Budi Brahmantyo

MENARA STACK BATUPAYUNG

SISA ABRASI TANJUNG AAN, LOMBOK

Pantai Kuta di selatan Pulau Lombok, mengungkap bukti-bukti adanya gunung api purba bawah laut yang tersingkap di pantai berbatunya. Lapisan-lapisan endapan piroklastik, tuf, dengan sisipan lava dari Formasi Pengulung yang berumur Oligo-Miosen membentuk morfologi tanjung dan perbukitan di sekitarnya. Dengan waktu, gelombang selalu menggerus pantai berbatu itu. Semakin lama semakin intensif sampai akhirnya menyisakan suatu bentukan abrasi yang dikenal dalam Geomorfologi sebagai menara *stack*. Masyarakat kemudian menamainya Batupayung sekalipun jauh dari bentuk payung, bahkan lebih menyerupai patung-patung kepala raksasa seperti di Pulau Paskah, di Samudera Pasifik.

Foto: Ina Herliana Koswara. Teks: Budi Brahmantyo









JARUM GIPSUM IJEN

Stalaktit gipsum di Gunung Ijen bentuknya menyerupai kumpulan jarum. Gipsum tersebut ditemukan di salah satu dinding Kali Banyupahit yang terbentuk secara alamiah. Air kawahnya yang sangat asam dengan pH mencapai 0,5 didominasi asam sulfat (H_2SO_4) merembes keluar danau dan bereaksi dengan batugamping (CaCO_3) membentuk gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Gunung Ijen yang berdiri di Tanjung Blambangan, Jawa Timur selain sangat terkenal sebagai penghasil belerang di Indonesia, juga memiliki danau kawah yang indah.

Foto: Priatna
Teks: Priatna dan SR. Wittiri

Dekade Teror Gempa Sumatra

Oleh: Danny Hilman Natawidjaja

CATATAN REDAKSI:

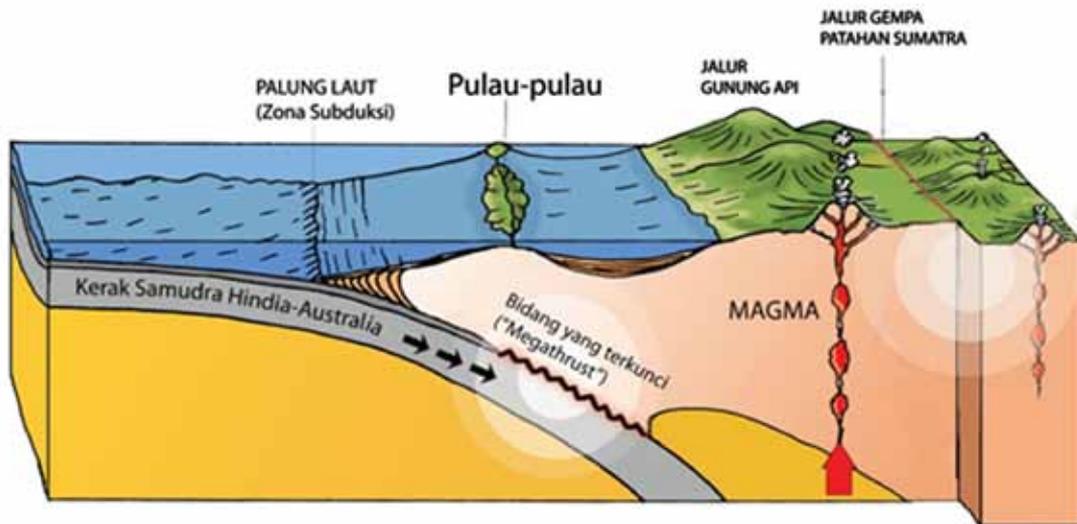
Tulisan ini terdiri atas empat bagian yang seluruhnya ditulis oleh Danny Hilman Natawidjaja. Tulisan utama "**Dekade Teror Gempa Sumatra**" merupakan inti wacana yang menceritakan bagaimana Pulau Sumatra menjadi pulau yang sangat rawan terkena bencana gempa bumi. Untuk melengkapi wacana tersebut, disajikan pula kotak "**Gempa Besar Masa Silam**" dan dua judul yang masih saling berkaitan, yaitu "**Cara Mengukur Gempa,**" dan "**Antisipasi dan Mitigasi Gempa.**" Selamat membaca.

Proses alam itu ada yang terjadi secara sangat perlahan tapi konsisten terus-menerus selama bertahun-tahun, puluhan tahun sampai ratusan tahun, ribuan, bahkan jutaan tahun. Proses erosi pantai, misalnya, lambat laun menggerus ke darat, merusak lingkungan binaan manusia secara perlahan-lahan, atau proses dinamika sungai di wilayah hilir yang mengakibatkan proses erosi dan banjir yang mengganggu permukiman. Namun, ada proses alam yang terjadi sangat cepat, sehingga mengakibatkan perubahan besar dalam waktu sangat singkat, yang kita kenal sebagai bencana alam, seperti peristiwa gempa bumi, tsunami, dan letusan gunung api. Proses alam, baik yang terjadi secara perlahan atau yang datang mendadak, dapat menjadi bencana untuk manusia dan lingkungan hidup, apabila kurang diantisipasi sebelumnya.

Mengapa Sumatra Rawan Gempa

Karena posisi pulau Sumatra terletak di sepanjang jalur tumbukan dua lempeng Tektonik, maka wilayah barat Sumatra sering terjadi gempa. Lempeng (Samudra) Hindia bergerak terus menunjam ke bawah lempeng (benua) Sumatra. Sumatra dan busur kepulauan di bagian baratnya merupakan bagian dari lempeng Eurasia, sedangkan lempeng lainnya berada di bawah Samudra Hindia.

Batas tumbukan dua lempeng ini terlihat dengan jelas berupa jalur palung laut dalam di sebelah barat Sumatra sampai ke Kepulauan Andaman. Lempeng Hindia menunjam di bawah Sumatra dengan kecepatan 50-60 mm/tahun dan kemiringan dari batas penunjamannya sekitar 12° ke arah timur (Natawidjaja, 2003; Prawirodirdjo, 2000). Batas lempeng atau bidang kontak ini disebut zona subduksi. Di Sumatra, zona subduksi ini dapat diamati dari data seismisitasnya sampai kedalaman



Sketsa diagram zona subduksi Sumatra memperlihatkan struktur Bumi di bawah permukaan. Sumber gempa besar di Sumatra adalah pada *megathrust* dan jalur Patahan Sumatra. *Megathrust* adalah bidang kontak zona subduksi sampai kedalaman ~50 km. Pada kedalaman 150-200 km, lempeng meleleh menjadi magma. Magma naik ke atas menjadi gunung api (Natawidjaja, 2006).

besar air di atas permukaan laut. Bumbungan air ini kemudian menyebar ke segala arah sebagai tsunami. Tsunami sangat panjang dan bergerak sangat cepat menerjang dan membanjiri daratan. Tsunami bisa sangat berbahaya walaupun hanya beberapa meter, karena seluruh massa airnya bergerak dengan sangat cepat sehingga mempunyai energi momentum yang tinggi. Ini berbeda dengan gelombang biasa yang pergerakannya hanya di bagian atasnya saja.

Lempeng Hindia-Australia menabrak bagian barat Sumatra dengan arah miring terhadap kelurusan palung atau pulau-nya, sehingga tekanan dari gerak antar lempeng ini terbagi menjadi dua komponen. Pertama komponen yang tegak lurus dengan palung, yang sebagian besar diakomodasi oleh zona *subduksi*. Kedua komponen yang sejajar dengan arah palung yang menekan bagian barat Sumatra ke arah barat laut. Komponen gerak inilah yang menyebabkan terbentuknya Patahan Besar Sumatra di sepanjang Bukit Barisan (Sieh & Natawidjaja, 2000).

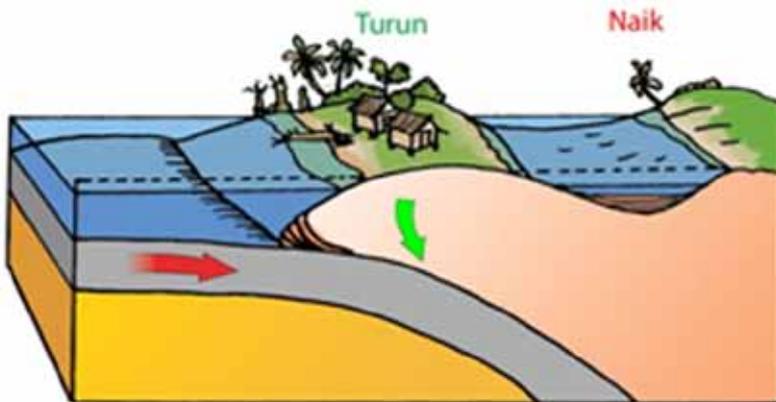
Teror dari Bawah Perairan

Zona subduksi Sumatra itu merupakan jalur gempa bumi yang paling banyak menyerap energi pergerakan lempeng, karenanya paling sering menghasilkan gempa-gempa besar. Di masa lampau sudah banyak gempa bumi yang terjadi dengan magnitudo (e.g. skala Richter) di atas 8. Di selatan khatulistiwa, gempa besar pernah terjadi tahun 1833 (M 8,9) dan pada tahun 1797 (M 8,5-8,7). Kedua gempa ini menghasilkan tsunami besar yang menghantam perairan Sumatra barat dan Bengkulu.

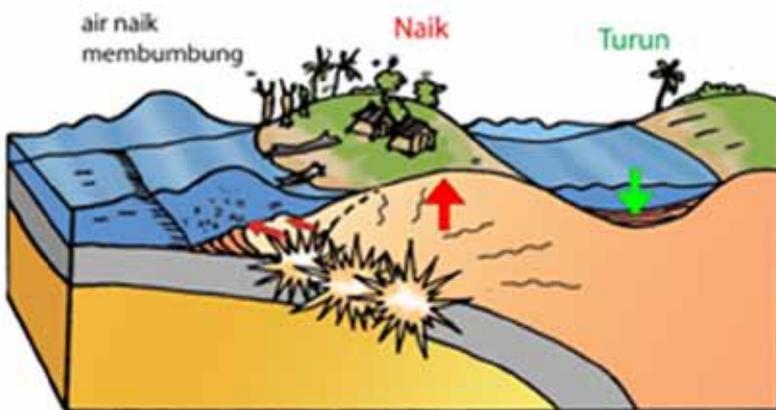
Di khatulistiwa, gempa besar terakhir terjadi tahun 1935 dengan kekuatan gempa M 7,7. Gempa ini menyebabkan kerusakan yang cukup parah di Telo, kota Kecamatan Batu dan wilayah sekitarnya. Di beberapa tempat di Kepulauan Batu dilaporkan adanya kenaikan air laut ketika gempa, namun tidak dilaporkan adanya kerusakan serius akibat gelombang laut yang naik. Di utara khatulistiwa, gempa dan tsunami besar pernah terjadi di wilayah Nias-Simeulue tahun 1861. Gempa tahun 1861 ini diperkirakan berkekuatan lebih dari 8,5 skala magnitudo (~Richter). Tercatat dalam sejarah, bahwa tsunami yang terjadi cukup besar (Newcomb and McCann, 1987; Wichmann, 1918a).

Pada tahun 1907 terjadi lagi bencana tsunami besar di wilayah Simeulue dan Nias. Meskipun gempa yang menyebabkan tsunami 1907 ini tidak terlalu besar (M 7,6), namun tinggi tsunami yang terjadi di pantai barat dan utara Simeulue mencapai lebih dari 10 m atau dua kali lebih besar dari tsunami Aceh di wilayah ini. Peristiwa tsunami tahun 1907 inilah yang konon melahirkan istilah *smong*, bahasa lokal untuk tsunami. Para orang tua yang selamat waktu tsunami 1907 menceritakan tragedi bencana alam ini pada anaknya, yang sampai sekarang banyak yang masih hidup. Inti nasehatnya adalah, "apabila nanti air laut tiba-tiba surut sampai jauh ke tengah, maka itulah tandanya *smong* akan datang, larilah cepat ke bukit, selamatkan jiwa dan tinggalkan saja harta benda".

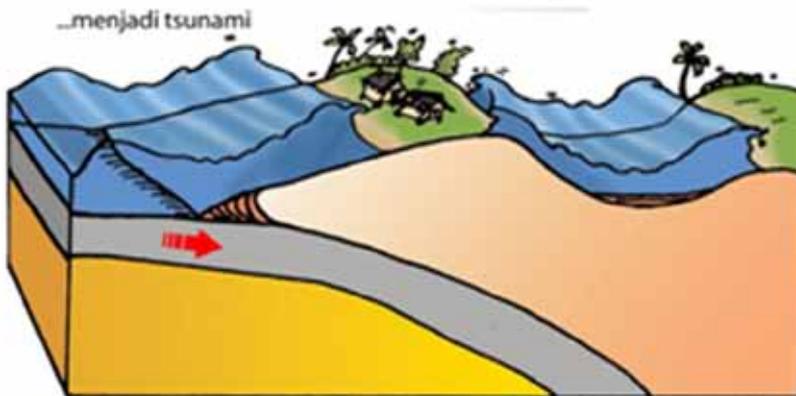
Sejak 11 tahun terakhir, zona subduksi Sumatra menghasilkan rentetan gempa-gempa besar yang memakan banyak korban dan harta benda. Mulai dari



A. Lempeng samudra bergerak ke bawah Sumatra. Pulau-pulau merekat-tersambung pada lempeng sehingga ikut terseret ke bawah dan terhimpit ke arah Sumatra.

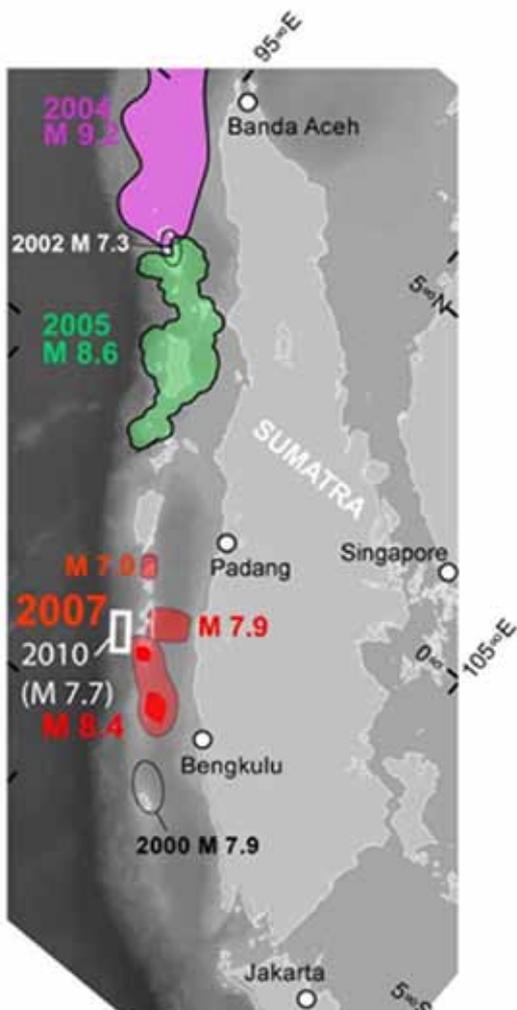


B. Suatu hari tekanan bumi sudah tak tertahankan, lalu sambungan itu pecah dan pulau-pulau dan dasar laut melenting balik ke atas. Maka bumi pun bergoncang keras... gempa bumi !!!



C. Ketika dasar laut terangkat maka lautan ikut terdorong ke atas membentuk bumbungan air. Kemudian bumbungan air ini menyebar cepat menjadi gelombang maut tsunami.

Proses siklus gempa bumi pada zona subduksi/penunjaman lempeng.



Gempa-gempa besar *megathrust* yang terjadi pada 11 tahun terakhir. Elips dan poligon berwarna menunjukkan sumber gempa dan angka di sebelahnya menunjukkan tahun dan besarnya magnitudo gempa yang terjadi.

Gempa Besar Masa Silam

Untuk mengerti apa yang terjadi pada masa sekarang, kita harus memahami apa yang sudah terjadi di masa lampau. Informasi ini tercatat dalam naskah tua yang memuat peristiwa gempa dan tsunami 10 Februari 1797 pukul 22 dan 24 November 1833 pukul 20 di wilayah Mentawai, yang menghancurkan Sumatra Barat dan Bengkulu.

Semua laporan gempa dan tsunami tahun 1797 itu terfokus pada dampak tsunami di wilayah muara sungai sampai pelabuhan (Muaropadang). Ini tidak berarti bahwa limpasan tsunami hanya terlihat di wilayah ini, karena perumahan penduduk memang baru menempati wilayah ini pada saat itu. Walaupun dilaporkan kerusakan di Padang cukup parah, tapi yang meninggal hanya dua orang. Lama guncangan yang terasa di Padang selama satu menit. Laporan du

Puy (1845) mengindikasikan bahwa gempa ini adalah yang terkuat dalam ingatan penduduk Padang waktu itu.

Namun pernyataan ini berlawanan dengan laporan du Puy tahun 1847 yang menyebutkan bahwa ada gempa yang lebih kuat yang terjadi 40 tahun sebelumnya (~1757). Banyak rumah yang ambruk ketika gempa. Di tanah banyak rekahan dengan bukaan 3-4 inci. Beberapa orang yang berusaha memanjat pohon untuk menghindari tsunami di Airmanis keesokan harinya ditemukan sudah mati di atas pohon. Seluruh kota terendam tsunami dan beberapa rumah dilaporkan hanyut terbawa gelombang. Di Padang dilaporkan tsunaminya juga menggenangi seluruh kota. Orang melaporkan ada 3-4 kali gelombang "pasang-surut" di pelabuhan.

gempa besar tahun 2000 di Bengkulu (Abercrombie, 2002), disusul gempa tahun 2002 di Simeulue, kemudian terjadi gempa dan tsunami Aceh yang dahsyat tahun 2004 yang melanda seluruh wilayah Laut Andaman, termasuk Nanggroe Aceh Darussalam (NAD). Sejak itu, zona subduksi Sumatra seperti tidak henti-hentinya menggetarkan wilayah Sumatra sampai sekarang. Gempa Nias-Simeulue meledak pada bulan Maret 2005, hanya tiga bulan setelah gempa Aceh. Dua tahun kemudian, gempa besar Bengkulu terjadi bulan September 2007 mengoyak wilayah Bengkulu sampai ke Selatan Kepulauan Mentawai. Terakhir, pada bulan Oktober 2010, gempa Mentawai kembali menggoncang wilayah Pagai disertai tsunami dahsyat yang menelan sekitar 500 jiwa penduduk.

Gempa Aceh-Andaman 2004

Sekarang kita paham bahwa gempa tahun 2004 di Aceh-Andaman bukanlah refleksi dari alam yang murka, melainkan ekspresi bumi dalam melepaskan tekanan selama beratus-ratus tahun yang sudah tak tertahankan lagi. Bagi Bumi, ini merupakan proses biasa saja yang akan terus berulang kali terjadi dalam kurun waktu Bumi. Meskipun demikian, gempa bumi dan tsunami yang terjadi bulan Desember 2004 di wilayah Aceh-Andaman adalah bencana alam terbesar dalam kurun seratus tahun terakhir.

Gempa bumi yang menimbulkan tsunami maut ini terjadi pada zona subduksi Sumatra-Andaman.

Gempa bumi ini memecahkan bidang kontak zona subduksi sepanjang 1600 km, mulai dari Pulau Simeulue sampai ke wilayah Kepulauan Andaman, akibat Lempeng Hindia yang bergerak sekitar 50 mm/tahun, menghimpit lempeng Sumatra-Andaman. Setelah lebih dari 300 tahun tidak ada gempa bumi raksasa, akhirnya tekanan yang terakumulasi sekian lamanya ini dilepaskan dalam satu hentakan maut dengan skala Mw 9,2. Pulau-pulau dan dasar lautan di timur palung sepanjang 1600 km tersebut tiba-tiba terpelanting ke barat sejauh 10-30 meter, dan terangkat ke atas beberapa meter. Dapat dibayangkan, betapa dahsyatnya bumi berguncang dan berapa banyaknya volume air laut yang tiba-tiba ikut terangkat akibat dasar laut yang naik tersebut. Tak heran kalau tsunami yang terjadi demikian dahsyatnya.

Selain merupakan bencana alam besar, gempa Aceh tahun 2004 menjadi obyek yang sangat penting bagi para ahli gempa bumi dan tsunami se-Dunia. Gempa *megathrust* tahun 2004 ini merupakan yang pertama terjadi setelah alat pemantau gempa bumi modern banyak terpasang, khususnya jaringan *seismometer* dan stasiun GPS (*Global Positioning System*), sehingga menjadi obyek penelitian gempa bumi yang sangat penting dalam abad ini. Data gempa dan tsunami Aceh yang sekarang tersedia, baik dari peralatan modern yang terpasang ataupun dari hasil penelitian geologi lapangan, merupakan



Lukisan tsunami yang terjadi tahun 1861 di wilayah Sumatra Utara, Nias, dan Simeulue menggambarkan kedahsyatan tsunami tersebut.

sumber data penting bagi para ahli untuk lebih mengerti proses alam yang seringkali membawa malapetaka besar ini. Sebelumnya zona subduksi Aceh-Andaman diklasifikasikan sebagai yang kurang berpotensi untuk menghasilkan gempa raksasa (Skala Magnitudo/Richter ≥ 9), karena lempeng yang menunjam umurnya sangat tua dan kecepatan gerak lempengnya relatif rendah. Oleh karena itu Gempa Aceh-Andaman tahun 2004 ini telah mengubah paradigma dasar dalam ilmu gempa bumi dan konsep mitigasinya.

Gempa Nias 28 Maret 2005

Setelah gempa Aceh 2004, bumi Sumatra seperti tidak henti-hentinya bergoncang dalam tujuh tahun terakhir ini. Sudah puluhan gempa berkekuatan 7 SR, ratusan gempa 6 SR, dan ribuan gempa 5 SR atau lebih kecil. Sejak itu ribuan korban jiwa dan tidak terhitung banyaknya kerugian harta benda akibat digoyang gempa dan dilibas tsunami yang menyertainya, dan kelihatannya dekade teror gempa ini belum selesai. Untuk lebih memahami dan dapat mengantisipasi bencana di masa datang marilah kita mengkaji gempa-gempa besar yang sudah terjadi.

Hanya tiga bulan setelah bencana besar di bulan Desember 2004, terjadi lagi gempa besar di wilayah Simeulue dan Nias pada tanggal 28 Maret 2005. Gempa ini merupakan perulangan dari gempa besar yang pernah terjadi di wilayah yang sama sekitar 145 tahun silam tahun 1861 ($M \sim 8,5$).

Seperti halnya waktu gempa Aceh tahun 2004, gempa tahun 2005 inipun mengangkat sebagian wilayah, terutama bagian barat Pulau Nias yang terangkat sampai 3 m, termasuk Pelabuhan Sirombu di pantai Nias barat, yang sekarang tidak berfungsi lagi. Wilayah selatan Pulau Simeulue juga terangkat 1 sampai 1,5 m, termasuk Kota Sinabang, sehingga tampak air laut sepertinya menjadi susut di sepanjang pantai. Kota Gunungsitoli terletak di sekitar sumbu pemisah antara wilayah yang naik di barat dan wilayah yang turun di timur, sehingga kota ini posisinya tetap, alias tidak naik dan tidak turun. Sebaliknya desa dan kota kecamatan di wilayah timur, seperti Desa Haloban di Pulau Tuanku, Banyak dan Kecamatan Bale, turun 0,5 dan 1 m. Hal ini menyebabkan banyak rumah-rumah di tepi pantai di Haloban dan Bale terendam di bawah air sehingga tidak bisa dihuni lagi.

Ketika gempa Nias-Simeulue terjadi, tim LIPI-Caltech baru saja memasang beberapa unit stasiun GPS di wilayah ini, tepat di atas dan sekitar sumber gempa, sehingga pergerakan tektonik yang terjadi sebelum, sewaktu dan setelah gempa terekam dengan baik oleh alat pemantau ini. Selain itu di sekeliling Pulau Nias juga banyak dijumpai populasi koral mikroatol yang digunakan untuk mengukur pangangkatan dan penurunan akibat gempa.

Di selatan Simeulue, pangangkatan maximum mencapai ~ 150 cm. Tingginya pangangkatan pada waktu gempa Maret 2005 ini makin mengecil ke bagian utara sampai 0 cm di ujung utara pulau. Ini



Peta Kota Padang tahun 1781 dan 1828 digambar kembali dari arsip peta kuno (diambil dari Natawidjaja *et al.*, 2006).

Satu laporan menyatakan bahwa tsunami naik sampai sepertiga bukit atau Semenanjung Apenberg yang tinggi totalnya 104 m. Artinya, tinggi tsunami mencapai 30 meteran. Laporan itu juga menyebutkan bahwa Bukit Appenberg tersebut yang memecahkan gelombang tsunami.

Laporan lain menyebutkan bahwa ketika tsunami, tinggi air laut sekitar 50 kaki di atas normal. Di Padang, gelombang tsunami membuat dasar sungai terlihat kering dan meninggalkan banyak ikan mati di atasnya. Semua perahu di sungai menjadi berada di atas tanah kering. Ada kapal besi dari Inggris seberat 150-200 ton yang ditambatkan ke sebuah pohon di dekat muara sungai terbawa tsunami sampai 0,75 mil ke arah hulu, kemudian terdampar di daerah Pasarburung. Kapal ini merusakkan beberapa rumah saat terhanyut. Semua rumah di tepi laut dikabarkan tenggelam.

Di Airmanis, di sebuah kampung kecil di tepi pantai sebelah barat bukit Apenberg, tinggi tsunami cukup untuk menenggelamkan orang yang berusaha memanjat pohon-pohon untuk menghindari. Pohon-pohon ini kemungkinan sekitar 4-5 m untuk dapat menahan beban rata-rata orang dewasa. Kemudian



Pantai Nias yang terangkat 3 m. Terumbu karang yang banyak tumbuh pada paparan pasang-surut ini kebanyakan mati karena terangkat ke atas air.

dari fakta bahwa tsunami bisa membawa kapal besi Inggris seberat 150-200 ton, artinya tinggi tsunami (*flow depth*) paling tidak lima meteran, mengingat tinggi pinggir sungai sekitar 2 m dan *draft* bawah kapal sekitar tiga meteran. Jadi dari dua catatan kejadian ini dapat disimpulkan bahwa tinggi tsunami sekitar lima meteran. Ini perkiraan yang cukup konservatif dibandingkan dengan laporan yang menyebutkan bahwa tinggi tsunami sekitar 30 meter di tepi Bukit Apenberg dan sekitar 50 kaki (15 m) di tempat lainnya di sepanjang pantai. Laporan ini meragukan, karena kalau benar hal itu terjadi, seharusnya tsunami sebesar ini menghancurkan seluruh perumahan penduduk di Padang dan menyebabkan kematian yang lebih banyak lagi. Diperkirakan, tinggi maksimum tsunami setinggi 5-10 meteran.



Peta Kota Padang tahun 2005 (diambil dari Natawidjaja *et al.*, 2006).

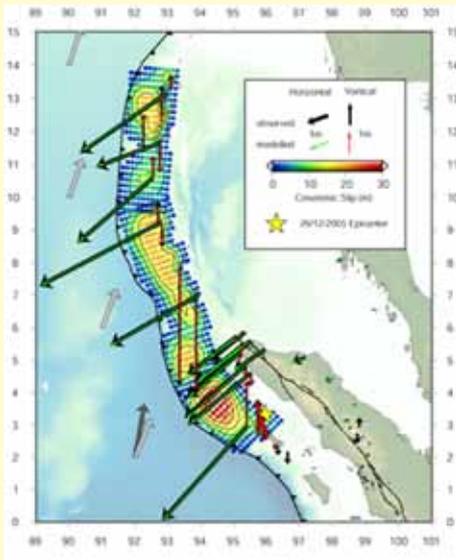
Tahun 1833 terjadi guncangan gempa, terasa sampai 5 menit di Bengkulu dan sekitar 3 menit di Padang. Guncangan terasa sampai ke Singapura dan Jawa. Terjadi tsunami besar yang merusakkan wilayah Bengkulu, Pulau Cinco, Indrapura, Padang, dan Pariaman. Laporan menyebutkan tidak ada korban meninggal di Bengkulu dan hanya satu di Padang. Guncangan sangat kuat di wilayah sepanjang pantai dari Bengkulu sampai Pariaman dan di Pulau-pulau Pagai. Di Pariaman guncangan demikian kuat sehingga tidak ada orang yang bisa berdiri. Kerusakan besar terjadi di Padang dan Bengkulu, tapi yang lebih pa-

adalah kebalikannya dengan yang terjadi pada waktu gempa Aceh Desember 2004, bagian utara Pulau Simeulue naik 150 cm, sedangkan bagian selatannya turun. Jadi, setelah mengalami dua kejadian gempa raksasa secara beruntun, Pulau Simeulue menjadi terangkat ~150 cm seluruhnya. Demikian uniknya, Pulau Simeulue ini menjadi tempat *rendevouz* dua gempa raksasa.

Berbeda dengan wilayah di bagian barat, wilayah timur Simeulue, Banyak dan Nias mengalami penurunan tektonik sampai lebih dari 1 m. Di beberapa tempat, akibat penurunan muka bumi ini sangat dramatis. Banyak perkampungan yang tidak dapat dihuni kembali karena sudah berada di bawah air, seperti yang terlihat di Pulau Bale dan Desa Haloban.



Pantai di bagian selatan Pulau Simeulue terangkat sampai 150 cm waktu gempa Maret 2005. Foto ini memperlihatkan pembentukan tebing pantai baru yang bergeser ke arah laut. Besarnya pengangkatan dapat diukur dari ketinggian tebing pantai lama ke pantai baru.



Model gempa bumi Aceh-Andaman memperlihatkan sumber gempa bumi 26 Desember 2004 adalah pergerakan bumi pada bidang zona subduksi. Bidang sumber gempa ini berkemiringan ~12° ke timur, panjangnya sampai 1600 km, lebar 150 km. Blok bumi di atasnya bergerak ke barat sampai 30 m. Zona merah muda adalah bagian yang bergerak paling besar. Panah hitam adalah data pergerakan dari pengukuran GPS. Panah merah adalah dari model (sumber: Chlieh *et al.*, 2006; Subarya *et al.*, 2006).

rah adalah di Bengkulu, seluruh struktur bangunan rusak berat. Benteng dan menara hancur total. Di Padang, rumah-rumah kayu tetap berdiri, tapi banyak rumah tembok rusak parah. Di Sumatra bagian timur, kerusakan bangunan dilaporkan sampai ke Kota Palembang. Retakan tanah selebar 2 kaki terjadi di Pariaman, dan juga banyak retakan-retakan tanah di sepanjang pantai antara Pariaman dan Padang, dan di pinggiran sungai di Padang.

Tsunami yang terjadi di Padang menghanyutkan banyak kapal bersama jangkarnya dan sebagian kapal hilang. Di pantai, hampasan tsunami mencapai ketinggian 3-4 m. Peta Kota Padang tahun 1828 memperlihatkan perumahan yang masih sedikit di sepanjang pantai, dan pusat kota masih berada di wilayah bagian utara sungai, sampai sekitar 1 km ke arah darat. Dermaga dan bangunan pelabuhan di Bengkulu tersapu *ludes* oleh tsunami, dan beberapa kapal terhempas ke darat. Di Pariaman, dilaporkan tsunami didahului surutnya air laut. Gelom-



Tsunami dari gempa 26 Desember 2004 di Sirombu Nias yang rusak parah, B. Setelah dihantam tsunami Pelabuhan Sirombu ini terangkat hampir 3m ketika gempa Maret 2005, C. Pantai di timurlaut Pulau Nias yang terangkat sekitar 1m, D. Survei dengan RTK GPS untuk mengukur besar pengangkatan terumbu karang di Pulau Hinako, barat Nias.

bang menghempaskan kapal-kapal dari tempat tambatnya. Di Pulau Cinco, tsunami menyapu beberapa rumah dan orang. Di Indrapura, di utara Kota Bengkulu, tsunami yang dahsyat menerjang daratan membanjari daratan rendah, dan satu kampung luluh-lantak. Seorang ibu beserta anaknya terbawa tsunami dan hilang, tapi banyak orang yang bisa menyelamatkan diri dengan memanjat pohon, menunggu sampai pagi. Tsunami yang sampai di Pulau Seychelles yang berada sekitar 5000 km dari pantai barat Sumatra di lautan Hindia, tinggi tsunaminya seperti tsunami yang terjadi di Aceh-Andaman tahun 2004.

Dua gunung api, Marapi dan Kerinci, memperlihatkan kenaikan aktivitas setelah gempa. Runtuhnya dam alam di puncak Gunung Kaba menyebabkan banjir di lembah-lembah di lereng sebelah tenggaranya. Banjir bandang ini menyebabkan hilangnya 90 orang penduduk. Satu kampung tenggelam oleh banjir yang dalamnya sampai 20 kaki (~6 m) dan meninggalkan timbunan lumpur sedalam 7 kaki (2 m lebih).

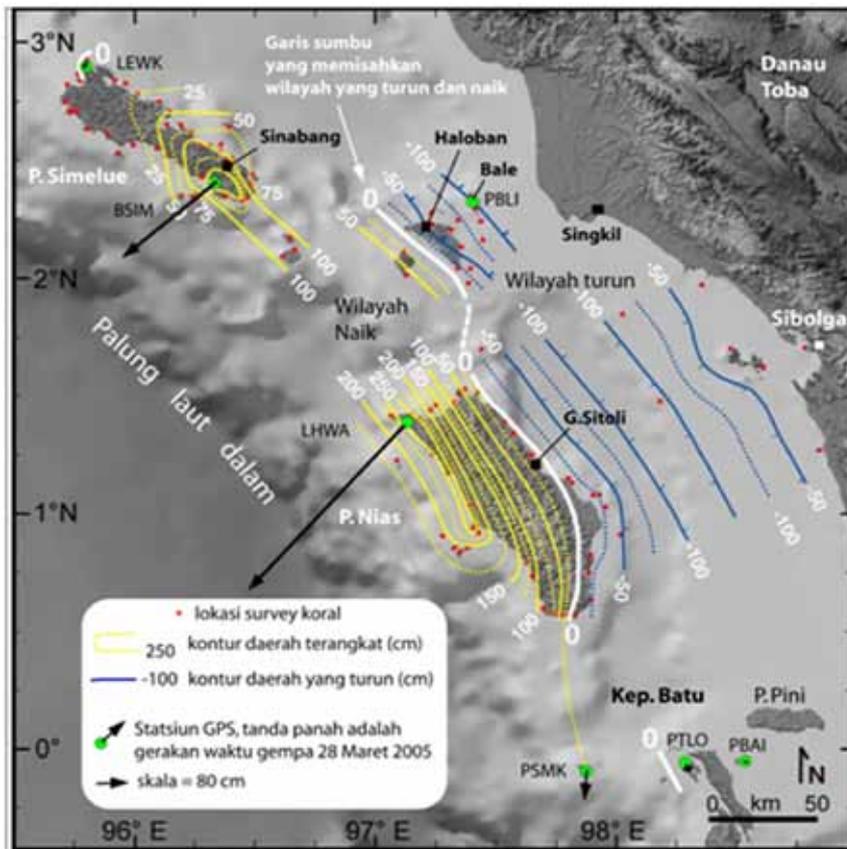
Lama guncangan gempa dan luasnya cakupan serta hebatnya kerusakan yang ditimbulkan, mengindikasikan bahwa sumber gempanya sangat

besar. Fakta bahwa kerusakan lebih parah terjadi di Bengkulu dari pada di Padang adalah indikasi yang kuat bahwa sumber gempanya lebih dekat ke Bengkulu, berda di bawah Kepulauan Pagai, tapi tidak sampai ke Siberut (pulau yang berhadapan dengan Padang). Kerusakan akibat tsunami juga dilaporkan lebih parah yang terjadi di Bengkulu – Indrapura daripada di Padang. Memang dilaporkan bahwa kapal-kapal di Pariaman terlepas dari tambatannya, tapi deskripsinya menunjukkan bahwa gelombang airlaut tidak sampai melewati dam alam di pinggiran sungai, seperti halnya tsunami yang terjadi pada tahun 1797. Meskipun demikian catatan sejarah menunjukkan bahwa gelombang laut mencapai ketinggian 3-4 m di Pantai Padang, yang tentunya cukup untuk menyapu wilayah pantai sampai beberapa ratus meter ke darat. Tapi kelihatannya tidak melanda banyak perumahan yang masih jarang seperti terlihat di peta tahun 1828.

Sudah takdir alam, bahwa kita sekarang hidup di zona subduksi Sumatra yang mulai melepaskan akumulasi regangan tektoniknya, seperti yang pernah terjadi pada masa lalu. ■



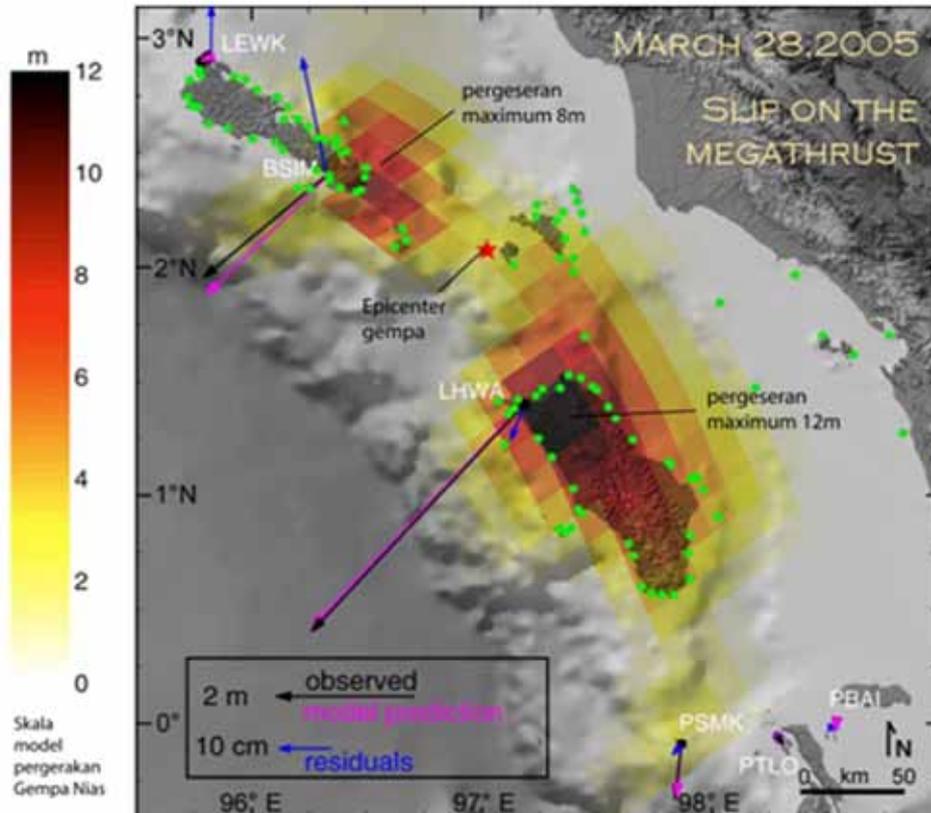
A. Pulau Bale turun 1 m. Air pasang terlihat menggenangi hampir ke tengah pulau. B. Desa Haloban turun 50 cm. Sekarang, sebagian rumah berada di bawah air, sehingga tidak dapat dihuni lagi.



Perubahan muka Bumi yang terjadi karena gempa Nias, 28 Maret 2005. Pulau Simeulue dan bagian barat Pulau Banyak dan Nias naik sampai maksimum 3 m. Kota Sinabang naik 1-1,5 m. Kecamatan Bale turun 1m. Kota Singkil turun 0,5-1,5 m. Perubahan muka Bumi ini mencerminkan besarnya pergerakan lempeng dan gempa bumi yang terjadi (dimodifikasi dari Briggs et al, 2006).

Dari data pola pengangkatan pada, kemudian dibuat pemodelan dari sumber patahan gempanya. Model patahan gempa memperlihatkan bahwa pergeseran maksimum terjadi persis di bawah Pulau Nias bagian utara mencapai 11 m, sedangkan di bawah Pulau Simeulue bagian selatan pergeseran terjadi mencapai 8 m. Pergeseran lempeng sampai ke bawah Pulau

Seperti yang sudah dijelaskan di atas, besarnya tsunami yang terjadi tergantung dari besarnya volume air yang didorong ke atas oleh permukaan dasar laut yang terangkat. Berikut ini perbandingan gempa 2004 dan 2005. Pertama, zona subduksi yang pecah dan bergeser pada waktu gempa 2004 adalah sepanjang 1600 km sedangkan pada waktu



Model sumber gempa bumi Nias-Simeulue, 28 Maret 2005. Bayangan kuning-merah-gelap menggambarkan besar pergeseran bumi pada bidang kontak zona subduksi yang menjadi sumber gempa. Di bawah Nias maksimum pergeseran 12 m dan di Simeulue 8 m. Pergeseran ini mengecil ke barat dan timur dari sumber gempanya. Panah hitam adalah data pergerakan permukaan dari GPS. Panah merah muda adalah pergerakan dari model sumber gempa. Titik-titik hijau adalah lokasi pengamatan korals mikroatol untuk data naik dan turun (dimodifikasi dari Briggs *et al.*, 2006).

Simuk (Kepulauan Batu) di selatan. Di sini pergeseran mencapai ~3 m dan membuat Pulau Simuk terangkat ~25 cm. Model sumber gempa bumi Nias-Simeulue ini menunjukkan bahwa kekuatan gempanya mencapai Mw 8,7 (Briggs *et al.*, 2006).

Gempa Nias-Simeulue tahun 2005 ini meluluhlantakan banyak bangunan di sekitar Kota Gunungsitoli dan Sinabang, daerah dengan populasi terpadat, sehingga memakan korban jiwa hampir dua ribu orang. Meskipun demikian, masih beruntung karena tsunami yang terjadi tidak besar, sehingga tidak ada korban. Setelah gempa 2005 ini, banyak orang bertanya-tanya mengapa tidak ada tsunami?

gempa 2005 hanya 400 km. Kedua, pengangkatan tektonik yang terjadi pada waktu gempa 2004 mencapai 5,4 m, sedangkan gempa 2005 hanya 2,9 m. Ketiga, pada waktu gempa 2004 pengangkatan maksimum banyak terjadi pada bagian laut yang dalam, sedangkan pada gempa 2005 pengangkatan terfokus pada bagian daratan (Pulau Nias dan Pulau Simeulue) dan laut dangkal di sekitarnya. Ketiga fakta ini menunjukkan bahwa volume air laut yang terdorong ke atas pada waktu gempa Nias-Simeulue 2005 jauh lebih sedikit dibandingkan dengan yang pada waktu gempa Aceh-Andaman 2004. Alasan yang terakhir karena daratan (Pulau Nias dan

Simeulue) sudah terangkat ketika gempa terjadi sebelum tsunami datang 10 menit kemudian. Hal ini membuat limpasan tsunami di sepanjang pantai menjadi lebih kecil. Misalnya, walaupun tsunaminya mencapai tinggi 5 m, tapi karena daratan naik 3 m maka tsunami yang menghempas pantai terasa seperti hanya 2 m. Hal lainnya yang menyebabkan mengapa tsunami yang menghempas pantai barat Sumatra juga kecil karena keberadaan Pulau Nias dan Simeulue menjadi seperti penghalang atau dam alam bagi tsunami yang terbentuk di bagian barat pulau-pulau itu (Natawidjaja *et al.*, 2007).

Gempa Bengkulu-Mentawai 2007

Setelah rentetan gempa-gempa besar di Aceh dan Nias tahun 2004 dan 2005, gempa bumi kembali berguncang saat magrib tanggal 12 September 2007. Gempa besar dengan kekuatan 8,4 SR ini dalam waktu 13 dan 16 jam berikutnya diikuti gempa berkekuatan 7,9 dan 7,1 yang mengoyak segmen zona subduksi di wilayah Bengkulu-Mentawai. Pada tahun 1797 dan 1833, gempa dengan kekuatan M 8,7 dan M 8,9 pernah mengoyak wilayah yang sama. Walaupun

terangkat sampai lebih dari 25 cm karena dekat dengan gempa yang kedua dengan M 7,9.

Pemodelan gempa berdasarkan data pergerakan bumi yang terekam oleh jaringan *SuGAR (Sumatran GPS Array)*, pengukuran besar pengangkatan koral-koral, dan analisis teleseismik, data menunjukkan bahwa sumber gempa ini di patahan *megathrust* di bawah pulau sepanjang sekitar 300 km, dengan lebar sekitar 100 m yang bergerak sampai 7 m.

Untungnya, gempa 2007 ini tidak disertai tsunami yang besar, sehingga kerusakan yang terjadi hanya disebabkan oleh efek goncangannya. Satu hal yang positif dari hasil pendidikan masyarakat tentang gempa dan tsunami adalah ketika masyarakat merasakan guncangan gempa yang cukup kuat, mereka serta merta lari menjauhi pantai untuk menghindari kemungkinan datangnya gelombang tsunami, meskipun ternyata tsunami yang datang kecil saja. Gempa ini memang mengangkat dasar laut sampai 1,5 m, namun wilayah yang terangkat umumnya perairan yang dangkal, kemudian pulau-pulau sudah terangkat, sehingga tinggi tsunami yang datang di pantai kecil. Jadi kurang lebih kasusnya



Pantai barat Pulau Pagai Selatan yang terangkat sampai 1 m ketika gempa bulan September 2007.

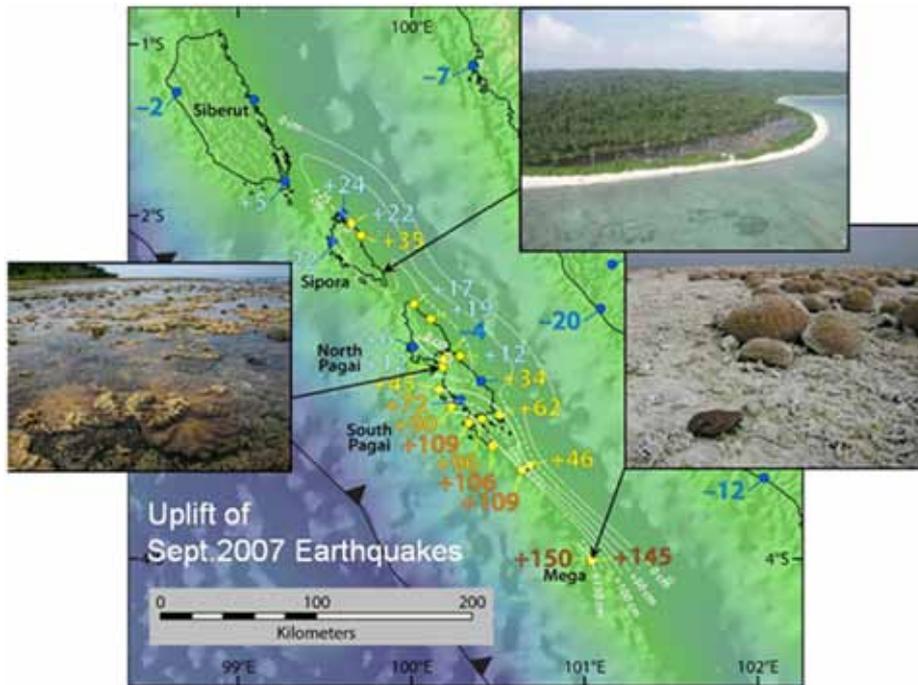
potensi gempa ini sudah diprediksi sebelumnya, namun tetap kejadian ini mengejutkan. Gempa 2007 ini cukup banyak menimbulkan kerusakan bangunan di wilayah Pulau Pagai, Kota Bengkulu, dan Kota Padang.

Dari survei lapangan yang dilakukan oleh Tim Geoteknologi LIPI dan Caltech USA, diketahui bahwa gempa ini menyebabkan Pulau Mego, di antara Pulau Enggano dan Pagai Selatan, terangkat 1,5 m dan pantai barat Pulau Pagai Selatan terangkat sampai 1 m. Ke arah utara, pengangkatan tanah umumnya makin mengecil sampai di Kota Sikakap hampir tidak ada pengangkatan. Namun, Kota Tuapejat di Sipora

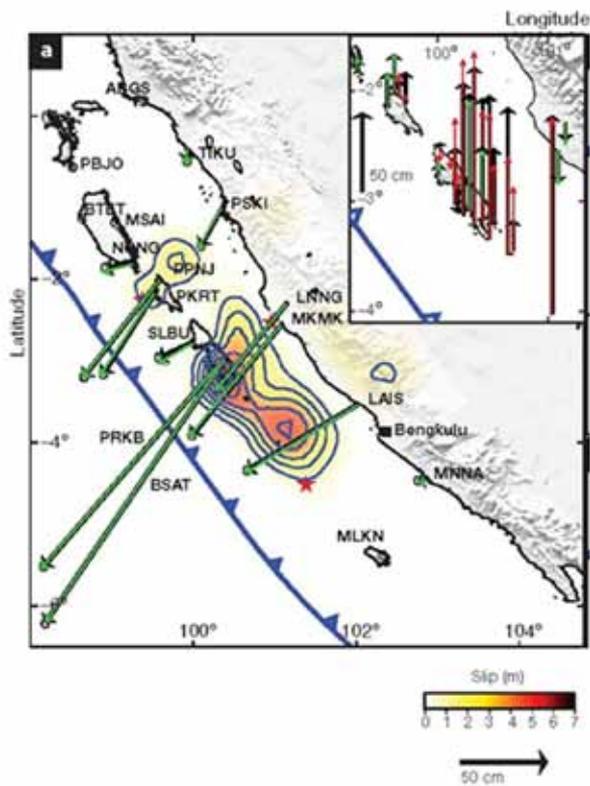
sama dengan apa yang terjadi pada waktu gempa tahun 2005 di wilayah Nias.

Gempa Mentawai 2010

Sepertinya, teror dari dasar laut perairan barat Sumatra ini tidak kenal ampun. Setelah agak sepi dari gempa selama tiga tahun sejak gempa tahun 2007, kembali gempa maut memecahkan keheningan di pantai Mentawai. Pada malam hari tanggal 25 November 2010, terjadi gempa besar berkekuatan Mw 7,7 di barat daya Pulau Pagai Selatan, Kabupaten Mentawai, Provinsi Sumatra Barat. Gempa ini juga terjadi pada *megathrust*. Episenter gempa terletak



Pola pengangkatan yang terjadi ketika gempa tahun 2007 dari hasil pengukuran koral mikroatol yang terangkat (Tim LIPI-Caltech, 2007).



Model patahan gempa dari gempa September 2007 berdasarkan data GPS, pengukuran pengangkatan koral dan data teleseismik (Konca *et al.*, 2008).

di sebelah barat dari bagian utara sumber gempa September 2007. Gempa 2010 ini merobek bidang *megathrust* di atas bidang gempa 2007, atau lebih dekat dengan palung laut dalam.

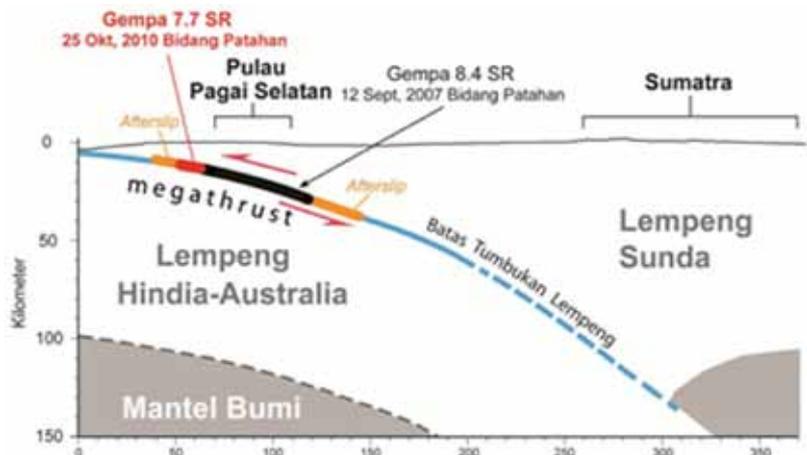
Di wilayah ini terdapat jaringan stasiun GPS kontinyu *SuGAR* yang merekam pergerakan gempa. Data *SuGAR* menunjukkan bahwa gempa 2010 membuat Pulau Pagai Selatan bergerak sampai lebih dari 3 m ke arah Tenggara. Ini mengindikasikan bahwa pergerakan pada *megathrust* mencapai 7 m.

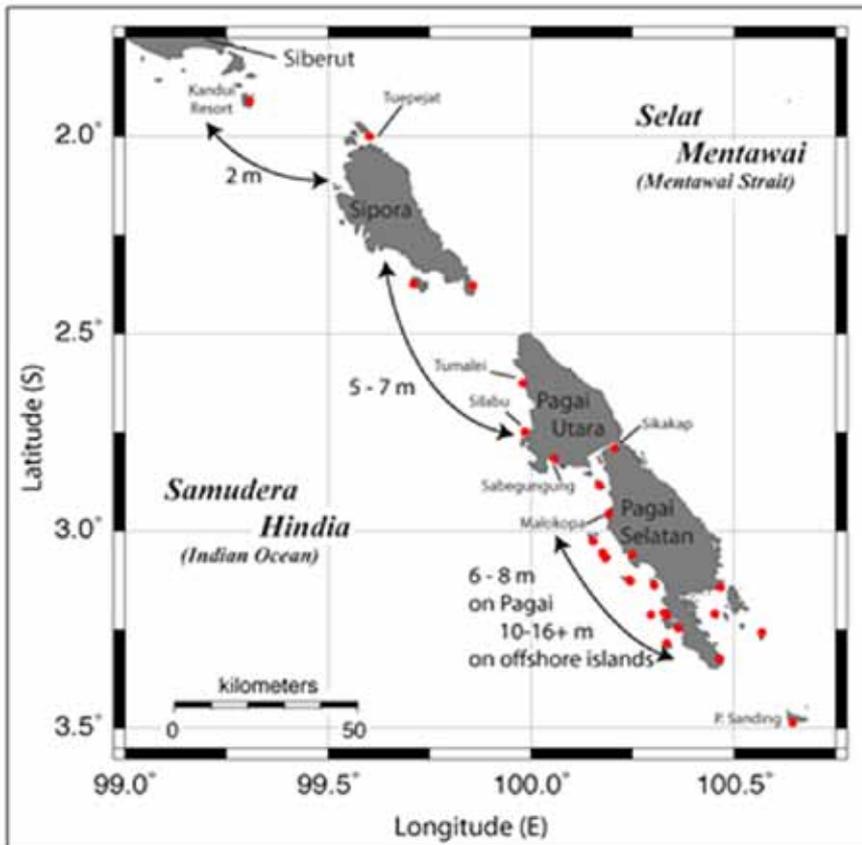
Penelitian lapangan Tim LIPI – EOS menguak fakta bahwa tsunami di Mentawai pada tanggal 25 Oktober 2010 ternyata jauh lebih besar dari yang diperkirakan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa gelombang tsunami rata-rata mencapai ketinggian 5-8 m di pantai barat Pulau Pagai Selatan, bahkan pada sebuah pulau kecil di barat Pagai Selatan itu tinggi tsunami mencapai 17 m. Tsunami ini juga melibas habis Pulau Sibigi. Terlihat bahwa seluruh hutan belukarnya menjadi rata dengan tanah. Apa yang tersisa hanyalah gundukan besar dari bongkah-



Peta sumber gempa-gempa megathrust di Mentawai dari analisis data GPS, seismologi dan korat mikroatol. Wilayah yang dibatasi poligon dan elips adalah perkiraan bidang patahan dari sumber gempa tahun 2005, 2007, dan 2010. Wilayah elips warna biru adalah segmen *megathrust* yang masih mempunyai potensi gempa berkekuatan sekitar 8,8 SR.

Memperlihatkan posisi bidang patahan gempa 2010 yang berada lebih dekat ke arah palung atas batas pertemuan dua lempeng.





Data tinggi tsunami yang terjadi pada gempa Oktober 2010 dari survei lapangan yang dilakukan Tim Geoteknologi LIPI, ITB, dan EOS (Earth Observatory of Singapore).

bongkah karang dan sampah-sampah yang dibawa tsunami sampai ratusan meter dari pantai. Data lapangan dari tinggi tsunami ini ternyata jauh dari yang diperkirakan dalam pemodelan tsunami atau pun berdasarkan data seismologi (Mw 7,7).

Tsunami membuat banyak kerusakan dan korban di banyak desa. Beberapa di antaranya korban jiwa ini disebabkan karena tidak ada akses untuk menghindari atau jalur evakuasi ke tempat tinggi. Umumnya penduduk setempat cukup mendapat pengetahuan tentang bahaya tsunami. Namun, karena getaran gempanya terasa pelan dan juga terjadi malam hari, hal ini menyebabkan banyak penduduk merasa tidak perlu evakuasi. Banyak penduduk mengatakan bahwa memang mereka agak bingung karena walaupun gempanya pelan tapi lama sekali, lebih dari satu menit. Penduduk baru lari tunggang-langgang ketika mulai mendengar gemuruh dari tsunami yang mendekat, seperti bunyi mesin pesawat jet, namun banyak di antara mereka sudah terlambat.

Gempa Mentawai tahun 2010 diklasifikasikan khusus sebagai 'gempa tsunami' (*tsunami*

earthquake) atau 'gempa pelan' (*slow earthquake*). Gempa jenis ini dapat membangkitkan gelombang tsunami yang jauh lebih besar dan mematikan dari yang diperkirakan hanya berdasarkan kepada ukuran kekuatan skala Richter-nya atau besar getaran gempanya saja. *Slow earthquake* ini bukan hal baru, dan pernah terjadi di Indonesia, seperti kejadian gempa-tsunami tahun 1994 di Jawa Timur yang membunuh 200 orang. Juga gempa-tsunami pada bulan Juli 2006 di wilayah Pangandaran, Jawa Barat, yang menimbulkan korban jiwa lebih dari 600 orang. Gempa tahun 1907 (M 7,6) yang membunuh lebih dari 50% penduduk Pulau Simeulue, waktu itu diduga juga merupakan *slow earthquake*. Gempa 1907 ini yang membuat kearifan lokal tentang *smong*. Tipe gempa ini juga terjadi di banyak tempat di dunia, seperti di Amerika Tengah dan Jepang. ■

Cara Mengukur Gempa

Obyek utama untuk mengerti gempa bumi lebih akurat dalam memperkirakan potensi bencananya di masa depan adalah dengan meneliti fenomena dan perubahan alam yang terjadi pada waktu gempa bumi. Salah satu fenomena yang terjadi adalah adanya pergerakan lempeng dan perubahan muka bumi. Dalam hal gempa *megathrust* Aceh-Andaman, daerah yang berada di atas blok lempeng yang bergerak akan terhentak naik ke atas dan bergeser ke barat. Perubahan muka Bumi ini dapat diukur dengan memakai tiga metoda: (1) *metoda mikroatol* untuk mengukur terumbu karang (koral) yang terangkat/tenggelam (Natawidjaja *et al.*, 2004), (2) analisis citra satelit (Meltzner *et al.*, 2006), dan (3) GPS. Kedua metoda pertama dapat mengukur gerak naik dan turunnya muka bumi, dan yang

ketiga, GPS, mengukur baik perubahan naik-turun dan juga pergerakan horizontal. Dari pengukuran ini dapat memodelkan dimensi dan kekuatan sumber gempanya.

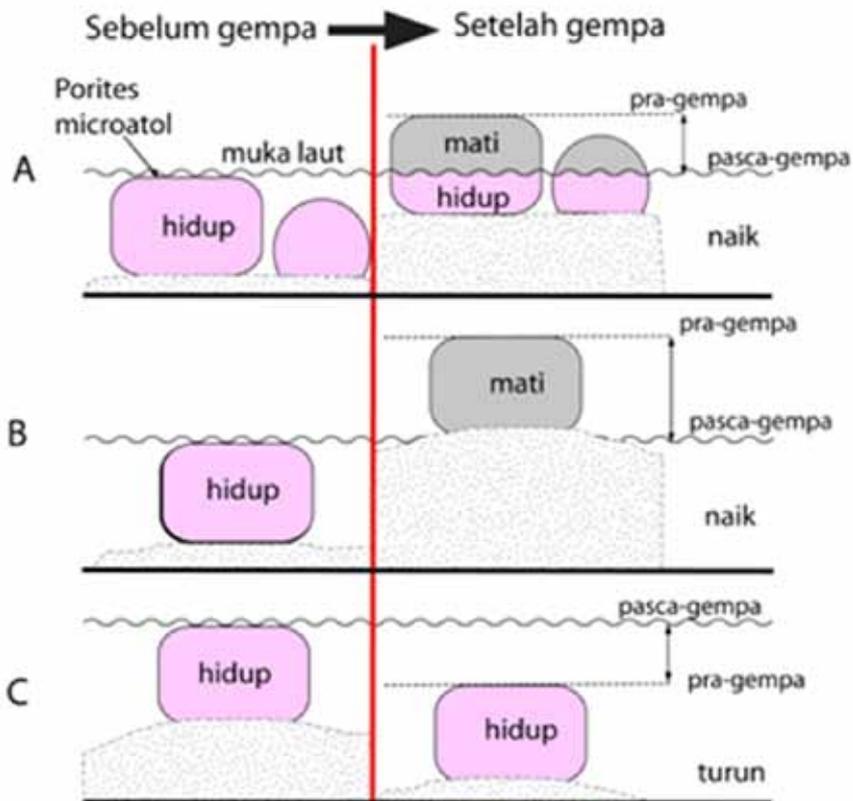
Pada bulan Januari dan April 2005, tim peneliti Geoteknologi LIPI dan *California Institute of Technology* mengukur perubahan muka bumi di Pulau Simeulue akibat gempa Aceh-Andaman dengan memanfaatkan koral mikroatol yang banyak tumbuh di Pulau Simeulue. Pada waktu gempa Aceh, banyak pantai terangkat. Hal ini menyebabkan banyak koloni terumbu karang menjadi tersembul di permukaan air dan mati. Pulau pun menjadi bertambah luas karena wilayah perairan dangkal di sekitarnya sekarang sudah menjadi daratan.



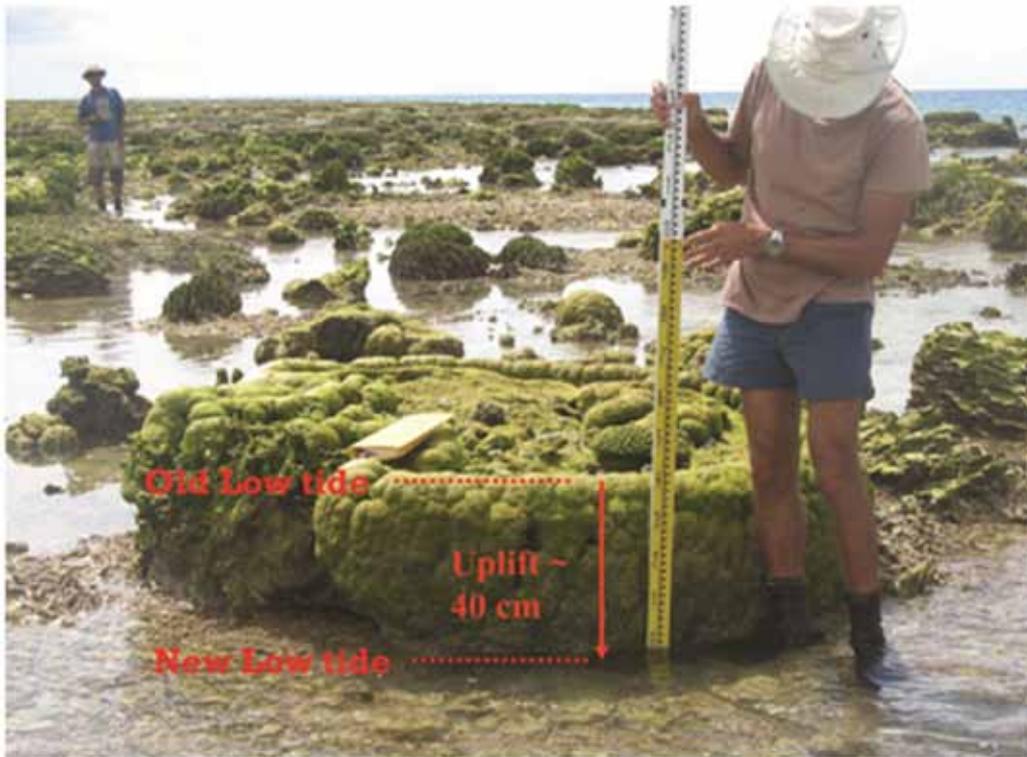
Pantai di barat laut Pulau Simeulue yang terangkat oleh gaya tektonik setinggi 150 cm.

Koral mikroatol tumbuh dari sejenis terumbu karang, genus *porites* yang hidup di zona pasang-surut di tepi pantai. *Porites* pertumbuhannya sangat dipengaruhi oleh perubahan tinggi muka air laut. Pertumbuhan koral mikroatol tidak bisa melebihi tinggi air laut minimum (air surut). Artinya, koral ini akan tumbuh ke atas sehingga mencapai permukaan air, dan setelah itu akan tumbuh kesamping. Maka permukaan dari koral mikroatol identik dengan permukaan air laut kala itu. Apabila pantai terangkat, maka tubuh mikroatol yang tersembul ke atas air akan mati. Bagian koral yang masih berada dalam air akan tetap hidup. Batas bagian koral hidup dan yang mati ini dapat jelas diamati di lapangan.

Apabila koral terangkat seluruhnya, maka akan mati total. Dalam hal ini kita harus mencari muka air laut setelah gempa pada koral mikroatol lain yang berada di lokasi lebih dalam, sehingga ada bagian tubuhnya yang masih terendam air dan hidup. Apabila tanda muka air laut setelah gempa tidak dapat ditemukan pada tubuh koral, maka dapat menghitungnya dari pengukuran lapangan dan kurva pasang-surut (Meltzner *et al.*, 2006). Sebaliknya, apabila muka pantai turun, maka koral akan tenggelam. Besarnya penenggelaman ini dapat diukur dari tinggi permukaan mikroatol ke tinggi air laut (surut) setelah gempa bumi.



Mempergunakan koral porites mikroatol untuk mengukur naik dan turunnya daratan/pantai. Prinsipnya: koral mati kalau berada di atas muka laut. A. Koral tidak terangkat seluruhnya sehingga hanya bagian atasnya saja yang mati. Besar naiknya pantai diukur dari bagian atas mikroatol sampai bagian koral yang masih hidup. B. Koral terangkat seluruhnya sehingga mati total. Besarnya pengangkatan diukur dari bagian atas koral mati sampai muka air-laut (surut). C. Pantai turun sehingga koral mikroatol tenggelam. Besarnya pantai turun diukur dari permukaan koral ke muka laut (dimodifikasi dari Briggs *et al.*, 2006).



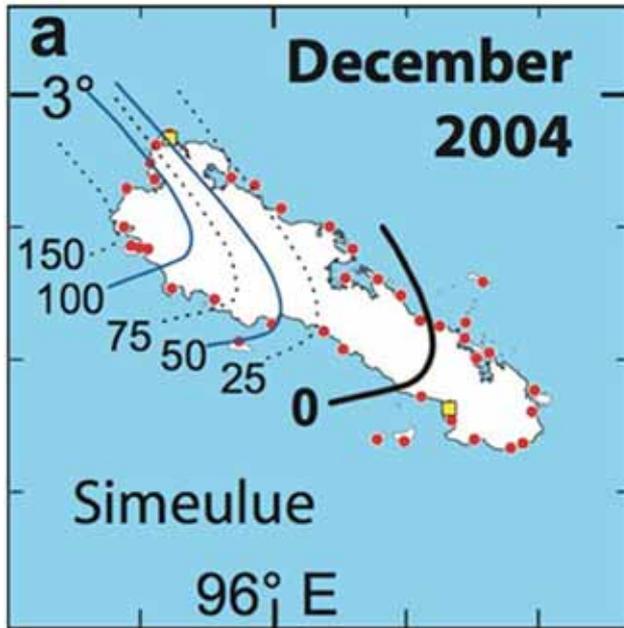
Koral yang terangkat. Besarnya pengangkatan dapat diukur dari permukaan koral (muka laut sebelum gempa) ke batas koral yang masih hidup (muka laut setelah gempa).

Bagian utara Simeulue naik sampai 150 cm. Paparan terumbu karang dangkal di zona pasang surut yang tadinya terendam air, sekarang berada di atas air menjadi daratan. Dengan kata lain, garis pantai menjadi jauh ke laut, dan daratan bertambah beberapa puluh sampai ratusan meter. Kontras dengan bagian utara, bagian selatan Simeulue malah turun sampai beberapa puluh sentimeter. Penenggelaman bagian selatan Pulau Simeulue yang hanya beberapa puluh sentimeter, tentunya tidak sedramatis daerah utara yang terangkat, namun hal ini banyak dirasakan oleh penduduk setempat. Mereka mengamati bahwa air laut yang makin menjorok ke arah darat, mendekati rumah-rumah mereka.

Dari banyak pengukuran di 39 lokasi survei, kemudian dibuat peta perubahan muka bumi dari Simeulue. Batas antara wilayah yang naik dan turun terlihat berada di tengah-tengah Pulau Simeulue. Batas ini menandai batas selatan dari sumber gempa bumi atau bagian lempeng yang tersobek di bawah bumi tatkala gempa terjadi. Jadi, dengan mengukur pengangkatan tanah, dapat diketahui di mana sumber patahan gempa dan besar pergerakannya.

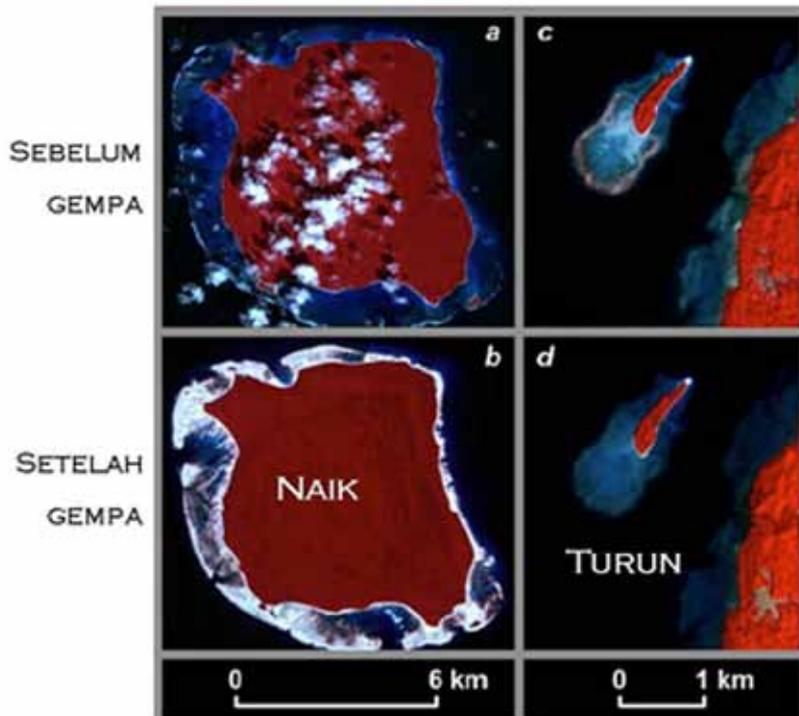
Pengukuran naik dan turunnya muka bumi dengan metoda mikroatol di atas sangat akurat. Ketelitiannya antara 5-10 cm, namun metoda ini cukup mahal dan seringkali tidak mudah dilakukan untuk memetakan wilayah yang sangat luas. Untuk itu diperlukan metoda bantu lainnya, yang walaupun tidak begitu akurat, tapi dapat memetakan perubahan muka bumi untuk wilayah luas dengan cepat dan lebih murah. Untuk itu pengukuran dibantu dengan metoda analisis citra satelit (Meltzner *et al.*, 2006).

Dari citra satelit yang diambil sebelum dan sesudah gempa, kita dapat melihat dan mengukur perubahan muka bumi yang terjadi. Terumbu karang yang mengelilingi pulau terlihat agak buram sebelum gempa bumi karena berada di bawah air laut. Apabila pantai ini terangkat maka terumbu karang berada di atas air akan lebih banyak merefleksikan sinar matahari, sehingga terlihat lebih terang dalam citra yang diambil setelah gempa bumi. Demikian pula sebaliknya, apabila pantai tenggelam, maka citra setelah gempa bumi akan memperlihatkan gugusan terumbu karang yang lebih buram karena berada lebih jauh di bawah air, dan air laut pun terlihat naik ke daratan.



Peta perubahan muka Bumi di Simeulue dari hasil pengukuran koral mikroatol (Tim LIPI – Caltech, 2005). Garis biru (penuh dan putus-putus) adalah kontur yang menghubungkan daerah yang terangkat sama besar. Satuan dalam sentimeter. Garis hitam tebal adalah batas selatan dari daerah yang terangkat. Di selatan garis itu, bagian selatan pulau turun.

PULAU ANDAMAN DAN NICOBAR



Pulau yang naik dan turun terlihat pada citra satelit. (a) Sebelum gempa, gugusan terumbu karang di sekeliling pulau terlihat samar-samar. (b) Setelah gempa terumbu karang menjadi putih berkilau karena terangkat ke atas air. (c) sebelum gempa gugusan terumbu karang terlihat lebih terang karena dekat air. (d) Setelah gempa, terumbu karang menjadi lebih gelap karena tenggelam (dimodifikasi dari Meltzner *et al.*, 2006).

Selain dari koral mikroatol dan citra satelit, pergerakan mukabumi juga terekam di stasiun-stasiun GPS. Alat GPS ini dapat merekam pergerakan bumi dari titik lokasi antenna GPS dengan sangat akurat (ketelitian sub mm pertahun). Prinsipnya, sejumlah satelit GPS yang mengitari Bumi memancarkan gelombang yang dapat ditangkap oleh antenna GPS, sehingga alat penerima data GPS (*receiver*) mencatat jarak antara antenna dengan satelit-satelit yang tertangkap sinyalnya. Posisi satelit-satelit tersebut setiap saat dapat diketahui dengan sangat akurat, sehingga posisi dari lokasi GPS setiap saat dapat

diketahui. Dengan cara ini maka besarnya laju dan arah dari pemampatan kerak (tekanan tektonik) pada saat sebelum gempa bumi dapat dihitung. Demikian juga apabila terjadi gempa, maka besarnya pergerakan dari lokasi GPS dapat diketahui.

Orang dapat juga mengukur pergerakan dengan cara mengukur titik-titik monumen geodesi yang telah dipasang di berbagai lokasi dengan peralatan *mobile* GPS. Dengan cara ini maka orang dapat menghitung besarnya pergerakan pada waktu gempa, yaitu jarak dari titik monumen sebelum dan setelah gempa bumi. ■



Stasiun GPS SuGAR (Sumatran GPS Array) yang terdiri dari kubah berisi antenna yang didirikan di atas empat kaki besi yang sangat kokoh dan tiang dengan kotak putih yang berisi alat penerima data yang tersambung kepada sel matahari sebagai sumber tenaganya. A. GPS di Aceh Jaya. B. GPS di Bandara Lasikin, Sinabang, C. GPS di Lewak, Simeulue, D. GPS di Lahewa, Nias.

Antisipasi dan Mitigasi Gempa

Peta potensi akumulasi energi gempa dapat dimodelkan dari rekaman data stasiun GPS dan juga data geologi dari terumbu karang. Pada prinsipnya stasiun GPS ini merekam pergerakan bumi dengan sangat teliti. Apabila pergerakan stasiun GPS ini makin besar dan searah dengan pergerakan tumbukan lempeng Hindia terhadap Sumatra, maka hal ini menunjukkan makin besar juga tingkat kuncian dari batas tumbukan lempeng di bawahnya, artinya, makin besar akumulasi energi regangan yang terjadi. Terumbu karang berjenis mikroatol juga menunjukkan data serupa. Pertumbuhan mikroatol sensitif terhadap perubahan muka air laut, sehingga dapat merekam gerak turun-naiknya pulau-pulau itu sejak 30-70 tahun terakhir. Makin cepat gerak pulau itu turun, maka makin tinggi kuncian dari batas tumbukan dua lempeng di bawahnya.

Setelah *megathrust* Sumatra pecah secara beruntun selama 11 tahun terakhir ini, apakah ancaman gempa di wilayah ini sudah berakhir? Kita semua tentu berharap demikian, tapi data dan prediksi ilmiah menunjukkan sebaliknya. Gempa raksasa yang tidur sejak terakhir bangun di tahun 1797 dan 1833 ternyata belum sepenuhnya terusik. Melihat peta potensi akumulasi energi gempa dan bagian-bagiannya yang sudah dilepaskan dalam gempa-gempa yang sudah terjadi tampaknya masih ada segmen besar yang belum tercabik. Segmen *megathrust* yang masih utuh itu utamanya berada di bawah Pulau Siberut, Sipora dan Pagai Utara.

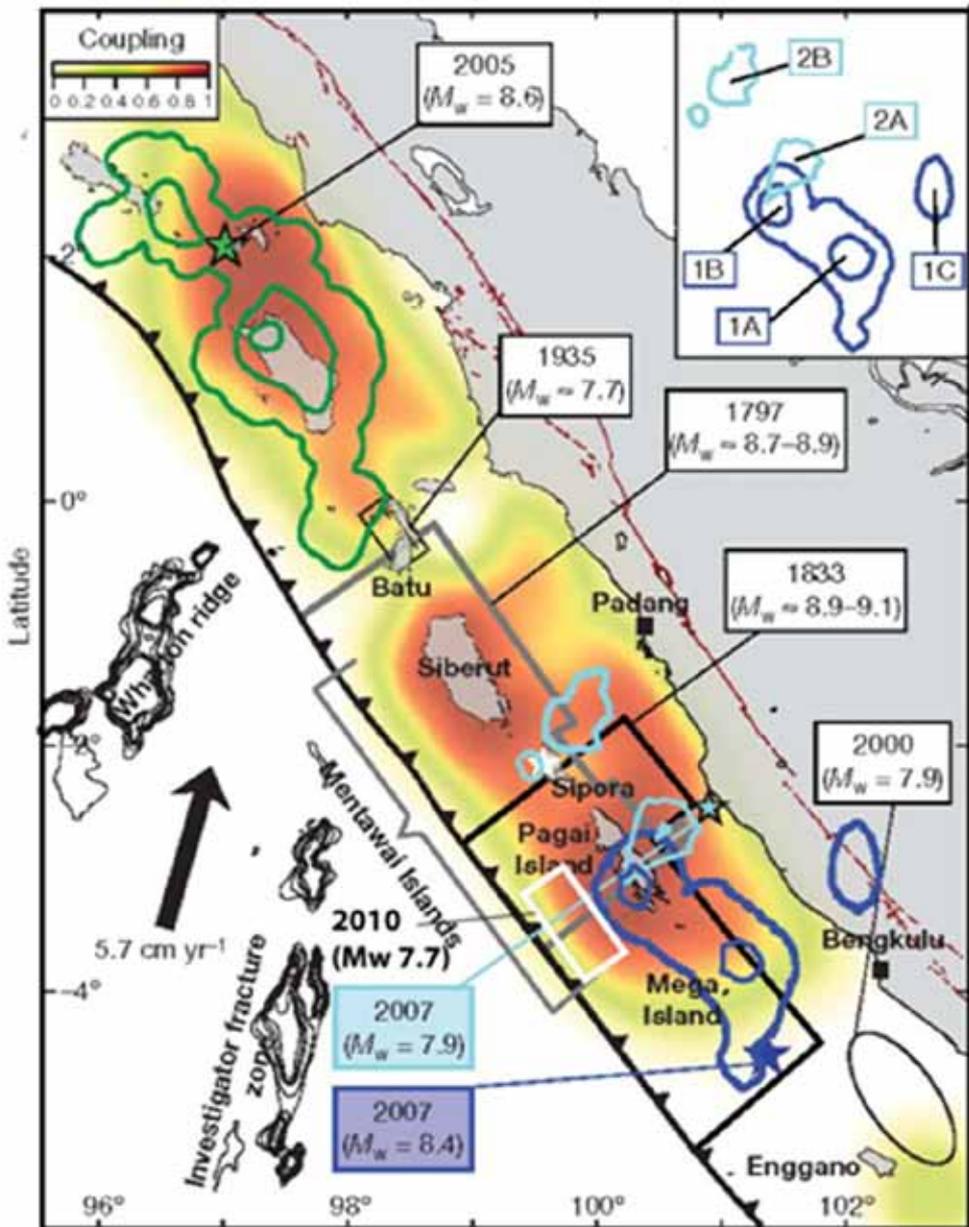
Sampai kapan wilayah merah di bawah Siberut itu dapat bertahan? Sayangnya pertanyaan penting ini sukar untuk dijawab secara lugas oleh IPTEK saat

ini. Walaupun banyak sudah rahasia alam yang sudah dipahami, namun masih banyak lagi misteri alam yang belum terpecahkan. Untuk saat ini, kita hanya bisa katakan bahwa fakta ilmiah yang sangat kuat menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya gempa dan tsunami yang lebih besar di wilayah Mentawai dan pesisir barat Sumatra itu sangat tinggi.

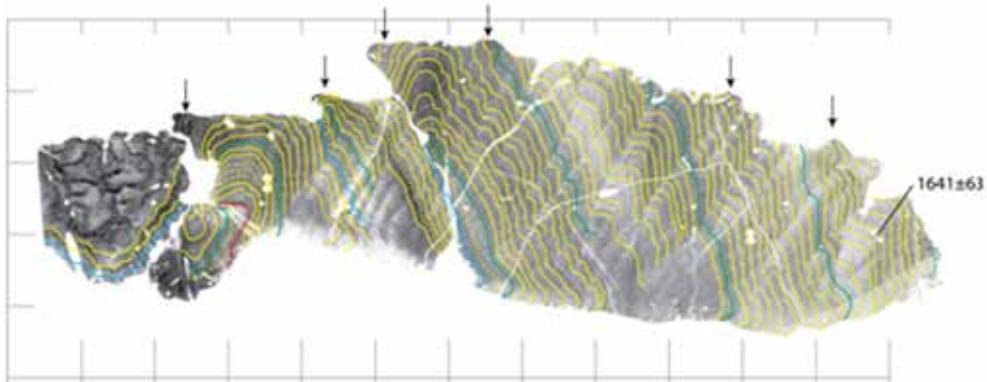
Tapi seberapa tinggi kemungkinan itu? Untuk menguraikannya lebih lanjut, harus diteliti status dari wilayah *megathrust* yang merah itu dengan melihat sejarah dan siklus gempa-gempa besarnya jauh ke zaman pra-sejarah. Beruntung, di Kepulauan Mentawai terdapat banyak koral mikroatol yang pola pertumbuhannya sangat sensitif terhadap pergerakan turun-naiknya pulau karena proses gempa, sehingga kita dapat merekonstruksi proses siklus gempa besar dengan sangat baik sampai hampir 1000 tahun ke belakang.

Terlihat jelas bahwa status segmen *megathrust* Mentawai ada dalam penghujung siklus gempa, terjadi pelepasan dari akumulasi regangan sejak gempa terakhir tahun 1797 dan 1833. Gempa tahun 2007 dan 2010 adalah pertanda dimulainya proses itu. Jadi sudah selayaknya usaha mitigasi bencana harus dilakukan dengan serius agar jumlah korban dapat ditekan serendah mungkin, apabila gempa besar berikutnya datang.

Kota Padang tahun 1833 penduduknya hanya berjumlah sekitar 14.000 jiwa. Sekarang, wilayah ini penduduknya mencapai lebih dari 800.000 jiwa. Kejadian gempaseperti tanggal 12-13 September 2007 saja sudah cukup menimbulkan banyak kerusakan dan memakan puluhan korban jiwa. Gempa pada



Peta potensi akumulasi regangan tektonik (energi gempa) dari data GPS dan koral. Warna merah menunjukkan wilayah *megathrust* yang terkunci penuh atau mengakumulasi regangan paling banyak. Gambar elips dan poligon menunjukkan lokasi bidang *megathrust* yang sudah pecah mengeluarkan simpanan energinya sebagai gempa-gempa besar tahun 2000, 2005, 2007, dan 2010. Gambar kotak menunjukkan lokasi patahan dari gempa-gempa di masa silam yang terjadi tahun 1797, 1833, dan 1935. Terlihat bahwa *megathrust* terkunci di wilayah Pulau Siberut masih belum terusik.



Contoh X-ray lempengan vertikal koral (dari tengah ke samping) dari koral yang hidup di abad ke-17 yang diambil dari lokasi Cimpungan, Pagai, memperlihatkan lingkaran tahun pertumbuhan (ditandai garis kuning), dan garis hijau menandai setiap 10 tahun. Panah hitam menunjuk ke garis pertumbuhan yang melingkar sebagai indikasi terjadinya penurunan muka air laut akibat proses pengangkatan. Contoh memperlihatkan bahwa koral di awal hidupnya (di tengah-tengah) terbalik, mungkin akibat tsunami. Kemudian koral mengalami proses penenggelaman selama puluhan tahun. Selanjutnya koral mengalami pengangkatan selama puluhan tahun berikutnya. Akhirnya koral terangkat tiba-tiba di pertengahan abad ke-17 akibat gempa besar.

bulan September 2009 bahkan meluluh-lantakan Kota Padang dan wilayah sekitarnya, serta menelan korban hampir 1000 orang. Sebagai catatan, gempa tahun 2009 ini bukan bagian dari gempa *megathrust* tapi gempa jenis lain akibat patahan pada lempeng yang menunjam di kedalaman sekitar 100 km. Oleh karena itu risiko bencana gempa berkekuatan 8,8 SR persis di lepas pantai Padang tentu sangat tinggi.

Selain wilayah Mentawai – Sumatra Barat dan Bengkulu, sebenarnya masih ada wilayah lain di utara yang juga masih berpotensi untuk menghasilkan gempa besar. Salah satunya yang sekarang sedang diteliti adalah wilayah barat dari Kepulauan Banyak di NAD. Pada bulan Februari tahun 2010, wilayah Timur dari Kepulauan Banyak ini sudah dihantam gempa dengan kekuatan 7,6 SR. Dari peta deformasi gempa yang terjadi tahun 2005, dapat diperkirakan bahwa setelah gempa Februari 2010 ini, wilayah baratnya yang belum pecah, yaitu segmen di antara Pulau Simeulue dan Nias, masih berpotensi untuk menghasilkan gempa besar. Karena kedekatannya dengan palung laut dalam, maka gempa yang terjadi bisa mempunyai karakter seperti gempa yang terjadi pada bulan Oktober 2010 di barat Pagai, Mentawai, yaitu merupakan gempa yang disertai tsunami besar.

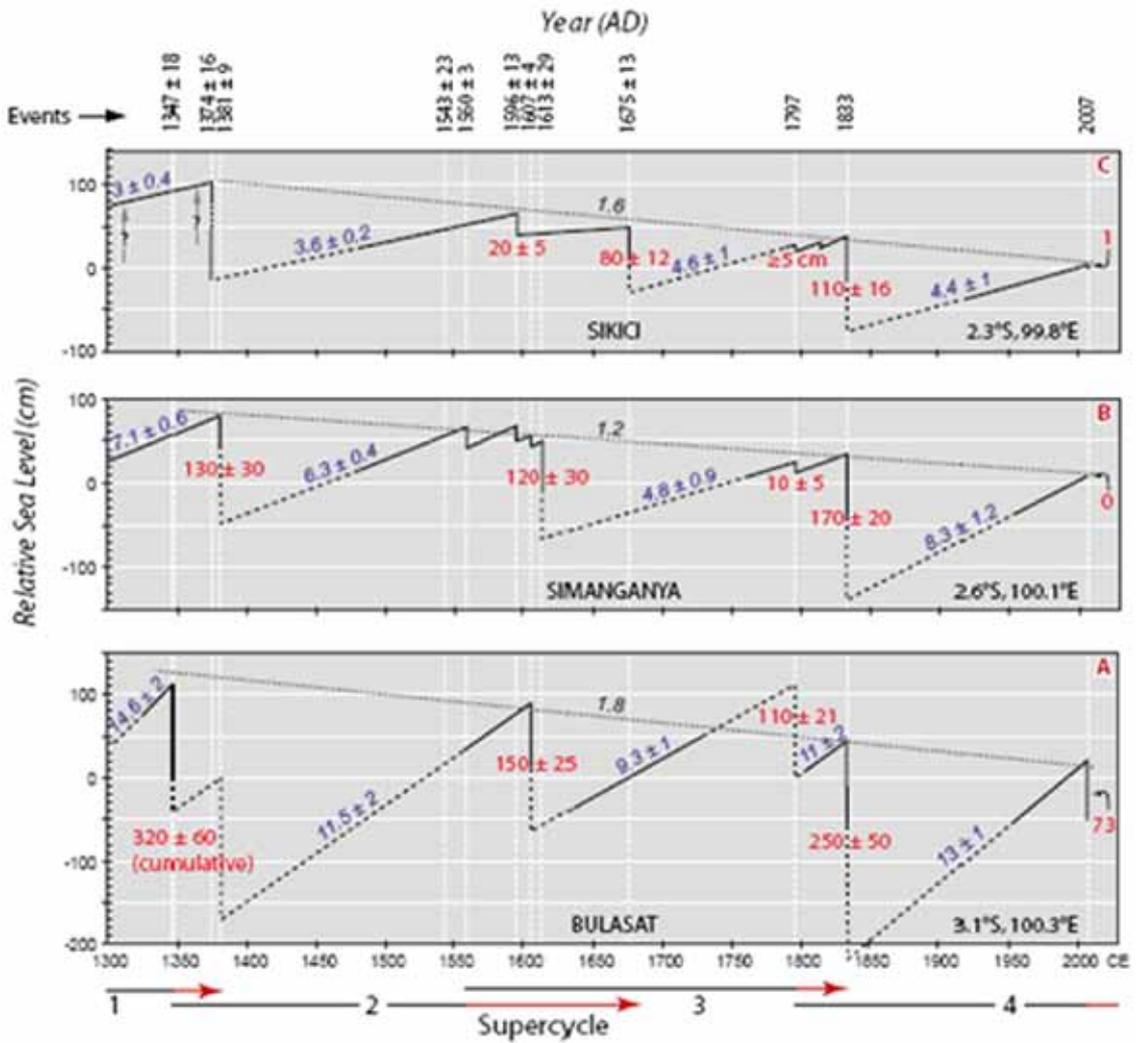
Perubahan Lahan

Selain bencana gempa dari guncangan, deformasi tanah dan tsunami, gempa juga menyebabkan perubahan relief dan lahan tanah. Dalam periode antar gempa, muka Bumi bergerak naik atau turun secara perlahan-lahan dalam hitungan milimeter sampai beberapa centimeter pertahun. Pulau-pulau yang persis berada di atas *megathrust* seperti Pulau Simeulue, Nias, Batu, Siberut, Sipora dan

Pagai umumnya akan turun secara perlahan-lahan sampai 10-20 mm/tahun. Artinya, untuk rumah-rumah di tepi pantai yang hanya 50 cm di atas muka laut, maka dalam kurun waktu 30-60 tahunan saja, rumah-rumah ini bisa berada di bawah air. Di Kepulauan Mentawai, banyak pohon-pohon kelapa dan lainnya yang tadinya di atas muka laut sekarang sudah terendam air di wilayah pasang-surut laut.

Ketika gempa, sebagian tanah akan terangkat serentak sedang di sisi lainnya akan tenggelam. Perubahan ini tentunya dapat menimbulkan masalah bagi manusia. Misalnya seperti pantai barat Pulau Nias sebelum gempa Maret 2005 makin terendam laut secara perlahan-lahan, tapi pada waktu gempa Maret 2005 pantai ini terangkat sampai 3 m. Pengangkatan gempa ini memberikan dampak kerusakan lingkungan antara lain:

- Populasi terumbu karang pada zona pasang-surut di sepanjang tepi pantai akan terangkat ke atas air dan mati, baik sebagian ataupun total.
- Rusaknya ekosistem terumbu karang juga membuat populasi ikan yang tadinya banyak hidup di terumbu karang menjadi kabur mencari tempat yang baru. Hal ini tentu akan berpengaruh pada mata pencaharian para nelayan di sekitarnya.
- Pengangkatan juga menyebabkan dasar laut naik sehingga dapat mempengaruhi peta navigasi laut. Ada daerah yang tadinya bisa dilalui perahu nelayan menjadi tidak bisa lagi karena sudah terlalu dangkal.
- Hal yang positif pengangkatan wilayah pantai adalah membuat daratan menjadi luas, sehingga membuka lahan kehidupan baru untuk dijadikan sawah ladang dan sebagainya. Namun perlu



Rekonstruksi siklus gempa besar dari data penurunan pada masa antar gempa dan pengangkatan gempa selama lebih dari 7 abad dari data di lokasi (A) Bulasat, (B) Simanganya, and (C) SIKICI Pulau Pagai-Sipora. Garis penuh didapat langsung dari data koral dan garis putus-putus adalah hasil interpretasi/extrapolasi data. Nilai pengangkatan (dalam cm, $\pm 2\sigma$) ditandai huruf merah. Kecepatan penurunan (dalam mm/thn, $\pm 2\sigma$) ditandai huruf biru. Kecepatan pengangkatan millennial ditandai dengan huruf hitam (dalam mm/thn). Garis panah merah menandai siklus besar gempa (*earthquake supercycles*).

diingat bahwa proses selanjutnya akan kembali menenggelamkan daratan baru ini secara perlahan-lahan sampai terjadi lagi gempa besar yang mengangkat kembali daratan ini.

Di lain sisi, penurunan tanah karena gempa di wilayah pantai seperti di Desa Haloban dan Pulau Bale di Kepulauan Banyak atau di wilayah Calang, Pantai Barat NAD, menyebabkan ekosistem yang tadinya hidup di atas air menjadi tenggelam dan mati. Wilayah pantai pun menjadi menyusut, dan sebagian wilayah permukiman yang terlalu dekat dengan muka laut menjadi tenggelam di bawah air, sehingga tidak bisa dihuni lagi.

Infrastruktur Aman Bencana

Perencanaan wilayah permukiman dan infrastruktur, seharusnya tidak hanya mempertimbangkan aspek yang berkaitan dengan kepentingan dan aktivitas manusia saja, tapi juga memahami bentang alam dan semua proses yang membentuknya. Tanpa pemahaman dan pengetahuan yang cukup tentang hal ini, maka akan sukar untuk mengembangkan lingkungan hidup yang aman dari bencana alam.

Pada masa lalu mitigasi bencana alam hanya sebatas himbauan dan anjuran pemerintah, sehingga kenyataan ini tidak pernah dilakukan dengan serius. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 yang dikeluarkan pada bulan April 2007 merupakan awal dari era baru dalam mitigasi bencana di Indonesia. Sekarang, mitigasi bencana bukan lagi sekadar anjuran dan himbauan, tapi sudah merupakan kewajiban untuk dilaksanakan.

Satu falsafah dasar dalam mitigasi bencana alam, bahwa laju pertumbuhan penduduk dan pembangunan yang pesat, maka ancaman menjadi semakin tinggi, karena akan semakin banyak manusia menempati wilayah-wilayah rawan bencana, yang tadinya tidak atau sedikit dihuni atau dikembangkan. Tujuan yang sangat penting dalam mengurangi dampak bencana alam adalah dengan memasukkan faktor bencana alam dalam perencanaan pembangunan dan perluasan wilayah. Disamping itu, juga melakukan usaha-usaha untuk mengurangi kerawanan bencana bagi wilayah yang terlanjur ada di wilayah rawan bencana.

Kesuksesan dalam usaha mitigasi bencana alam nasional tergantung dari beberapa faktor:

1. Pengetahuan yang *up to date* tentang potensi sumber bencana alam, baik pengetahuan dasar ataupun peta potensi bencana dan detil teknis yang efektif dan efisien untuk pelaksanaan mitigasinya. Misalnya data sumber gempa bumi dan tsunami untuk setiap daerah, kemudian dituangkan dalam bentuk peta bahaya goncangan, peta bahaya sesar aktif, peta bahaya

longsoran, peta inundasi tsunami, dsb.

2. Program nasional jangka panjang untuk menggalakkan riset di bidang kebencanaan, untuk terus meng-*update database* potensi sumber bencana dan juga peta-peta kebencanaan seperti yang tercantum dalam butir 1.
3. Melaksanakan pemantauan (sumber) bencana alam yang berbasis pengetahuan kebencanaan yang memadai berdasarkan butir 1 dan 2. Pemantauan ini mencakup: jaringan seismometer dan GPS pemantau proses gempa bumi, jaringan pemantau cuaca, jaringan sensor pemantau gunung api, jaringan sensor pemantau gerakan tanah, jaringan sensor pemantau banjir. Usaha ini seiring dengan penyelenggaraan *Early Warning System (EWS)* dan *post-disaster rapid assesments*.

Perencanaan wilayah permukiman dan infrastruktur, seharusnya tidak hanya mempertimbangkan aspek yang berkaitan dengan kepentingan dan aktivitas manusia saja, tapi juga memahami bentang alam dan semua proses yang membentuknya.

4. Pendidikan untuk para pejabat pemerintahan dan petugas pelaksana penanggulangan bencana dan juga untuk masyarakat umum untuk membangun kesiapan masyarakat dan sarana-fasilitasnya dalam mengurangi efek bencana di masa datang dan menyiapkan pelaksanaan kondisi darurat apabila bencana terjadi, usaha rehabilitasi, dan rekonstruksi. Perlu diingat bahwa hal ini akan sukar dilaksanakan apabila butir (1) dan (2) tidak dilaksanakan.
5. Membangun kesiapan manajemen dan infrastruktur apabila bencana terjadi, yaitu untuk membantu pelaksanaan evakuasi, tindak tanggap darurat, rehabilitasi, dan rekonstruksi. Usaha ini meliputi misalnya: pelebaran atau pembuatan jalan-jalan untuk membantu evakuasi, membuat bangunan khusus untuk tempat berlindung bagi masyarakat dari tsunami, menyiapkan sarana-fasilitas untuk membantu korban dalam situasi tanggap darurat, menyiapkan bahan makanan di tempat yang aman dan strategis untuk para korban, dll.

- Melaksanakan rencana pembangunan dan pengembangan wilayah (RTRW) yang aman bencana alam. Artinya, kita harus mengantisipasi di mana saja daerah yang padat penduduk dan infrastruktur yang sudah terlanjur berada di daerah rawan bencana. Kemudian untuk selanjutnya tidak lagi mengembangkan suatu daerah tanpa memperhitungkan risiko bencana alam.
- Good governance* dalam sistem manajemen penanggulangan bencana.

Perlu digarisbawahi bahwa maraknya kegiatan mitigasi bencana di Kota Padang sekarang ini adalah bukti kesuksesan hasil riset kebencanaan yang langsung diterapkan untuk mendorong kesiapsiagaan masyarakat untuk menghadapi bencana.

Tips Mitigasi Bencana

- Mempunyai peta dan informasi yang cukup mengenai potensi bencana alam. Peta rawan bencana yang bisa dipakai untuk input dalam pembuatan RT RW, *kontingensi plan*, menyiapkan masyarakat siap bencana dan lain-lain, harus mempunyai ketelitian atau skala yang cukup besar. Untuk wilayah dengan populasi padat maka skalanya harus 1:10.000 atau lebih besar lagi. Peta ini harus mempunyai informasi yang cukup detil tentang parameter-parameter sumber bencana dan analisis potensinya.
- Melakukan usaha-usaha untuk mengurangi rawan bencana bagi penduduk yang berada di wilayah rawan bencana. Hal ini bisa dilakukan dengan berbagai cara, tergantung dari jenis bendacananya. Misalnya untuk bahaya gempa bumi, maka Pemerintah dapat memberikan bantuan untuk pelaksanaan teknis memberi tambahan struktur pada bangunan, supaya menjadi lebih tahan gempa. Kemudian untuk

rumah-rumah dan bangunan yang akan dibangun harus memenuhi persyaratan tingkat ketahanan gempa tertentu sesuai dengan tingkat kerawannya. Untuk populasi penduduk yang berada di wilayah inundasi tsunami, maka harus direncanakan bagaimana penduduk bisa menyelamatkan diri ketika tsunami datang. Hal ini bisa dilakukan, misalnya dengan membuat rute dan tempat evakuasi yang sebaik-baiknya atau membuat struktur bangunan untuk evakuasi di dekat permukiman apabila penduduk tidak akan sempat untuk keluar dari wilayah inundasi tsunami.

- Memasukkan faktor kerawanan bencana alam pada RTRW, sehingga dalam jangka panjang akan semakin sedikit permukiman serta bangunan-bangunan umum yang berada di lokasi rawan bencana alam. Dengan kata lain, dengan RTRW yang aman bencana, maka bencana alam yang terjadi di masa depan akan semakin sedikit memakan korban, bukan sebaliknya.
- Mempersiapkan *post-disaster emergency response dan recovery* bagi wilayah yang berpotensi tinggi untuk terjadi bencana alam dalam kurun waktu dekat.
- Melaksanakan pendidikan dan pelatihan pengetahuan kebencanaan untuk para pejabat, petugas, dan masyarakat umum. Sekarang sudah saatnya juga untuk memasukkan pengetahuan tentang bencana alam ini dalam pendidikan formal SD, SMP, dan SMA.

Perlu digarisbawahi bahwa maraknya kegiatan mitigasi bencana di Kota Padang sekarang ini adalah bukti kesuksesan hasil riset kebencanaan yang langsung diterapkan untuk mendorong kesiapsiagaan masyarakat untuk menghadapi bencana. Lika-liku cerita perkembangan mitigasi di Padang juga membukakan mata, bahwa tidaklah mudah untuk menggerakkan masyarakat agar mau bersiaga mengantisipasi bencana, walaupun di-*back-up* oleh data ilmiah yang kuat tentang tingginya ancaman bencana tersebut. Maka dapat dibayangkan akan lebih sukar lagi dalam meyakinkan masyarakat apabila potensi ancaman bencana alamnya saja belum teridentifikasi dan terukur dengan baik secara ilmiah. Jadi, riset harus menjadi poros utama dari manajemen bencana alam, bukan sebagai embel-embel.

Riset kajian potensi bencana alam tidak bisa dilakukan dalam tempo singkat, tapi harus dilakukan secara komprehensif, sistematis dan terintegrasi dalam *road-map* yang jelas. Sejalan dengan usaha ini maka *data base* informasi potensi bencana alam dan semua peta-peta rawan dan risiko bencana alam harus dikelola secara nasional dan di-*update* serta direvisi secara berjangka. ■

DAFTAR PUSTAKA

- Abercrombie, R.E., The June 2000, Mw7.9 Earthquake in South of Sumatra: Deformation in the India-Australia Plate, *Journal of Geophysical Research*, 2002.
- Bock, Y., et al., Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements, *Journal of Geophysical Research*, 108, 2003.
- Briggs, R.W., K. Sieh, A.J. Meltzner, D.H. Natawidjaja, and e. al., Deformation and slip along the Sunda megathrust in the great 2005 Nias-Simeulue earthquake, *Science*, 311 (5769), 1897-1901, 2006.
- Chlieh, M., J.-P. Avouac, K.Sieh, and D.H.Natawidjaja, Investigation of interseismic strain accumulation along the Sunda megathrust, offshore Sumatra, *Journal of Geophysical Research*, 2006.
- du Puy, J., Een aantekeningen omtrent vuurbergen en aardbevingen op Sumatra, *Tijdschrift voor Neerland's Indie*, 7, 1845.
- du Puy, J., Een paar aantekeningen omtrent vuurbergen en aardbevingen op Sumatra, *Tijdschrift voor Neerland's Indie*, 9, 1847.
- Meltzner, A., K.Sieh, M.Abrams, D.C.Agnew, K.W.Hudnut, J.-P. Avouac, and D.H.Natawidjaja, Uplift and subsidence associated with the great Aceh-Andaman earthquake of 2004, *J.Geophys. Res.*, 3 (B2), 10.1029, 2006.
- Natawidjaja, D.H., Neotectonics of the Sumatran Fault and paleogeodesy of the Sumatran subduction zone, Ph.D Thesis, California Institute of Technology, 2003.
- Natawidjaja, D.H., The Past, recent, and future giant earthquakes of the Sumatran megathrust, in *JASS05 Great Earthquakes in the Plate Subduction*, Nagoya University and the JSPS, Nagoya, Japan, 2005.
- Natawidjaja, D.H., K.Sieh, M.Chlieh, J.Galetzka, B.W.Suwargadi, H.Cheng, R.L. Edwards, J-P Avouac, and S.Ward, Source Parameters of the great Sumatran megathrust earthquakes of 1797 and 1833 inferred from coral microatolls, *J.Geophys. Res.*, 111, 2006.
- Natawidjaja, D.H., K.Sieh, S.Ward, H.Cheng, R.L. Edwards, J.Galetzka, and B.W. Suwargadi, Paleogeodetic records of seismic and aseismic subduction from central Sumatran microatolls, Indonesia, *J.Geophys. Res.*, 109(B4) (4306), 1-34, 2004.
- Natawidjaja, D.H., H. Latief, W. Triyoso, and B.W. Suwargadi, Crustal Deformations, Earthquake and Tsunami Hazards of the Sumatran Plate Margin, RUTI - Kantor Menristek, 2007.
- Natawidjaja, D.H., and W. Triyoso, The Sumatran fault zone: from source to hazard, 1 (No.1), 21-47, 2007.
- Newcomb, K.R., and W.R. McCann, Seismic history and seismotectonics of the Sunda Arc, *Journal of Geophysical Research*, 92, 421-439, 1987.
- Prawirodirdjo, L., A geodetic study of Sumatra and the Indonesian region: Kinematics and crustal deformation from GPS and triangulation, University of California, San Diego, San Diego, 2000.
- Sieh, K., Danny H. Natawidjaja, A.J. Meltzner, C.C. Shen, B.W. Suwargadi, J. Galetzka, Kue-Shu LiHai, Cheng, R.L. Edwards (2008), Paleogeodetic Evidence for Earthquake Supercycles on the Sunda Megathrust, Mentawai, *Science Volume 322 pp 1674-1678*
- Konca, A.O., J-P Avouac, A. Sladen, A.J. Meltzner, K. Sieh, P. Fang, Z. Li, J. Galetzka, J. Genrich, Mohamed Chlieh, Danny H. Natawidjaja, Yehuda Bock, Eric J. Fielding, Chen Ji & Don V. Helmberger (2008), Partial rupture of a locked patch of the Sumatra megathrust
- Sieh, K., and D. Natawidjaja, Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia, *Journal of Geophysical Research*, 105 (B12), 28,295-28,326, 2000.
- Subarya, C., M. Chlieh, L. Prawirodirdjo, J.-P. Avouac, Y. Bock, K. Sieh, A. Meltzner, D.H. Natawidjaja, and M. R. Plate-boundary deformation associated with the great Sumatra-Andaman earthquake, *Science*, 440, 46-51, 2006.
- Wichmann, A., Die Edbeben des Indischen Archipels bis zum Jahre 1857, Verhandlungen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam (Tweede Sectie), Amsterdam, 1918a.
- Wichmann, A., Die Edbeben des Indischen Archipels bis zum Jahre 1857. Verhandlungen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam (Tweede Sectie). Deel XX. No. 4. Johannes Müller, Amsterdam. [In German.], 1918b.

*Penulis adalah peneliti di LabEarth,
Puslit Geoteknologi – LIPI.*

Tulisan ini dimuat kembali dengan penyuntingan baru dari tulisan dan penulis yang sama yang telah dimuat pada buku "Hidup di Atas Tiga Lempeng, Gunung Api dan Bencana Geologi" (Abdurahman dan Priatna, 2011)

PULUH WEH, Gunung Api di Kilometer Nol

Oleh: SR. Wittiri



Tugu Kilometer Nol di Desa Ujong Ba'u, Pulau Weh.

Pulau Weh, satu pulau paling barat laut kepulauan Indonesia dikenal dengan adanya titik Kilometer Nol. Meskipun di sebelah barat Pulau Weh masih terdapat satu pulau, yaitu Pulau Rondo yang tidak berpenghuni dan merupakan sebuah atol (pulau karang), tetapi Pemerintah Indonesia menetapkan posisi awal atau posisi nol dalam perhitungan jarak yang dikenal dengan "Kilometer Nol" berada di Pulau Weh. Secara geografis, titik nol tersebut berada pada $05^{\circ} 54' 21.42''$ Lintang Utara dan $95^{\circ} 13' 00.50''$ Bujur Timur.

Kota terbesar di Pulau Weh adalah Sabang. Namun, bagi banyak orang Sabang sering dianggap sebagai nama pulau. Nama Sabang sangat dikenal dengan baik berkat satu lagu wajib yang selalu dinyanyikan sebelum masuk kelas ketika masih di sekolah dasar yang berjudul "Dari Sabang Sampai Merauke" ciptaan R. Suharjo. Dari lagu itu mungkin anggapan Sabang sebagai pulau terjadi, karena lirik berikutnya berbunyi "berjajar pulau-pulau".

Secara administratif, Pulau Weh masuk ke dalam wilayah Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam. Dalam bahasa Aceh, Pulau Weh berarti pulau yang terpisah atau pulau yang jauh. Hal tersebut menggambarkan bahwa pulau ini berpisah dari daratan Sumatra.



Sebuah prasasti yang berisi keterangan lokasi kilometer nol di Pulau Weh.

Bagi mereka yang berkunjung ke lokasi Kilometer Nol akan disambut oleh serombongan monyet yang nampak sudah jinak dan seekor babi hutan yang berada dalam rombongan itu. Babi hutan itu makan bersama dengan monyet dan tidak saling mengganggu. Menurut keterangan penduduk, babi hutan itu akan kembali ke hutan setelah kenyang, sedangkan monyet tinggal di pohon yang ada di sekitar lokasi tersebut.



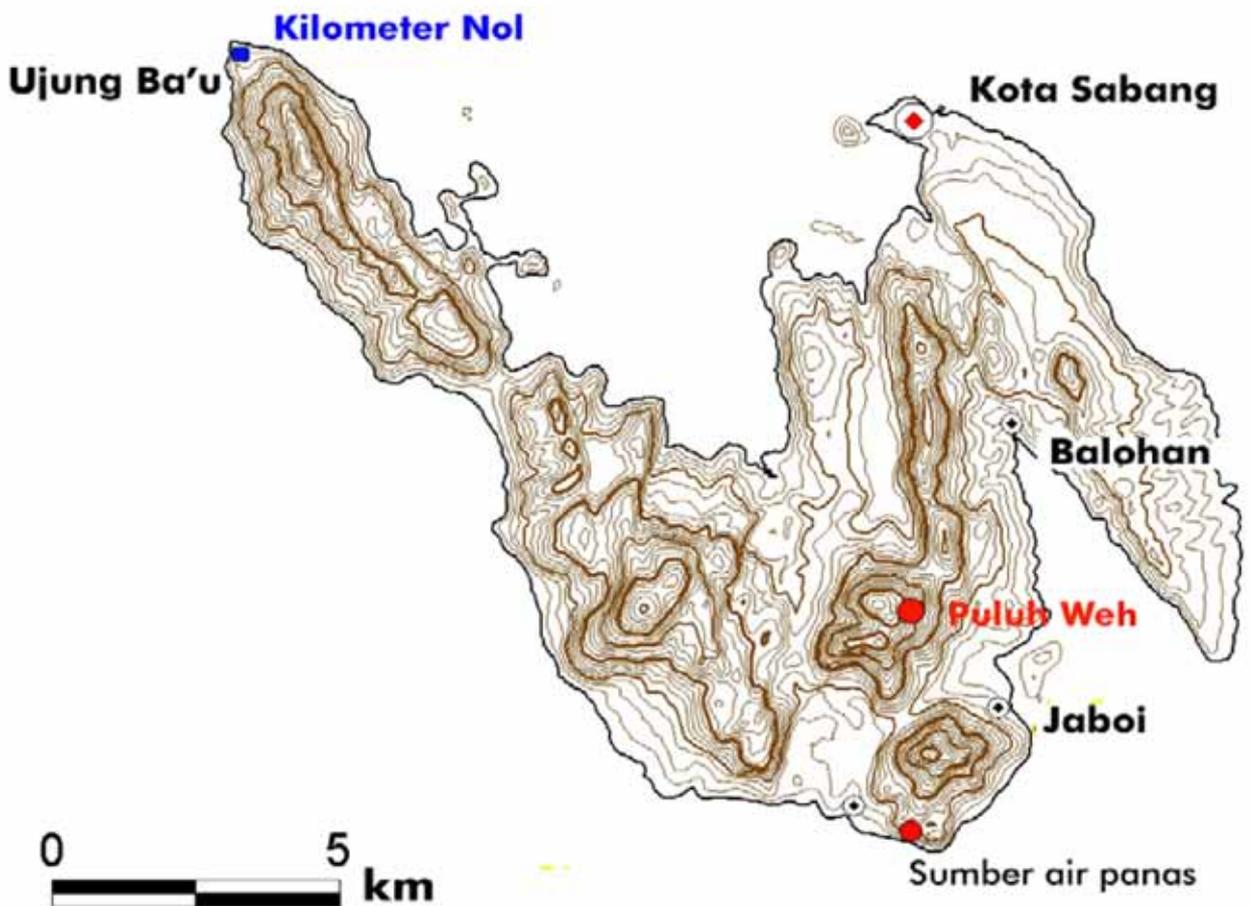
Sambutan selamat datang di Kilometer Nol.

GUNUNG PULUH WEH

Dalam rangkaian gunung api Indonesia, gunung api yang berada pada posisi paling barat, adalah gunung api yang berada di Pulau Weh. Neuman van Padang, 1951, menyebutnya Gunung Puluh Weh, boleh jadi karena berada di Pulau Weh. Penduduk lokal menyebutnya Gunung Jaboi karena berada tidak jauh dari Kampung Jaboi. Tetapi *booklet* yang diterbitkan oleh Dinas Pariwisata Kota Sabang menyebut lokasi tersebut sebagai Panas Bumi Batee Shok tanpa menyebut nama gunung api. *Batee shok* artinya batu kosong. Besar kemungkinan penamaan tersebut karena di lokasi itu tidak tumbuh satupun tanaman sehingga merupakan lahan yang kosong.

Dalam klasifikasi gunung api Indonesia, Gunung Puluh Weh termasuk dalam kategori gunung api tipe C (Data Dasar Gunungapi Indonesia, K. Kusumadinata, 1979). Artinya, Puluh Weh adalah gunung api yang tidak pernah meletus dan hanya merupakan lapangan solfatara/fumarola.

Gunung Puluh Weh mengambil tempat di bagian tenggara Pulau Weh atau sekitar 12 km sebelah selatan Kota Sabang. Secara geografis, gunung api tipe C ini berada pada $5^{\circ} 46'$ Lintang Utara dan $95^{\circ} 18'$ Bujur Timur terdiri dari tiga lapangan solfatara/fumarola, masing-masing bernama Lho Balohan Ceunokot, Teupin Kerueng Madun, dan Teupin Iboih. Lapangan solfatara yang terbesar adalah Lho Balohan Ceunokot berada pada ketinggian 584 m dpl. Lapangan solfatara ini terdiri dari tiga kelompok solfatara/fumarola yang dibatasi oleh lembah yang tidak dalam. Berdasarkan catatan Tim Pengeboran Panas Bumi, Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, suhu maksimum pada titik solfatara sebesar 99°C dan suhu maksimum pada bualan lumpur (fumarola) sebesar 71°C . Bau gas belerang tidak terlalu tajam dan hanya tercium dalam jarak dekat. Dua lapangan solfatara lainnya berada tidak jauh dari pantai dan sudah tidak tampak adanya kenampakan panas bumi.



Peta Pulau We dan lokasi gunung api Puluh We



Puncak bukit lapangan solfatara Lho Balohan Ceunokot

Lokasi gunung api dapat dicapai dengan mudah. Dari Pelabuhan Sabang dapat ditempuh dengan kendaraan roda empat selama 45 menit dengan kondisi jalan beraspal mulus. Dari tepi jalan raya pengunjung harus berjalan kaki menuju ke bukit lapangan solfatara dengan waktu tempuh sekitar 15 menit. Pemerintah Daerah sudah menyediakan jalan setapak yang dilapisi oleh *paving blok*. Kondisi hutan sekitarnya terjaga dengan baik.

Promosi yang dilakukan oleh Dinas Pariwisata Kota Sabang untuk mengunjungi gunung api ini tidak segencar dengan tempat lainnya, misalnya Kilometer Nol atau Pantai Iboih. Apabila dikelola dengan baik, misalnya mengadakan atraksi memasak telur atau ubi/pisang di titik fumarola, akan sangat menarik wisatawan untuk berkunjung.

SALAH PAHAM

Pada tahun 2005 ketika pertama kali kami mengunjungi gunung api tersebut, ketika baru saja usai pengeboran percobaan panas bumi di salah satu titik sekitar gunung api, tertulis pengumuman yang dipasang oleh Pemerintah Daerah yang berbunyi **“Dilarang menyalakan api atau merokok karena ada gas yang mudah terbakar”**. Pengumuman tersebut berdampak sangat besar, terutama bagi penduduk yang bertempat tinggal tidak jauh dari lokasi tersebut maupun bagi turis. Mereka tidak berani menyalakan api, meskipun hanya sekedar untuk merokok di sekitar areal gunung api.

Dalam kunjungan kami yang kedua kali ini, pengumuman yang ditulis pada plat seng tersebut



Sublimasi belerang berbentuk jarum menggantung di mulut lobang solfatara, bau gas belerang tidak terlalu tajam



Air mendidih di dalam lumpur di salah satu titik fumarola



Batuan mengalami tingkat pelapukan yang sangat tinggi. Tampak batuan terkelupas bagian luar, lama-kelamaan akan hancur.

sudah hancur karena karatan, tetapi penduduk tetap patuh, tidak berani menyalakan api di lokasi tersebut. Kami jelaskan dan peragakan kepada penduduk, termasuk yang mengantar kami mendaki, bahwa hal tersebut tidak benar karena gas yang keluar dari lapangan solfatara di kompleks gunung api adalah uap belerang dan uap air yang tidak dapat terbakar. Kami peragakan dengan menyalakan korek api di salah satu titik solfatara dan mereka melihat tidak terjadi kebakaran, dan api segera padam karena tertiuap uap air. Dengan demikian kesalahpahaman tersebut dibetulkan. Kami jelaskan bahwa yang berbahaya adalah gas belerang yang berkonsentrasi tinggi atau gas racun yang mungkin ada, terutama bila cuaca mendung atau hujan.■

PUSTAKA

M. Neumann van Padang, 1951, Catalogue of the Active Volcanoes Of The World Including Solfatara Filed. Part I Indonesia.

K. Kusumadinata, 1979, Data Dasar Gunungapi Indonesia.

Pemerintah Kota Sabang, Dinas Kebudayaan dan Pariwisata, 2010, Ayo Jak Lom U Sabang (Ayo Berkunjung ke Sabang).

Kekerabatan

EMAS

dan

PANAS

BUMI

Oleh: Sabtanta Joko Suprpto

Proses fenomena geologi seringkali diasosiasikan dengan rentang waktu jutaan tahun, tetapi terkait pembentukan deposit emas, cukup dengan rentang waktu ribuan tahun. Secara teoritis, untuk bisa terbentuk deposit emas dalam skala ekonomis cukup dengan proses geologi dalam kurun waktu sekitar 13 ribu tahun. Sehingga pada lapangan panas bumi aktif potensial telah terbentuk cebakan emas dalam skala ekonomis.

Berdasarkan hasil-hasil penyelidikan yang dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Geologi, dan lembaga lain, diketahui bahwa aktivitas lapangan panas bumi beberapa lokasi di Indonesia mempunyai kisaran umur antara 200 ribu tahun (Gunung Lawu di Jateng) sampai dengan 1,5 juta tahun (Gunung Ranang di Sulawesi Tengah). Demikian juga halnya dengan hasil penentuan umur menggunakan mineral adularia terhadap beberapa deposit emas di Jawa

Barat, diperoleh umur Pliosen-Plistosen, yaitu berumur 2,1 juta tahun (urat bijih emas Cipangleseran), 1,5 juta tahun (urat Gang Mangan di Ciawitali), dan 1,7 juta tahun (urat bijih emas Cirotan). Akan tetapi rentang waktu pembentukan urat bijih emas sebenarnya lebih pendek dibandingkan umur dari urat bijih emas itu sendiri. Hal ini disebabkan proses-proses pembentukan urat bijih emas tersebut sudah lama terhenti.

Emas dan panas bumi terbentuk dalam lingkungan geologi yang sama, yakni hasil aktivitas hidrotermal. Aktivitas magmatik atau hidrotermal dapat berlangsung dalam kurun waktu ribuan sampai jutaan tahun, sehingga dapat dijumpai deposit emas dalam skala ekonomis pada daerah dijumpainya panas bumi. Bahkan beberapa tambang emas berada pada daerah panas bumi seperti tambang emas Hishikari di Jepang dan Lihir di Papua Nugini.



Manifestasi panas bumi berupa fumarol dan endapan silika mengandung emas ± 15 ppm, Gunung Ozore, Jepang

Kekerabatan emas dan panas bumi sangat penting, baik dari aspek eksplorasi maupun pemanfaatan. Eksplorasi emas primer sulit dilakukan, akan tetapi dengan tersingkapnya manifestasi panas bumi yang penduduk lokal dengan mudah bisa mengenali dan menjadi salah satu petunjuk awal akan kemungkinan dijumpainya prospek mineralisasi emas. Keterdapatannya emas primer dan panas bumi

terbentuknya deposit emas. Hidrotermal sebagai media pembentukan deposit emas, terbentuk pada jalur gunung api aktif maupun jalur gunung api yang sudah tidak aktif, melintasi hampir sebagian besar wilayah kepulauan Indonesia yang berupa jalur magmatik, sebagai daratan membentang sepanjang 15 ribu km. Sepanjang jalur tersebut emas berpotensi terbentuk. Aktivitas magmatik selain membentuk



Hampanan deposit bijih emas tipe *hot spring* di kaldera Gunung Ozore, Jepang

umumnya berada pada daerah tinggian, terpencil, dan infrastruktur yang terbatas. Pengolahan emas memerlukan energi, sehingga keberadaan panas bumi dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan khususnya listrik pada lokasi tambang emas. Selain itu kondisi daerah tinggian dengan suhu udara relatif dingin, potensi panas bumi dapat digunakan secara langsung untuk keperluan wisata air panas.

Genesis Endapan Emas

Pembentukan endapan emas di Indonesia terkait dengan aktivitas hidrotermal, yaitu berupa cairan panas dari sisa magma atau cairan panas yang berasal dari air tanah yang terpanasi oleh magma. Aktivitas magmatik sebagai sumber panas untuk menghasilkan fluida hidrotermal merupakan pengontrol utama

deposit emas, hidrotermal yang terperangkap di bawah lapisan tudung (*cap rock*) juga merupakan sumber energi panas bumi.

Emas dalam bentuk cebakan di alam dijumpai dalam dua tipe, yaitu cebakan emas primer dan emas sekunder. Cebakan emas primer umumnya terbentuk oleh aktivitas hidrotermal, yang membentuk tubuh bijih dengan kandungan utama silika. Cebakan emas primer mempunyai bentuk sebaran berupa urat atau dalam bentuk tersebar pada batuan. Aktivitas hidrotermal menghasilkan cebakan emas dengan komponen utama silika, terdiri dari dua tipe, yaitu tipe tersebar mengisi pori batuan atau *replacement* batuan samping dan tipe mengisi celah dari kekar atau sesar. Tipe tersebar umumnya mempunyai kadar relatif rendah namun dapat dijumpai berupa

tubuh bijih yang sangat besar. Cebakan mengisi celah membentuk bijih emas urat kuarsa/silika. Lingkungan pembentukan emas pada daerah endapan mata air panas, lingkungan epitermal, sampai dengan mesothermal. Sebagai *hostrock* tempat bersarangnya bijih emas berupa batuan samping ataupun tubuh batuan magmatik yang sekaligus sebagai sumber panas.

Aktivitas hidrotermal untuk membentuk deposit emas dalam skala ekonomis memerlukan tersedianya sumber panas dalam rentang waktu yang cukup. Sumber panas yang umum dijumpai yaitu magma. Keberadaan magma sebagai sumber panas diperlukan tubuh magma yang memungkinkan untuk menyediakan sumber panas dalam jangka waktu yang lama. Tubuh magma berbentuk cakram dengan tebal satu kilometer dapat menyediakan panas sampai seratus ribu tahun. Selain dimensi tubuh magma, perulangan aktivitas magmatik juga dapat menghasilkan sumber panas dalam jangka waktu lama. Magma basaltik atau ultra basa umumnya membentuk tubuh magma dalam dimensi kecil, sehingga cepat menjadi dingin. Sedangkan magma bersifat asam cenderung membentuk tubuh magma berukuran besar, se-

hingga tidak cepat dingin menjadi beku. Oleh sebab itu, kondisi geologi untuk berpotensi terbentuknya emas skala ekonomis berada di daerah terdapatnya batuan beku asam.

Proses oksidasi dan pengaruh sirkulasi air yang terjadi pada cebakan emas primer pada atau dekat permukaan menyebabkan terurainya penyusun bijih emas primer. Proses tersebut menyebabkan juga terlepas dan terdispersinya emas. Terlepas dan tersebarnya emas dari ikatan bijih primer dapat terendapkan kembali pada rongga-rongga atau pori batuan, rekahan pada tubuh bijih dan sekitarnya, membentuk kumpulan butiran emas dengan tekstur permukaan kasar. Akibat proses tersebut, butiran-butiran emas pada cebakan emas sekunder cenderung lebih besar dibandingkan dengan butiran pada cebakan primernya.

Proses erosi, transportasi dan sedimentasi yang terjadi terhadap hasil disintegrasi cebakan emas primer menghasilkan cebakan emas letakan/aluvial. Emas letakan dapat berada pada tanah residu dari cebakan emas primer, sebagai endapan koluvial, kipas aluvial, dan umumnya terdapat pada endapan *fluviatil*.

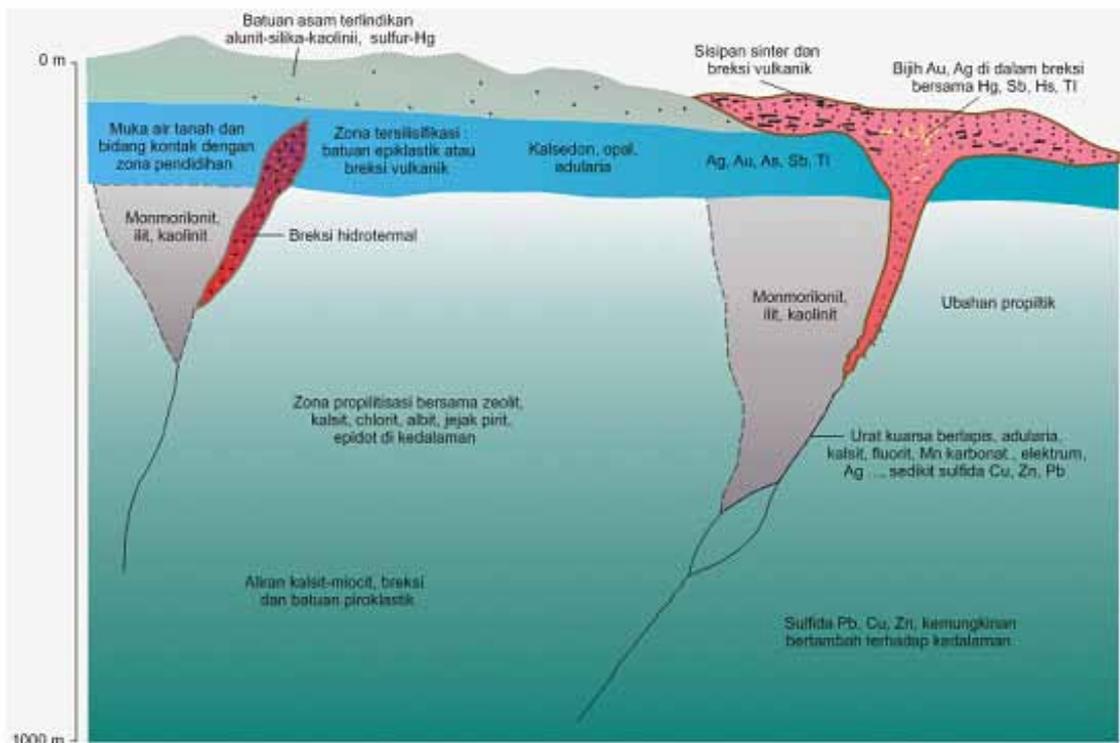
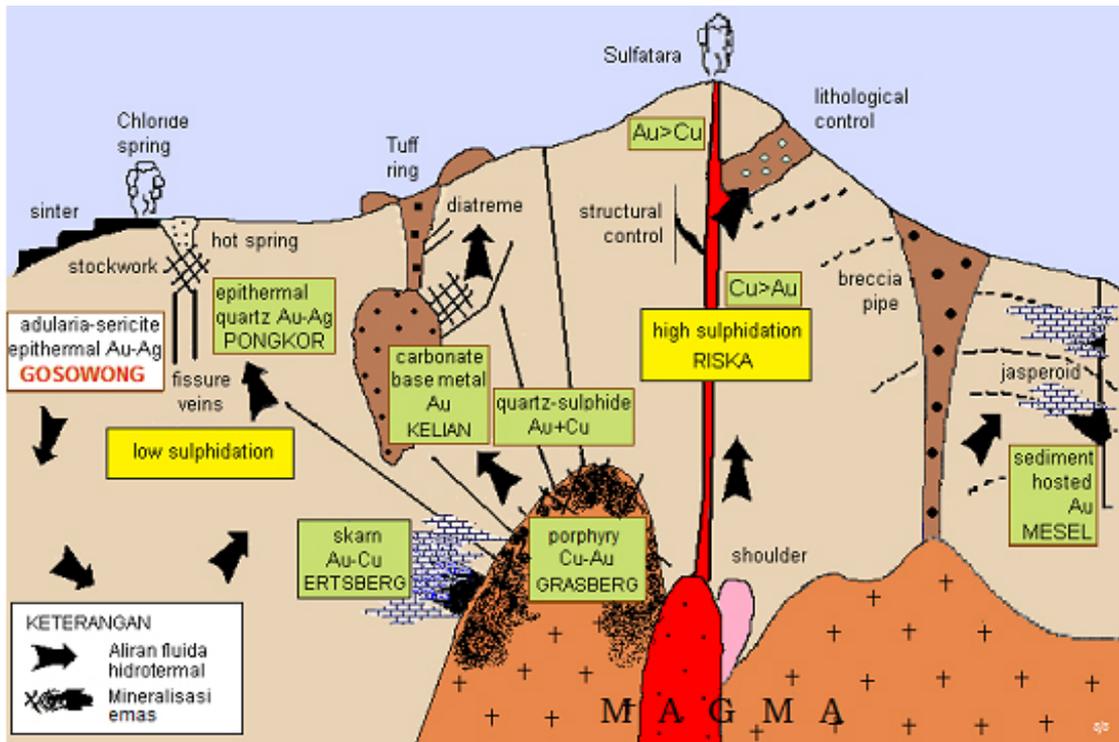


Diagram model mineralisasi emas-perak tipe *hot spring* (Bonham, 1989)



Model dan tipe mineralisasi emas pada beberapa lokasi tambang di Indonesia

Genesis Panas Bumi

Prospek panas bumi utama di Indonesia berada di lingkungan gunung api aktif dan gunung api tua berumur Kuartar yang sudah tidak aktif. Prospek panas bumi yang berkaitan dengan gunung api aktif umumnya mempunyai temperatur tinggi, kandungan gas magmatik yang cukup besar, dan permeabilitas bawah permukaan relatif kecil. Sedangkan panas bumi yang berkaitan dengan gunung api tua memiliki daerah prospek yang luas, dan permeabilitas reservoir yang lebih besar akibat berkembangnya struktur geologi.

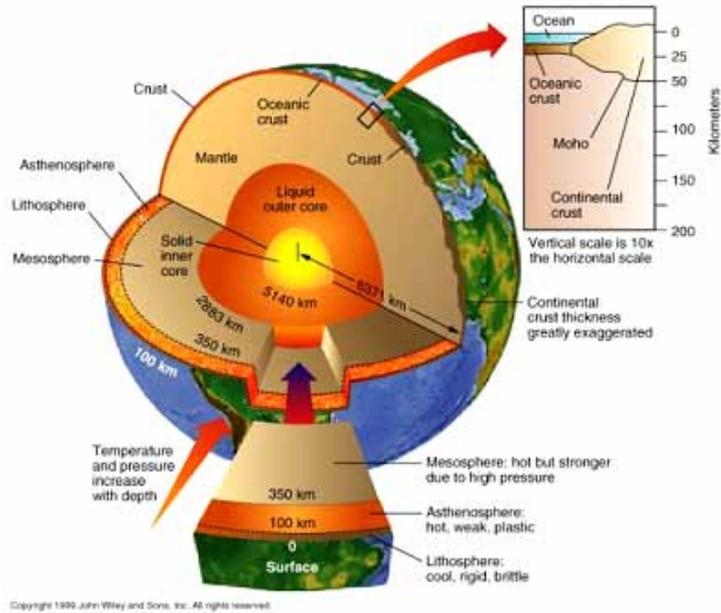
Bumi terdiri dari empat lapisan utama, masing-masing memiliki perbedaan komposisi, fungsi, dan temperatur. Empat lapisan tersebut adalah kerak bumi, *mantle*, *outer core* dan *inner core*. Temperatur pada *mantle* 150° C – 370° C dapat mengakibatkan *mantle* mencair menjadi magma. Pada lapisan kerak bumi terdapat gradien geotermal, yaitu kenaikan temperatur dengan semakin besarnya kedalaman. Gradien geotermal rata-rata 2,5° C – 3° C setiap kedalaman 100 m dan sangat tinggi pada daerah potensipanas bumi.

Konsep dasar pembentukan sistem panas dapat berdasarkan teori tektonik lempeng, yaitu sebaran panas bumi terkait dengan terjadinya penunjaman

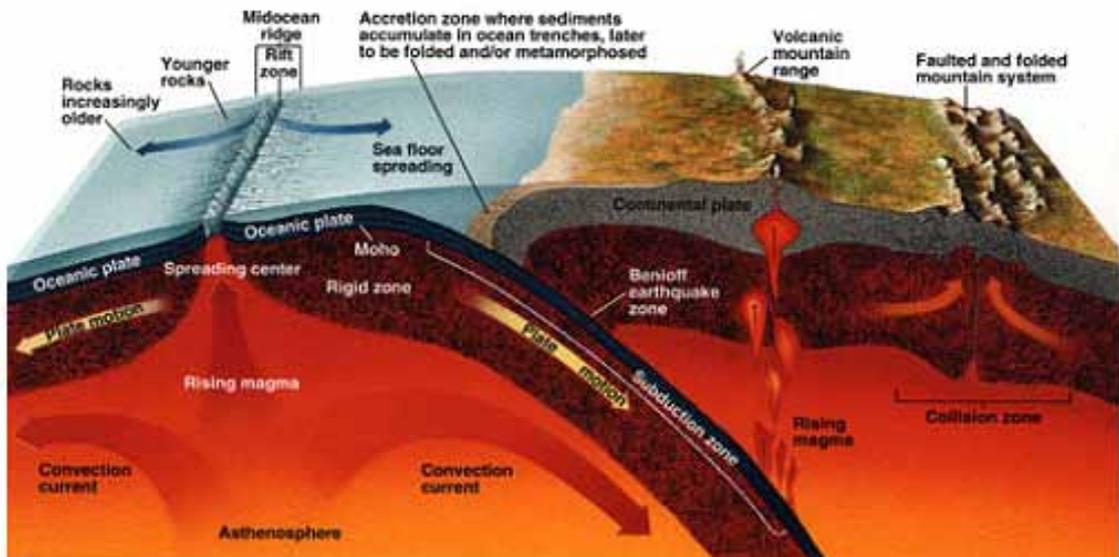
akibat tabrakan antar lempeng, serta adanya pemekaran lempeng, yang menghasilkan busur magmatik atau vulkanik, dan munculnya jajaran gunung api. Daerah magmatik dan vulkanik di Indonesia sepanjang bagian barat Sumatra, bagian selatan Jawa, memanjang ke daerah Nusa Tenggara dan Maluku, serta busur vulkanik di Sulawesi dan Maluku Utara, mempunyai potensi panas bumi besar. Di Sulawesi sebagian panas bumi berasosiasi dengan keberadaan pluton sebagai sumber panas.

Penunjaman lempeng menghasilkan aliran panas yang besar di bawah permukaan, mengakibatkan terjadinya perubahan tekanan dan temperatur. Aliran panas merambat secara konduksi pada batuan dan merambat secara konveksi melalui fluida ke permukaan membentuk transfer panas berupa arus konveksi.

Dalam pembentukan sistem panas bumi diperlukan sumber panas, reservoir, dan fluida untuk menghasilkan akumulasi energi. Sumber panas pada umumnya berupa sisa magma atau tubuh plutonik seperti batolit. Sedangkan reservoir panas bumi merupakan wadah di bawah permukaan yang bersifat sarang dan berdaya lulus terhadap fluida, dapat menyimpan fluida panas (hidrotermal), serta mempunyai temperatur dan tekanan tinggi dari sistem panas bumi.



Lapisan-lapisan utama penyusun interior Bumi.



Penunjaman lempeng menghasilkan aliran panas (www.geosci.usyd.edu.au)

Gaya gravitasi mempengaruhi fluida yang dingin untuk bergerak ke bawah, dan apabila mengalami kontak dengan sumber panas atau batuan penghantar panas berubah menjadi fluida panas yang memiliki berat jenis yang lebih ringan. Sebagai akibatnya fluida panas tersebut naik kembali ke arah permukaan dan mengubah/mengalterasi komposisi batuan sekitar yang dilewati, serta mengendapkan mineral mineral pada pori batuan, kekar, dan patahan. Di antara mineral yang diendapkan tersebut sebagian mempunyai nilai ekonomis, seperti emas, perak, dan logam dasar. Aliran fluida panas dapat mencapai permukaan tanah, muncul sebagai manifestasi panas bumi. Munculnya manifestasi panas bumi ke permukaan umumnya dipengaruhi oleh adanya struktur geologi.

Batuan penudung (*clay cap*) merupakan lapisan tidak lulus air (*impermeable*) yang berfungsi menahan fluida panas untuk tidak bergerak ke permukaan. Lapisan tudung berupa lapisan lempung atau batuan impermeable yang lain. Lempung sebagai lapisan tudung bisa merupakan hasil ubahan/alterasi oleh aktivitas hidrotermal yang membentuk zona alterasi berupa argilik/lempung.

Manifestasi panas bumi terdiri dari mata air panas, tanah panas, kolam air panas, lumpur panas,

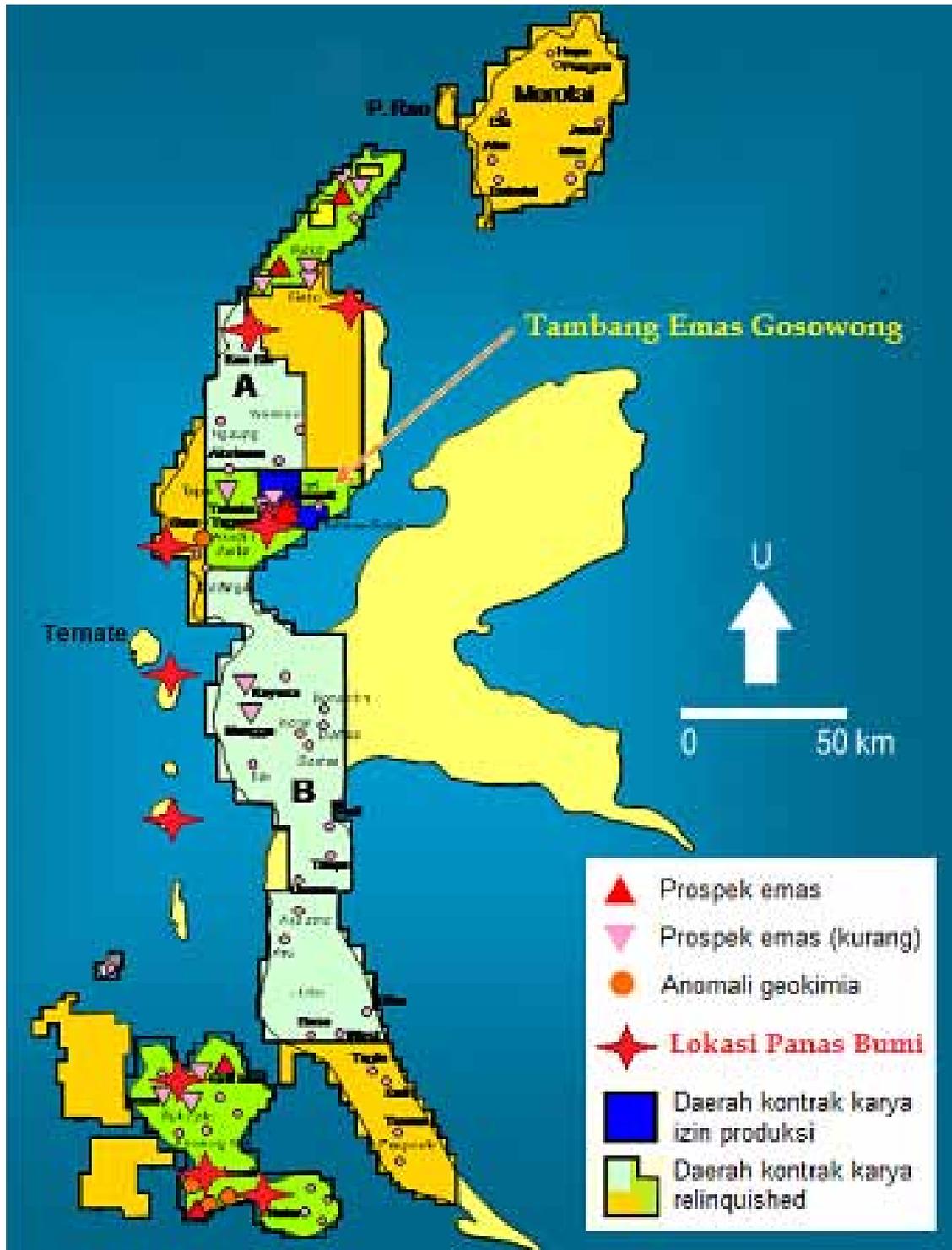
fumarol/solfatar, sinter, *geyser*, dan alterasi. Mata air panas, adalah tempat keluarnya air tanah melalui celah-celah atau rekahan batuan secara alami yang memiliki suhu lebih tinggi dari suhu badan atau udara sekitarnya. Biasanya memiliki komposisi kimia yang beragam, dapat dikelompokkan menjadi tipe air panas sulfat, klorida, dan bikarbonat. Tanah panas, adalah manifestasi panas bumi berupa tanah panas beruap. Uapnya berasal dari air panas yang tertutupi lapisan tanah. Kolam air panas, terbentuk karena adanya aliran air panas ke permukaan, membentuk kolam dengan suhu di bawah titik didih, biasanya diiringi letupan-letupan kecil *non-condensable gas* CO₂. Fumarol, berupa hembusan gas, terutama mengandung gas H₂S dan belerang. *Geyser*, merupakan mata air panas yang menyembur ke udara dengan selang waktu tertentu dan ketinggian semburan beragam. Sinter, adalah endapan silika atau karbonat hasil aktivitas mata air panas atau *geyser*. Alterasi, adalah perubahan komposisi bantuan yang terbentuk akibat proses interaksi antara fluida panas dan gas dengan batuan yang dilewati.

Ketersediaan Emas dan Panas Bumi

Beberapa daerah prospek emas terdapat manifestasi panas bumi, seperti prospek Ciawitali dan Cikotok di Provinsi Banten, Gunung Gede di



Mata air panas di daerah Prospek Emas Bombana, Sulawesi Tenggara



Peta lokasi emas dan panas bumi di Pulau Halmahera

Provinsi Jawa Barat, Bombana di Provinsi Sulawesi Tenggara, serta Tambang Emas Gosowong di Provinsi Maluku Utara. Lapangan panas bumi umumnya berada di sepanjang busur magmatik khususnya pada lingkungan gunung api, tempat terdapatnya sisa magma sebagai sumber panas, dengan batuan penyusun breksi dan tuf bersifat porous yang dapat sebagai reservoir. Tektonik pada busur vulkanik umumnya sangat aktif, menghasilkan struktur rekahan dan patahan. Struktur rekahan dan patahan tersebut berfungsi sebagai reservoir dan sebagai jalur untuk lewatnya aliran fluida hidrotermal. Demikian juga struktur lokal pada lingkungan gunung api akibat letusan yang membentuk kaldera dan struktur ikutannya, potensial untuk berkembangnya lapangan panas bumi. Lingkungan geologi berpotensi untuk terbentuknya lapangan panas bumi tersebut juga merupakan lingkungan yang potensial terbentuknya deposit emas.

Selain itu panas bumi juga dijumpai pada daerah yang bukan merupakan busur vulkanik. Manifestasi panas bumi berupa mata air panas terdapat di beberapa lokasi di Kalimantan dan Sulawesi Tenggara. Seperti di Bombana, Sulawesi Tenggara, mata air panas berasosiasi dengan keterdapatan deposit emas primer dan emas sekunder.

Proses alterasi yang berlangsung sebagai hasil aktivitas aliran hidrotermal mengendapkan mineral di antaranya silika mengandung emas pada pori batuan, sebagai *replacement*, atau mengisi struktur rekahan dan patahan. Aliran hidrotermal sebagian sampai di permukaan tanah, menghasilkan manifestasi panas bumi. Sehingga dapat dijumpai juga endapan silika mengandung emas di permukaan tanah.

Terdapat kesamaan proses dan rentang waktu yang dibutuhkan untuk pembentukan panas bumi dan deposit emas ekonomis. Oleh karena itu keterdapatan beberapa prospek panas bumi dan emas dalam kawasan sama di beberapa lokasi di Indonesia kemungkinan merupakan indikasi bahwa keberadaan keduanya terbentuk dari hasil proses geologi yang saling terkait.

Penutup

Kekerabatan antara deposit emas dengan panas bumi tidak hanya dijumpai pada daerah lingkungan gunung api, akan tetapi juga di lingkungan bukan gunung api. Keterdapatan manifestasi panas bumi di beberapa lokasi di Indonesia dapat menjadi indikasi awal kemungkinan adanya mineralisasi emas.

Pembentukan deposit emas skala ekonomis memerlukan rentang waktu hanya puluhan ribu tahun, sehingga memungkinkan daerah panas bumi juga merupakan daerah potensi emas. Emas epitermal terbentuk pada lingkungan dangkal, yaitu sekitar 300 m di bawah permukaan tanah, sehingga meskipun stadium erosi belum lanjut, potensi emasnya prospektif untuk dimanfaatkan.

Kekerabatan emas dan panas bumi terjadi sebagai hasil aktivitas hidrotermal yang berlangsung berkelanjutan dalam kurun waktu lama, sehingga memungkinkan keduanya bisa sama-sama terbentuk dalam skala ekonomis. Kondisi geologi berpotensi terbentuknya kekerabatan antara potensi panas bumi dan emas tersebut, yaitu terutama pada lingkungan gunung api tua. Pengembangan potensi panas bumi dan potensi emas dapat saling mendukung. Keduanya mempunyai kelebihan, yaitu dapat menjadi penggerak dan modal pembangunan daerah terpencil. ■

Penulis adalah Kepala Bidang Program dan Kerjasama Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi.

Mitigasi Tsunami di Pulau Sumatra

Oleh: Hamzah Latief

Masih belum hilang dalam ingatan kita tragedi tsunami tujuh tahun lalu, yang meluluh-lantakkan pesisir Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam dan pesisir barat Sumatra Utara, 26 Desember 2004. Tsunami ini menjalar ke seluruh wilayah Samudera Hindia dan menelan korban lebih dari 250.000 jiwa, serta triliunan rupiah serta kerusakan lingkungan yang sangat dahsyat. Kedahsyatan tsunami masih diperlihatkan melalui kejadian tsunami Pangandaran 2006, tsunami Pagai pada 25 oktober 2010, serta tsunami Tohoku, Jepang, 11 Maret 2011 dengan menelan korban jiwa lebih dari 28.000 orang, dengan kerugian material lebih dari 2.500 triliun rupiah. Kejadian-kejadian di atas menegaskan begitu besar kerugian yang ditimbulkan oleh tsunami.

Kembali ke Indonesia, berdasarkan hasil penelitian sejarah tsunami di Indonesia antara tahun 1612 sampai dengan 2000 yang pernah dilakukan oleh Latief *et al.* (2000), kemudian dilengkapi dengan kejadian tsunami 10 tahun terakhir didapatkan bahwa, tidak kurang dari 118 kejadian tsunami pernah terjadi di perairan Indonesia, 90% tsunami dibangkitkan oleh aktivitas tektonik, sedangkan 9% akibat vulkanik dan 1% oleh tanah longsor. Berdasarkan dominasi pembangkitan tsunami oleh gempa bumi, maka dalam studi ini difokuskan pada tsunami yang dibangkitkan oleh gempa bumi, khususnya di Pulau Sumatra.

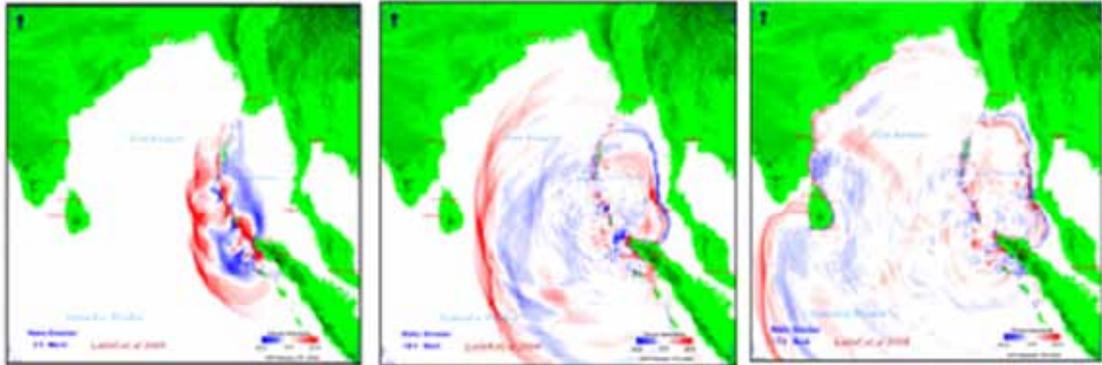
Sumber Pembangkit Tsunami

Timbulnya tsunami disebabkan oleh adanya deformasi dasar laut atau perubahan badan air yang terjadi secara tiba-tiba dan impulsif, yang disebabkan oleh gempa bumi, erupsi gunung api dan longsoran bawah laut, bahkan akibat terjangan benda-benda angkasa luar ke permukaan laut.

Tsunami yang dibangkitkan oleh gempa ini umumnya berasosiasi dengan patahan gempa yang bergerak vertikal (*dip-slip*), sehingga menyebabkan pergerakan dasar laut vertikal yang besar. Umumnya energi tsunami yang dihasilkan akan menjalar tegak lurus terhadap bidang patahan gempanya. Gempa pembangkit tsunami biasanya mempunyai kedalaman dari sumber patahan gempa kurang dari 60 km dan mempunyai magnitudo lebih besar dari 6,5.

Besarnya tsunami akibat gempa berkaitan erat dengan magnitudo gempa, dimensi dan mekanisme patahan gempa, serta lokasi dan kedalaman sumber gempa. Tsunami yang sangat besar dan memiliki dampak luas, biasanya berkaitan dengan panjang patahan dari beberapa ratus kilometer sampai lebih dari 1000 km seperti tsunami Aceh 2004, yang memiliki panjang patahan hingga sekitar 1200 km dengan lebar sekitar 200 km.

Tsunami bergerak keluar dari daerah pembangkitannya dengan kecepatan penjarannya



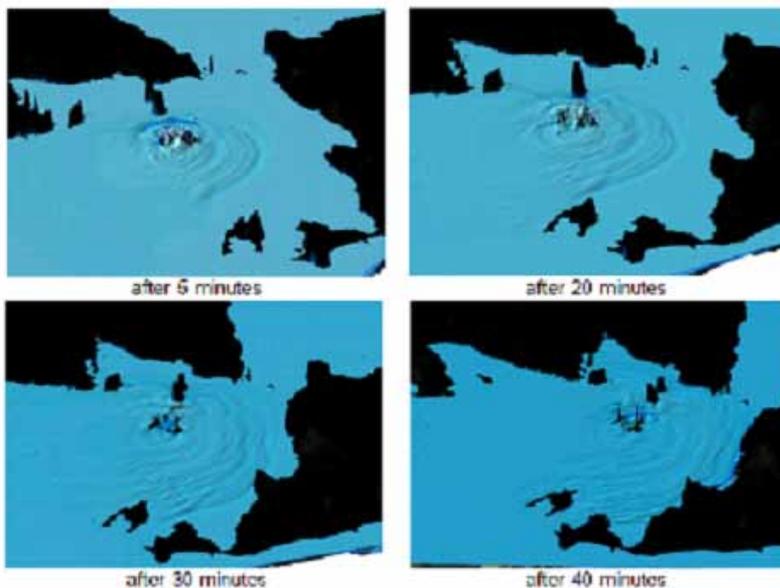
Simulasi komputer penjalaran tsunami Aceh 2004 (Latief, *et al.*, 2006).

bergantung pada kedalaman perairan. Di perairan dalam, tsunami mampu bergerak dengan kecepatan 500-1.000 km per jam. Sedangkan di perairan dangkal, kecepatannya melambat hingga beberapa puluh kilometer per jam. Dalam penjalarnya dan penyebaran gelombang ke seluruh arah, muka gelombang berubah dan energi gelombang bisa menjadi terfokus atau juga menyebar di suatu wilayah tertentu mengikuti kaidah penjalaran gelombang perairan dangkal seperti proses pendangkalan (*shoaling*), refraksi, difraksi dan refleksi.

Ketinggian tsunami juga bergantung pada kedalaman perairan, gelombang tsunami yang hanya memiliki ketinggian satu atau dua meter di perairan dalam, bisa meninggi hingga puluhan meter di wilayah pesisir.

Tsunami yang dibangkitkan oleh letusan gunung api, karena adanya aliran piroklastik ke badan air,

ledakan dasar laut dan runtuhnya kaldera. Proses lain yang teridentifikasi adalah longsoran batuan beku, limpasan basal, gelombang kejut, lahar panas yang mengenai air, gelombang udara yang terkait dengan ledakan besar, serta aliran lava. Efisiensi pembentukan tsunami bergantung pada jumlah air yang dipindahkan serta arah perpindahannya, luas kaldera, dan durasi gangguan. Saat gelombang besar telah dihasilkan pun, efisiensi dari energi ledakan dikonversi menjadi energi tsunami. Tsunami vulkanik biasanya dibangkitkan di daerah sumber yang sangat terbatas dan sangat kecil dibandingkan sumber tsunami oleh gempa. Karena sumbernya kecil, maka volume air yang dipindahkannya juga kecil, serta panjang gelombangnya umumnya lebih pendek dibandingkan dengan panjang gelombang tsunami yang dibangkitkan oleh gempa besar. Sebagai contoh model tsunami Krakatau 1883 dengan skenario runtuhnya kaldera yang dimodelkan oleh Latief dan Aditya (2003).



Model tsunami Krakatau 1883 (Latief and Gusman, 2003)

Tsunami yang dibangkitkan oleh pergerakan tanah (longsor), merupakan pergerakan massa (longsor) di darat yang menerpa badan air atau longsor bawah laut dapat membangkitkan tsunami, jika jumlah massa yang berpindah cukup besar dan cepat. Pergerakan massa ini dapat dipicu oleh gempa, badai atau gangguan alami lainnya seperti curah hujan. Sebagai contoh, longsor bawah laut yang dipicu oleh gempa yang terjadi di Riangkroko (gempa dan tsunami Flores, 1992) menimbulkan tinggi rayapan tsunami mencapai 18,4-26,2 m, padahal rata-rata tsunami berkisar 5-7 m. Sedangkan kejadian tsunami yang murni dibangkitkan oleh longsor adalah sangat sedikit, umumnya terjadi di perairan tertutup seperti teluk, sebagaimana kejadian tsunami Lomblen, Flores NTT pada 18 Juli 1979 dengan jumlah korban sebanyak 620 orang.

Penjalaran dan Fenomena Tsunami di Pantai

Dalam studi penjalaran tsunami perlu dikaji lokasi potensi sumber tsunaminya, meliputi tsunami dengan sumber jauh (*far-field tsunami*), yang posisi sumbernya melewati pinggiran paparan benua, tsunami regional (*regional tsunami*) dan tsunami lokal (*near field tsunami*) yang dibangkitkan di dalam paparan benua.

Tsunami bersumber jauh memiliki jarak lebih dari 1.000 km. Jenis tsunami ini jarang terjadi, namun bila terjadi akan menimbulkan dampak yang sangat berbahaya. Biasanya bermula sebagai tsunami lokal yang menyebabkan kehancuran besar di dekat sumbernya, lalu menjalar melintasi samudra dengan energi yang cukup besar sampai menimbulkan korban dan kehancuran di pantai-pantai yang letaknya lebih dari 1.000 km dari sumber. Contohnya tsunami Aceh 26 Desember 2004.

Tsunami regional adalah tsunami yang dapat menghancurkan suatu wilayah geografis tertentu, umumnya dalam radius 1.000 km dari sumbernya. Tsunami regional adakalanya berdampak sangat terbatas dan bersifat lokal pada wilayah di luarnya. Sebagian besar tsunami destruktif dapat digolongkan sebagai lokal atau regional, artinya dampak destruktifnya terbatas pada pantai-pantai dalam jarak 100 km dari sumbernya bagi yang bersifat lokal, dan berkisar 1.000 km bagi yang regional.

Tsunami lokal muncul dari sumber yang letaknya tidak jauh dan dampak merusaknya terbatas hanya pada pantai dalam radius 100 km dari sumber. Tsunami lokal biasanya timbul karena gempa bumi tetapi dapat pula disebabkan oleh tanah longsor atau aliran lahar vulkanik dari letusan gunung api.

Beberapa fenomena tsunami yang berasosiasi dengan pantai, seperti: *tsunami forerunners* berupa riak-riak gelombang hasil respon dari guncangan

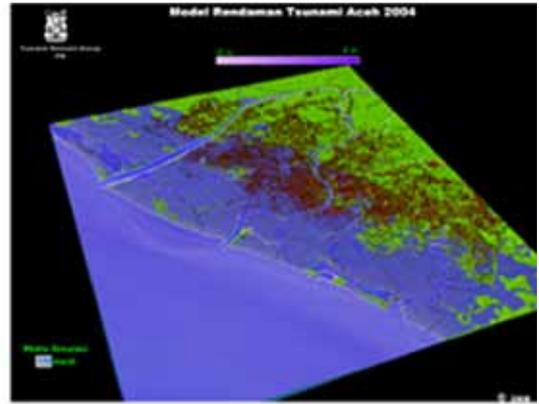
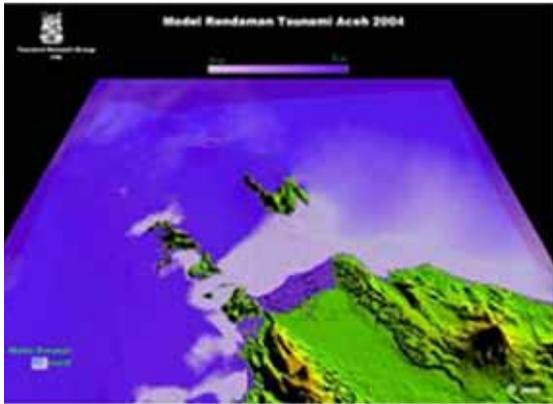
gempa bumi, diawali dengan penarikan muka air laut (*initial withdrawal of water*), tsunami yang bergerak seperti dinding air (*tsunami bore*) dan diikuti oleh undulasi kedua (*secondary undulation*) hasil dari superposisi atau refleksi gelombang. Fenomena ini biasanya terlihat dari hasil rekaman muka air dari stasiun pasang surut. Umumnya tsunami terbesar terjadi pada 10 gelombang pertama, sebagai contoh beberapa kejadian tsunami di Indonesia, seperti tsunami Banyuwangi 1994, tsunami Biak 1996, tsunami Aceh 2004, dan tsunami Pangandaran 2006. Gelombang terbesar terjadi pada gelombang ke-2. Tsunami utama (*main tsunami*) diikuti oleh gelombang-gelombang yang lebih kecil yang disebabkan efek resonansi oleh teluk serta menimbulkan pusaran-pusaran.



Pusaran air yang dihasilkan oleh interaksi gelombang tsunami ketika di pantai, Sri Lanka 26 Desember 2004. Foto milik Digital Globe (UNESCO, 2007).

Rendaman Gelombang dan Potensi Kerusakan

Tsunami yang berinteraksi dengan pantai menghasilkan bahaya serta kerusakan tergantung dari kondisi morfologi pantai yang didatangnya. Bahaya tsunami dievaluasi berdasarkan tinggi rayapan dan rendaman tsunami yang dihitung dari suatu titik acuan, biasanya tinggi muka laut ketika tsunami datang. Tsunami yang melintasi paparan benua yang cukup lebar, terurai kedalam deretan gelombang *soliter*. Pada saat mencapai pantai, gelombang *soliter* ini dapat berupa gelombang pecah atau gelombang tidak pecah. Gelombang tidak pecah mencapai ketinggian rayapan (*run-up*) maksimum di pantai alami mendekati ketinggian yang sama dengan amplitudo gelombang maksimum, ketika gelombang pertama kali mendekati daratan. Pada kemiringan pantai yang lebih terjal, rayapan tsunami menjadi lebih tinggi. Elevasi maksimum rayapan bergantung pada *level* muka laut (pasut), saat tsunami mencapai



Pemodelan rendaman tsunami Aceh 2004 di Banda Aceh (Latief, *dkk*, 2008)

pantai. Artinya tsunami kecil yang terjadi pada saat pasang tinggi dapat menjangkau elevasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tsunami yang lebih besar, yang tiba pada saat surut terendah, sehingga kondisi pasut sangat penting untuk dikaji dan dipertimbangkan dalam menganalisis tinggi jangkauan rayapan tsunami di suatu daerah.

Dalam beberapa kasus, tsunami hanya menghasilkan banjir yang tidak berbahaya pada wilayah pantai yang rendah dan landai, kemudian menuju ke daratan seperti air pasang yang cepat. Sementara dalam kasus lainnya, tsunami dapat masuk ke daratan menyerupai sebuah dinding air vertikal yang bergolak dan membawa puing-puing yang dapat membunuh dan menghancurkan bangunan atau lahan yang dilaluinya. Kerusakan dan kehancuran akibat tsunami merupakan hasil langsung dari tiga faktor, yaitu: banjir, dampak gelombang terhadap struktur, dan erosi. Sementara korban jiwa muncul karena tenggelamnya banyak orang. Bagi yang selamat, di samping luka-luka, dampak mental berupa trauma disebabkan terkejutnya korban dalam golongan tsunami.

Arus kuat tsunami menyebabkan terjadinya erosi pada fondasi dan rubuhnya jembatan, tembok

laut, menyeret rumah dan membalikkan kendaraan. Tekanan gelombang tsunami juga dapat merubuhkan kerangka bangunan dan struktur lainnya. Sementara, kerusakan yang parah juga disebabkan oleh gaya tekan puing-puing yang mengapung termasuk kapal, mobil dan pepohonan yang dapat menjadi benda-benda berbahaya ketika menghantam gedung, dermaga dan kendaraan, bahkan oleh tsunami kecil sekalipun.

Selanjutnya bahaya ikutan yang mungkin timbul adalah kebakaran, biasanya api berasal dari tumpahan minyak dari kapal yang hancur di pelabuhan, pecahnya tempat penyimpanan minyak, atau fasilitas kilang minyak di pantai dapat menyebabkan kerusakan, yang terkadang lebih parah dari dampak langsung tsunami. Kerusakan lain yang biasanya menyusul, bisa disebabkan oleh pencemaran kotoran dan bahan kimia. Kekhawatiran lain yang juga mulai menjadi perhatian dari dampak potensial dari surutnya tsunami adalah ketika air surut akan mempengaruhi suplai air pendingin pada pembangkit listrik.

Metoda Kajian Risiko Bencana Tsunami

Tujuan dari kajian risiko ini adalah untuk mendapatkan perkiraan mengenai kemungkinan kerugian

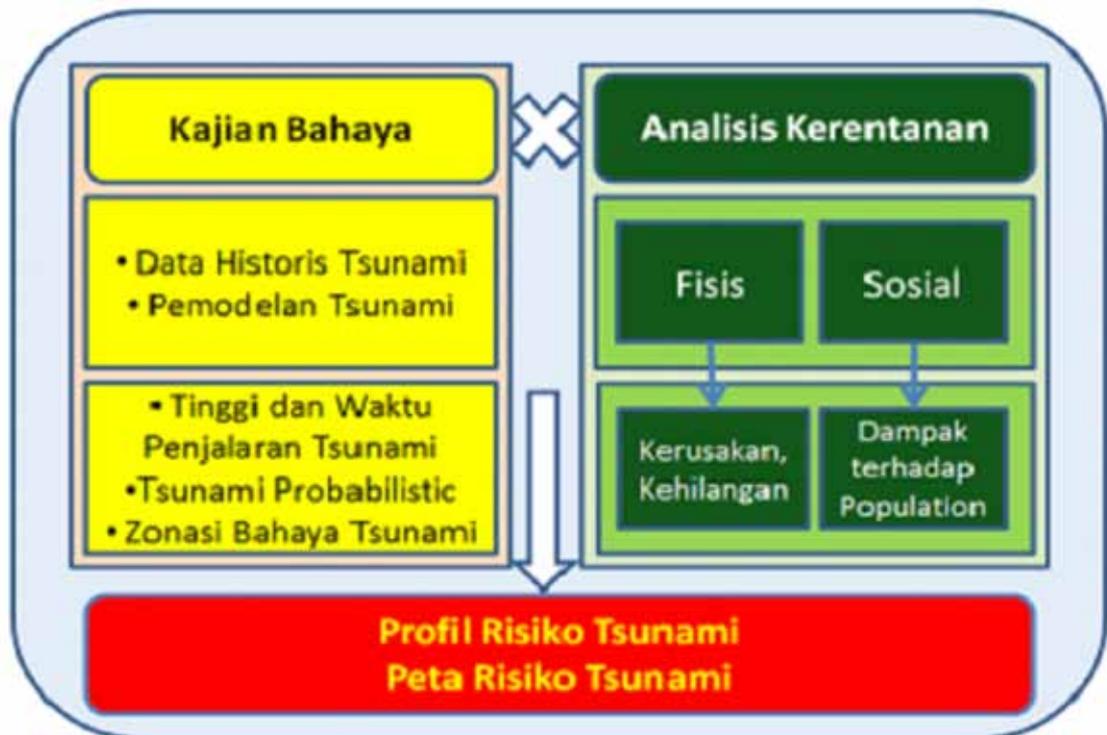


Kerusakan yang ditimbulkan oleh tsunami di kota Banda Aceh

yang diakibatkan oleh bahaya yang terjadi pada suatu wilayah. Kajian risiko menghasilkan gambaran risiko bencana tsunami yang didapatkan dari penggabungan kajian bahaya (*hazards*) dan kajian kerentanan (*vulnerability*), yang dirumuskan sebagai Risiko Bencana = Bahaya X Kerentanan.

Dalam membuat analisis risiko tsunami diperlukan beberapa tahapan kerja. Pada prinsipnya nilai risiko bencana ditentukan dari data besarnya bahaya tsunami dan tingkat kerentanan yang diturunkan dari

Kajian kerentanan adalah kegiatan untuk mengumpulkan data-data elemen kerentanan dari lingkungan hidup, dan memformulasikan serta mengklasifikasikan tingkat kerentanannya dengan suatu metoda dan aturan tertentu, sehingga informasi tingkat kerentanan tersebut dapat dimengerti dengan mudah untuk diaplikasikan dalam analisis risiko bencana. Dalam hal ini kerentanan didefinisikan sebagai tingkat ketahanan dari berbagai faktor lingkungan hidup (fisik, demografi, penggunaan



Kerangka kerja model risiko (Latief *et al.*, 2009)

kerentanan fisis (topografi dan penggunaan lahan), kerentanan demografi serta kerentanan infrastruktur yang digabungkan dengan bobot tertentu untuk mendapatkan agregat kerentanan atau kerentanan total.

Kegiatan analisis bahaya tsunami ini dapat dikategorikan menjadi tiga aspek, yaitu: Pertama identifikasi dan evaluasi sumber bencana tsunami: lokasi geografis dan geologis. Kedua, penentuan parameter-parameter dari karakteristik sumber: termasuk dimensi dan lokasi geografis/magnitudo dan intensitas bahaya tsunami, periode waktu perulangan atau frekuensi kejadian, waktu terakhir terjadi bencana atau tingkat kemungkinan terjadinya kejadian bencana di masa datang. Ketiga, penghitungan tingkat efek merusak terhadap lingkungan hidup di sekitarnya dari suatu skenario tertentu dan dilakukan dengan metoda dan asumsi-asumsi tertentu.

lahan, perumahan, infrastruktur, sosial, dan ekonomi) terhadap efek dari suatu bahaya tsunami dengan intensitas tertentu untuk lokasi tertentu.

Usaha pengumpulan data yang diperlukan dan penguangannya dalam format yang siap pakai untuk analisis selanjutnya. Setelah semua data yang diperlukan terkumpul, maka kegiatan selanjutnya adalah memilah-milah dan membuat klasifikasi dari kondisi tingkat kerentanan secara sistematis dan terukur dan dapat dipertanggung-jawabkan secara ilmiah, logis, dan konsisten. Karena biasanya klasifikasi dan satuan tingkat kerentanan ini sifatnya bukan besaran yang mutlak, tetapi besaran yang didefinisikan dengan acuan dan asumsi tertentu. Karena itu, penentuan klasifikasi dan satuan tingkat kerentanan ini harus ditentukan dan diseragamkan.

Pemilihan faktor-faktor kerentanan bisa berbeda untuk setiap bahaya. Selanjutnya, kerentanan bersifat

dinamis dan selalu berubah bersamaan dengan waktu dan sejalan dengan perubahan pada populasi manusia dan lingkungan hidupnya. Oleh karena itu data kerentanan ini harus selalu di perbaharui secara berkala.

Analisis risiko bencana tsunami dapat dilakukan apabila sudah tersedia data bahaya tsunami serta data kerentanannya. Dengan kata lain, *input* untuk analisis risiko bencana adalah *output* dari analisis penggabungan bahaya tsunami dan tingkat kerentanan. Makin baik input datanya akan semakin baik pula hasil analisisnya. Sebaliknya, apabila input datanya kurang baik kualitasnya maka hasilnya pun tidak akan baik, meskipun metoda analisis yang digunakannya sangat baik.

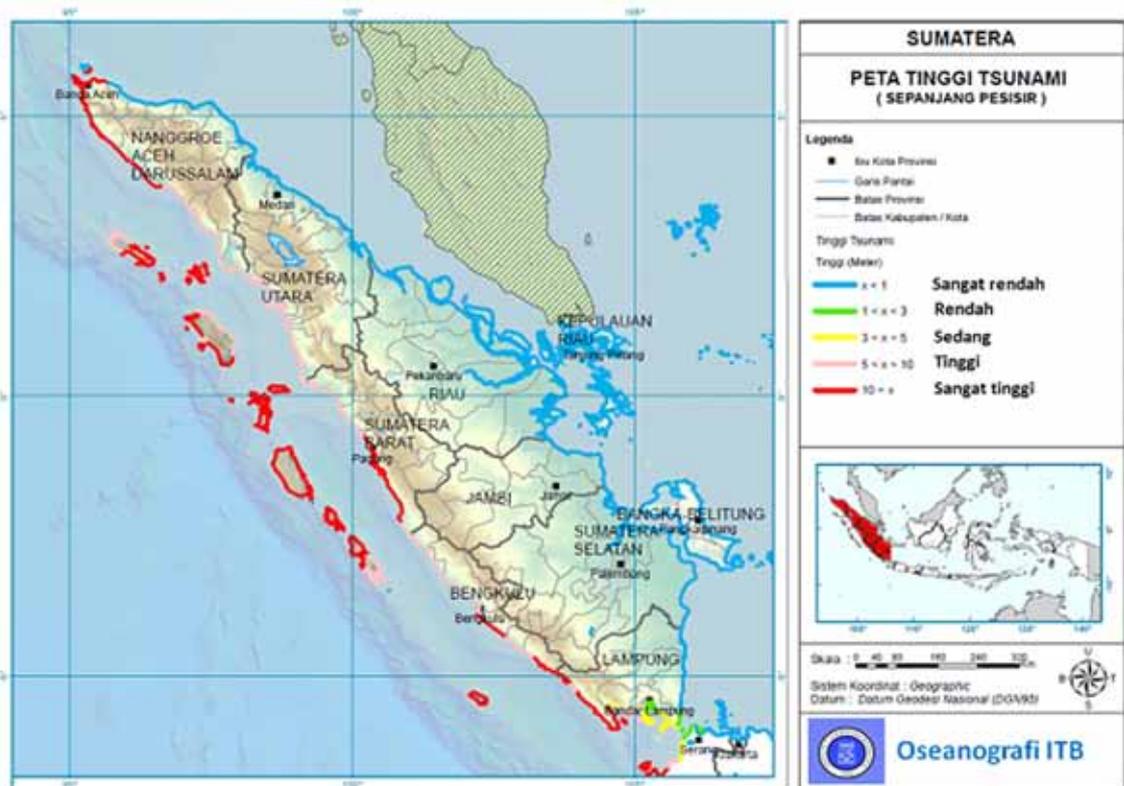
Kunci utama dari analisis risiko bencana adalah membuat suatu metoda yang memuat tatacara sistematis, logis, terukur dan konsisten dalam memberikan penilaian tingkat risiko berdasarkan penggabungan data tingkat bahaya tsunami dan tingkat kerentanan. Elemen dasar dalam hal ini adalah penentuan nilai tingkat risiko tertentu berdasarkan nilai kerentanan tertentu terhadap intensitas bahaya tsunami tertentu pula. Selanjutnya hasil kajian risiko memuat tingkat risiko dan perioda keberulangnya. Dari hasil analisis ini, maka ditentukan kebijakan mitigasi yang harus dilakukan.

Kajian Bahaya Tsunami di Sumatra

Sumatra mempunyai dua zona gempa utama, yaitu zona gempa di bawah wilayah perairan barat Sumatra dan zona gempa di wilayah daratan Sumatra (Natawidjaya, 2011, dalam Geomagz edisi ini). Untuk kajian tsunami difokuskan pada zona gempa di bawah wilayah perairan Sumatra, yaitu gempa-gempa yang terjadi pada *zona subduksi*, yaitu batas pertemuan lempeng lautan Hindia-Australia yang menunjam dengan kecepatan sekitar 50-60 mm/tahun di sepanjang palung laut di barat Sumatra.

Sumber gempa besar di Sumatra adalah pada zona *megathrust* dan jalur Patahan Sumatra. *Megathrust* adalah patahan bidang kontak zona subduksi sampai kedalaman ~50 km. Patahan Sumatra adalah patahan geser besar yang berada pada punggung Pulau Sumatra. Catatan sejarah gempa yang berpotensi menimbulkan tsunami telah dijelaskan secara lengkap oleh Natawidjaya dalam tulisannya pada edisi ini.

Bahaya tsunami dalam hal ini diwakili oleh tinggi tsunami di pantai yang didapatkan dari hasil *practical tsunami database* (Latief dan Sunendar, 2006). Untuk kerentanan menggunakan agregat kerentanan (kerentanan total) yang berpotensi terkena tsunami meskipun kecil, yang selanjutnya dianggap sebagai *proxy*. Dari hasil analisis bahaya



Peta Tinggi Tsunami di Sepanjang Pesisir Sumatra

untuk setiap kabupaten dan kota pesisir di Sumatera yang akan dikaji tingkat bahayanya.

Dalam menentukan tingkat risiko terhadap tsunami, maka klasifikasi yang ada dalam skala intensitas tsunami yang diberikan oleh Papadopoulos dan Imamura (2001) seperti terlihat pada Tabel 1. Skala Intensitas Tsunami disusun berdasarkan: Efek tsunami terhadap manusia, Efek tsunami terhadap obyek di pantai, misalkan perahu atau kapal serta Kerusakan pada bangunan. Secara umum, skala ini disusun berdasarkan tinggi tsunami itu sendiri, serta kerusakan yang ditimbulkannya

Selanjutnya tinggi gelombang yang didapatkan dari *precalculated database* dilakukan klasifikasi tingkat bahaya tsunami dalam lima katagori, yaitu: *sangat rendah, rendah, sedang, tinggi* dan *sangat tinggi* (Latief dan Sunendar, 2009). Berdasarkan

kategori ini maka dilakukan kajian tingkat bahaya tsunami untuk setiap kabupaten dan kota di Pulau Sumatra. Kemudian tingkat bahaya tsunami untuk masing-masing kabupaten dan kota ditabulasikan pada Tabel 2.

Dari hasil kajian tingkat bahaya tsunami di Pulau Sumatra yang disajikan pada Tabel 2, terdapat 31 kabupaten dan kota yang memiliki tingkat bahaya yang tinggi dan sangat tinggi.

Kajian Kerentanan

Tujuan kajian kerentanan adalah untuk mengidentifikasi gambaran elemen kerentanan yang mudah terkena kerusakan, seperti kerentanan fisis (topografi), infrastruktur, penggunaan lahan, dan elemen kerentanan sosial (profil demografi) dari suatu wilayah yang berpotensi mengalami kerusakan dan

Tabel 1. Skala Intensitas Tsunami dan Tingkat Bahaya

SKALA	INDIKASI	KETERANGAN	TINGKAT BAHAYA
I	<i>NOT FELT</i>		<i>Sangat Rendah</i>
II	<i>Scarcely felt</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Tsunami dirasakan oleh sedikit orang di perahu kecil, dan tidak teramati di pantai. ♦ Tidak terasa pengaruhnya. ♦ Tidak merusak. 	
III	<i>WEAK</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Tsunami dirasakan oleh sedikit orang di perahu kecil dan teramati oleh beberapa orang di pantai ♦ Tidak terasa pengaruhnya. ♦ Tidak menimbulkan kerusakan. 	
IV	<i>Largely observed</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Tsunami dirasakan oleh semua perahu kecil dan terasa oleh beberapa orang di kapal besar. ♦ Beberapa kapal kecil terbawa ke arah pantai ♦ Tidak terjadi kerusakan. 	
V	<i>Strong (wave height 1 m)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Tsunami terasa oleh semua kapal besar dan terlihat di pantai. Beberapa orang menyelamatkan diri ke tempat yang lebih tinggi. ♦ Banyak perahu kecil yang bertubrukan dan kandas di pantai, terlihat jejak lapisan pasir di tanah dan terlihat genangan kecil. ♦ Terlihat banjir di fasilitas terbuka seperti kebun/ taman, di struktur dekat pantai. 	<i>Rendah</i>
VI	<i>Slightly damaging (2 m)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Banyak orang ketakutan dan lari ke tempat yang lebih tinggi. ♦ Banyak perahu kecil yang kandas di pantai dan bertabrakan di antaranya. ♦ Kerusakan dan banjir di beberapa struktur kayu. 	
VII	<i>Damaging (4 m)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Banyak orang ketakutan dan lari ke tempat yang lebih tinggi. ♦ Banyak perahu kecil rusak. Beberapa kapal besar hanyut, obyek dengan berbagai ukuran hanyut. Lapisan pasir dan dan akumulasi kerikil tebawa ke darat. Beberapa karamba budidaya/ aquakultur hanyut terbawa ombak. ♦ Banyak bangunan kayu rusak, beberapa di antaranya hancur atau tersapu. Kerusakan pada tingkat 1 dan banjir pada sebagian gedung. 	<i>Sedang</i>

VIII	<i>Heavily damaging (6 m)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Semua orang menyelamatkan diri ke tempat yang lebih tinggi, beberapa di antaranya hanyut terbawa gelombang. ◆ Sebagian besar kapal kecil rusak dan yang lainnya hanyut tersapu gelombang. Beberapa kapal besar terdampar di darat dan rusak. Benda-benda berukuran besar terbawa sampai ke darat. Erosi terjadi sepanjang pantai. Terjadi genangan dalam skala luas. Kerusakan pada hutan pantai, karamba apung untuk akuakultur hanyut dan sebagian rusak. ◆ Sebagian besar bangunan kayu tersapu atau rusak. Kerusakan pada beberapa gedung tingkat dua. Sebagian beton bertulang rusak pada tingkat 1 dan terlihat adanya genangan. 	Tinggi
IX	<i>Destructive (8 m)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Banyak orang tersapu gelombang. ◆ Sebagian besar perahu kecil hancur atau tersapu gelombang. Sebagian besar kapal besar kandas dan beberapa di antaranya hancur. Terjadi erosi di pantai dalam skala yang lebih luas. Terlihat penurunan tanah secara lokal. Kehancuran pada sebagian hutan pantai. Sebagian besar karamba akuakultur tersapu, sebagian besar rusak. ◆ Kerusakan tingkat 3 pada gedung, beberapa bangunan beton bertulang rusak pada level 2. 	
X	<i>Very destructive (10m)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Terjadi kepanikan pada massa, sebagian besar orang tersapu gelombang. ◆ Sebagian besar kapal besar terbawa ke pantai, sebagian besar hancur dan menghantam gedung. Bongkahan kecil dari dasar laut terbawa gelombang ke darat. Mobil hanyut oleh gelombang. Terjadi tumpahan minyak, kebakaran mulai terjadi. Penurunan muka tanah terjadi dalam skala yang lebih luas. ◆ Kerusakan level 4 pada banyak gedung, sebagian kecil beton bertulang mengalami kerusakan pada level 3. <i>Breakwater</i> mengalami kerusakan. 	Sangat Tinggi
XI	<i>Devastating (16 m)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Kerusakan pada <i>lifelines</i>. Kebakaran meluas. Arus balik (<i>backwash</i>) membawa mobil dan obyek lain ke laut. Bongkahan besar dari dasar laut terbawa ke darat. ◆ Kerusakan level 5 pada gedung. Sebagian kecil beton bertulang mengalami kerusakan level 4 dan sebagian besar mengalami kerusakan level 3. 	
XII	<i>Completely devastating (32 m)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Semua gedung praktis hancur dan sebagian besar gedung beton bertulang mengalami kerusakan paling tidak level 3. 	

kematian manusia bila terjadi suatu bencana. Kajian kerentanan dilakukan dengan menormalisasi setiap elemen kerentanan dalam suatu tingkat kerentanan, secara kualitatif dari masing-masing elemen kerentanan diklasifikasikan dengan 5 tingkatan, yaitu: sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Selanjutnya setiap elemen kerentanan dibobot menurut tingkat kepekaan terhadap bahaya tsunami, dalam rangka untuk mendapatkan agregat dari seluruh elemen kerentanan yang dipertimbangkan.

Elemen-elemen kerentanan yang dianalisis dalam studi ini adalah:

a Peta Kerentanan Topografi diturunkan dari Data *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) berupa

data digital yang digunakan untuk menggambarkan tinggi permukaan bumi atau topografi.

b Peta Kerentanan Penggunaan Lahan diturunkan dari Peta Penggunaan Lahan.

c Peta Kerentanan Penduduk diturunkan dari data Podes, 2008, Kepadatan penduduk adalah jumlah penduduk dibagi luas wilayah.

d Peta Kerentanan Infrastruktur diturunkan dari data jaringan jalan/transportasi tahun 2008 yang digunakan sebagai *proxy* untuk merepresentasikan infrastruktur yang ada di Pulau Sumatra.

Kerentanan total atau agregat kerentanan didapatkan dari penggabungan seluruh elemen-

Tabel 2. Tingkat Bahaya Tsunami Untuk Setiap Kabupaten/Kota di pesisir Sumatra

No.	Nama Kabupaten	Provinsi	Tsunami		Tingkat Bahaya
			Tinggi	Waktu Tiba	
1	Simeulue	NAD	14	15	Sangat tinggi
2	Aceh Singkil	NAD	12	30	Sangat tinggi
3	Aceh Selatan	NAD	8	30	Tinggi
4	Aceh Timur	NAD	11	60	Sangat rendah
5	Aceh Barat	NAD	11	20	Sangat tinggi
6	Aceh Besar	NAD	15	20	Sangat tinggi
7	Pidie	NAD	5	40	Sedang
8	Bireun	NAD	2	45	Rendah
9	Aceh Utara	NAD	2	50	Rendah
10	Aceh Barat Daya	NAD	8	30	Tinggi
11	Aceh Tamiang	NAD	1	90	Sangat rendah
12	Nagan Raya	NAD	10	15	Sangat tinggi
13	Aceh Jaya	NAD	11	15	Sangat tinggi
14	Pidie Jaya	NAD	3	40	Rendah
15	Kota Banda Aceh	NAD	12	15	Sangat tinggi
16	Kota Sabang	NAD	11	15	Sangat tinggi
17	Kota Langsa	NAD	1	90	Sangat rendah
18	Kota Lhokseumawe	NAD	2	15	Rendah
19	Kota Subulussalam	NAD	9	40	Tinggi
20	Nias	SUMUT	14	10	Sangat tinggi
21	Mandailing Natal	SUMUT	10	40	Sangat tinggi
22	Tapanuli Selatan	SUMUT	9	40	Tinggi
23	Tapanuli Tengah	SUMUT	9	40	Tinggi
24	Nias Selatan	SUMUT	15	5	Sangat tinggi
25	Kota Sibolga	SUMUT	10	40	Tinggi
26	Kep. Mentawai	Sumbar	14	5	Sangat tinggi
27	Pesisir Selatan	Sumbar	11	5	Sangat tinggi
28	Padang Pariaman	Sumbar	11	35	Sangat tinggi
29	Agam	Sumbar	10	35	Sangat tinggi
30	Pasaman Barat	Sumbar	10	35	Sangat tinggi
31	Kota Padang	Sumbar	10	35	Sangat tinggi
32	Kota Pariaman	Sumbar	10	35	Sangat tinggi
33	Bengkulu Selatan	Bengkulu	11	25	Sangat tinggi
34	Bengkulu Utara	Bengkulu	11	25	Sangat tinggi
35	Kaur	Bengkulu	11	25	Sangat tinggi
36	Seluma	Bengkulu	10	25	Sangat tinggi
37	Mukomuko	Bengkulu	10	25	Sangat tinggi

38	Kota Bengkulu	Bengkulu	8	25	Sangat tinggi
39	Lampung Barat	LAMPUNG	13	25	Sangat tinggi
40	Tanggamus	LAMPUNG	6	40	Tinggi
41	Lampung Selatan	LAMPUNG	4	70	Sedang
42	Lampung Timur	LAMPUNG	1	120	Sangat rendah
43	Kota Bandar Lampung	LAMPUNG	3	60	Rendah

elemen kerentanan dengan sistem pembobotan dengan mempertimbangkan kepekaan masing-masing elemen terhadap potensi kerusakan yang ditimbulkan oleh tsunami.

Sebagai catatan bahwa pola penggunaan lahan dan infrastruktur merupakan refleksi dari *trend* perubahan demografi dan permukiman. Sebagai contoh, kurangnya pengawasan kelembagaan berkontribusi, atau bahkan menciptakan, kondisi yang tidak aman dengan membiarkan praktek-praktek perambahan ke wilayah pesisir, mengakupasi lahan basah dan merusak vegetasi pantai, termasuk *sand dune* dan hutan bakau. Praktek-praktek di atas lebih lanjut dapat memperburuk dampak bahaya tsunami dan pada gilirannya, menyebabkan peningkatan intensitas dan kerugian yang ditimbulkan oleh bencana tsunami.

Kajian Risiko Tsunami

Kajian risiko memberikan dasar dalam pengambilan keputusan untuk menerima seberapa besar risiko yang mampu dihadapi atau ditanggung serta mendesain rencana dan upaya bagaimana memitigasinya. Risiko dihitung dengan menghubungkan informasi yang berasal dari Kajian Bahaya dan Kajian Kerentanan. Karakteristik risiko disajikan dalam bentuk probabilitas kejadian, tingkat risiko dan potensi kerugian, baik secara kuantitatif atau kualitatif.

Penilaian tingkat risiko tsunami diperkirakan sesuai dengan tingkat bahaya dan kerentanan dengan cara menumpangtindihkan (*overlay*) antara peta tingkat bahaya tsunami dengan peta agregat kerentanan mengikuti kaidah yang diberikan pada. Mengingat penyajian skala peta yang sangat besar maka disajikan peta dalam unit provinsi (5 provinsi). Untuk mendapatkan peta rendaman yang lebih detail perlu dilakukan simulasi khusus dengan satuan wilayah desa atau kecamatan.

Arahan Mitigasi Tsunami

Pada dasarnya mitigasi terhadap tsunami adalah sejumlah strategi dan kegiatan yang dilakukan sebagai reaksi atau sebagai antisipasi berupa penyesuaian dalam sistem-sistem ekologi, ekonomi, dan sosial, agar dapat mempertahankan atau bahkan dapat

meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Mitigasi terhadap tsunami meliputi dua kegiatan pokok, yaitu: meningkatkan kapasitas mitigasi bagi Pemerintah dan masyarakat di pesisir, serta menerapkan keputusan mitigasi, yaitu mengubah kapasitas mitigasi tersebut menjadi sejumlah aksi.

Langkah mitigasi ini secara umum diartikan bahwa segala upaya yang dilakukan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh bahaya tsunami, baik sebelum, saat atau setelah terjadinya suatu bencana yang ditimbulkannya. Secara sederhana, bencana akan timbul bila adanya pertemuan antara bahaya dengan kerentanan. Untuk menghindari terjadinya bencana besar, maka perlu upaya untuk tidak mempertemukan kedua unsur tersebut dengan cara: 1. Menjauhkan kerentanan terhadap bahaya, sehingga tidak bertemu, misalnya menarik mundur penduduk ketempat yang aman dari bahaya tsunami, 2. Mereduksi bahaya tsunami sampai sekecil mungkin, sehingga bahaya tidak menerjang suatu kerentanan, misalnya menanam vegetasi pantai. 3. Mereduksi bahaya serta menaikkan kapasitas dari suatu kerentanan dengan cara adaptif atau akomodatif dengan menggunakan analisis dan manajemen risiko bencana tsunami.

Penerapan manajemen risiko ini perlu dilakukan secara sistematis melalui kebijakan administratif (Undang-Undang, Perda dan rencana tata ruang), organisasi, peningkatan kemampuan operasional, pemilihan strategi dan implementasi serta peningkatan kemampuan masyarakat dalam menghadapi bahaya, sehingga dapat mengurangi dampak yang ditimbulkannya. Manajemen risiko ini mengkaji seluruh pilihan strategi dan implementasi, baik dalam penanganan struktural maupun non struktural untuk menghindarkan (*preventive*) atau untuk mengurangi efek yang ditimbulkan oleh bahaya tsunami secara mitigasi, *preparedness* dan peningkatan *resilience*.

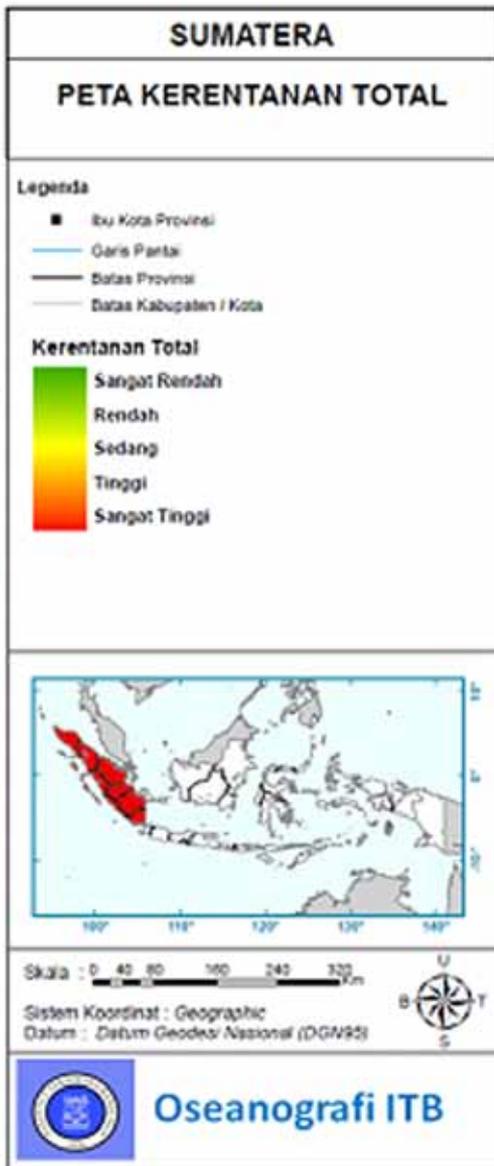
Penanganan struktural terhadap tsunami meliputi sistem perlindungan pantai dengan membangun tembok penahan ombak berupa *breakwater*, *seawall*, dan pintu air yang dikenal sebagai *hard protection*, dan perlindungan dengan menggunakan vegetasi



pantai (mangrove), *sand dune* dan terumbu karang atau dikenal sebagai *soft protection*. Sedangkan penanganan non-struktural meliputi: pembuatan undang-undang dan peraturan pemerintah, peraturan daerah, penegakan hukum, pembentukan organisasi pemerintah dan non pemerintah yang terkait dengan penanganan bencana, penyediaan konsep penataan ruang yang akrab bencana, penyediaan basis data dan sistem informasi bahaya dan peringatan dini, penyediaan peta bahaya dan risiko tsunami, serta pembuatan peta jalur evakuasi dan *shelter* (tempat aman), pendidikan masyarakat, serta peningkatan fasilitas-fasilitas penyangga hidup (*life line*).

Secara konseptual, Diposaptono, *et al.*, (2009) memberikan 7 langkah yang bersifat siklus dalam melakukan mitigasi tsunami, yaitu: Melibatkan pemangku kepentingan yang terkait, Menentukan permasalahan, Mengkaji kapasitas mitigasi yang tersedia dan yang diperlukan, Mengidentifikasi pilihan-pilihan mitigasi, Mengevaluasi pilihan-pilihan mitigasi tersebut dan memilih aksi, Melaksanakan implementasi aksi mitigasi, dan Memonitor dan mengevaluasi implementasi mitigasi.

Adapun arahan-arahan strategi mitigasi tsunami pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi: Mitigasi fisik wilayah pesisir berupa: (a) Pengelolaan fisik wilayah pesisir secara terpadu dan (b) Rekayasa



Peta Agregat Kerentanan (Kerentanan total)

fisik berwawasan lingkungan), Pengelolaan sosial kependudukan, Pengelolaan infrastruktur dan fasilitas, Pengelolaan potensi sumber daya kelautan, dan perikanan, Pengelolaan ekosistem wilayah pesisir dan laut secara terpadu, Penyusunan regulasi dan kebijakan mitigasi tsunami, dan Inventarisasi data dan riset serta pengembangan sumberdaya manusia.

Untuk menuangkan arahan-rahan itu, perlu dilakukan penyusunan kegiatan-kegiatan meliputi tiga tahapan yaitu: Perumusan arahan-arahan untuk penentuan strategi mitigasi sesuai dengan kriteria-kriteria tertentu. Penetapan kegiatan dan sub-kegiatan prioritas mitigasi beserta tahapan-tahapan dan anggaran indikatif yang diperlukan. Penajaman

		HAZARD				
		Very Low	Low	Moderate	High	Very High
VULNERABILITY	Very Low	VL	VL	L	L	M
	Low	VL	L	L	M	H
	Moderate	L	L	M	H	H
	High	L	M	H	H	VH
	Very High	M	H	H	VH	VH

Tingkat risiko yang didapatkan dari hubungan antara bahaya dengan kerentanan

kegiatan dengan memilih kegiatan-kegiatan prioritas sebagai kegiatan-kegiatan unggulan.

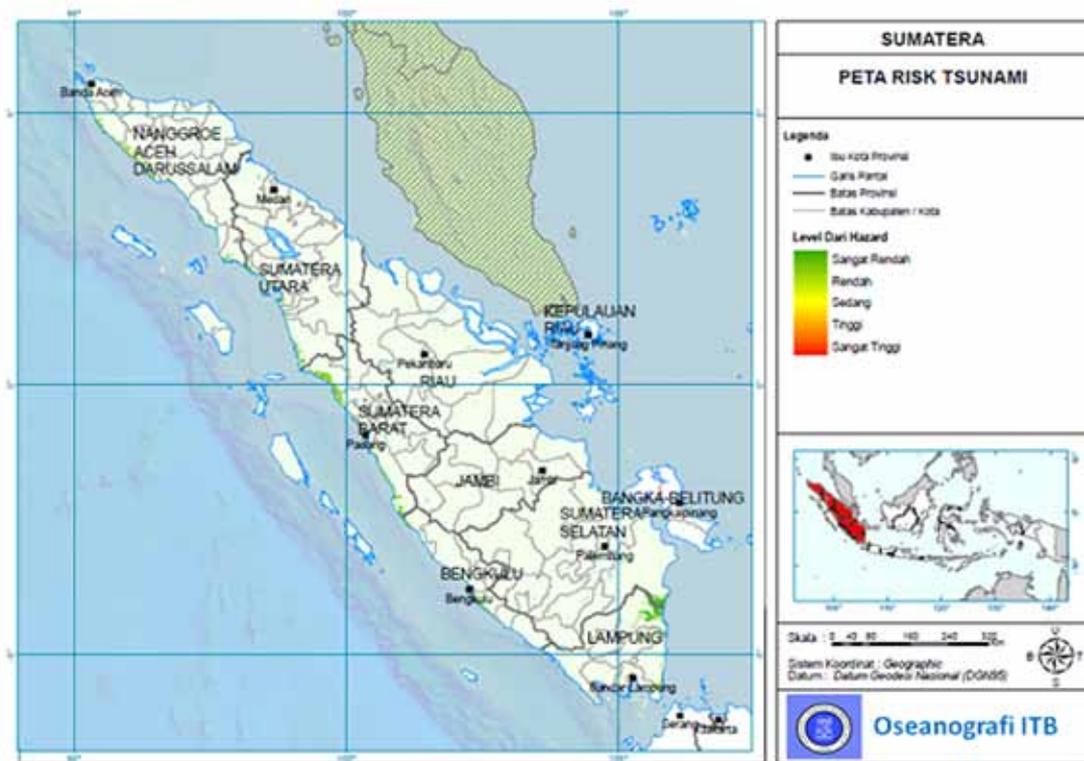
Berbagai alternatif strategi mitigasi terhadap bahaya tsunami perlu disusun berdasarkan informasi berbagai bahaya, kerentanan dan potensi dampak dan risiko. Langkah berikutnya adalah memilih alternatif strategi menjadi dan menyusunnya menjadi sejumlah strategi dan kegiatan yang direkomendasikan. Pemilihan alternatif strategi tersebut mempertimbangkan dua arah sekaligus, yaitu tidak hanya untuk mengantisipasi potensi dampak dan risiko akibat tsunami, namun juga untuk mendukung dan menjamin keberlangsungan strategi pembangunan wilayah pesisir.

Pada implementasinya, strategi mitigasi terhadap tsunami meliputi beberapa aspek misalnya fisik kewilayahan (baik melalui rekayasa maupun penataan ruang dan zonasi), infrastruktur, fasilitas umum, sosial budaya, potensi sumberdaya, ekosistem, sumberdaya manusia, data dan informasi, hukum dan kebijakan publik, serta pertahanan dan keamanan.

Rekomendasi

Dalam rangka melengkapi arahan mitigasi tersebut di atas, maka usaha dan upaya yang perlu dilakukan dalam memitigasi tsunami adalah:

- Kajian hazard tsunami secara seksama dengan data batimetri dan topografi yang lebih detail dan akurat.

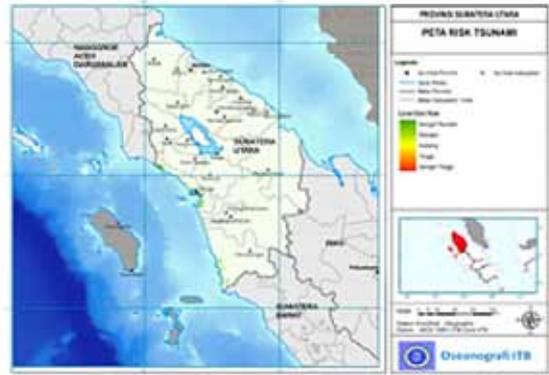


Peta Tingkat Risiko Tsunami di Pulau Sumatra

- ♦ Melakukan kajian kerentanan dan eksposer terhadap bahaya tsunami dengan unit satuan wilayah lebih kecil dan detail.
- ♦ Kajian risiko bencana tsunami secara detail untuk merumuskan langkah-langkah pengurangan risiko bencana tsunami yang diperlukan.
- ♦ Menyusun Rencana Induk Manajemen Pengurangan Risiko Bencana Tsunami (*TDRMP: Tsunami Disaster Risk Reduction Manajemen Plan*).
- ♦ Pembangunan *Tsunami Early Warning System* dan evaluasi efektifitas *TEWS*.
- ♦ Melakukan kajiulung terhadap tata ruang sehingga akrab bahaya tsunami.
- ♦ Menyusun kebijakan-kebijakan dan rencana tindak untuk pengurangan risiko bencana tsunami seperti pembuatan *green belt*, *sea wall*, jalur evakuasi, tsunami *sign board* dan bangunan *shelter* (termasuk *vertical escape*).
- ♦ Melakukan diseminasi, sosialisasi, *training of trainer*, dan *tsunami drill* secara intensif.
- ♦ Menyusun dan melaksanakan program-program sosialisasi dan edukasi publik tentang bencana tsunami.
- ♦ Memperkuat latihan tanggap darurat dengan mengacu kepada hasil kajian risiko bencana tsunami.



Peta Risiko Tsunami Provinsi Nangro Aceh Darussalam



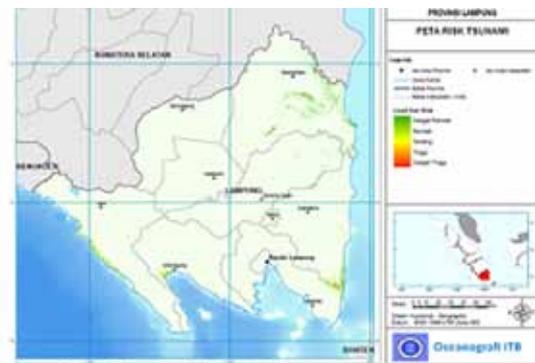
Peta Risiko Tsunami Provinsi Sumatera Utara



Peta Risiko Tsunami Provinsi Sumatera Barat



Peta Risiko Tsunami Provinsi Bengkulu



Peta Risiko Tsunami Provinsi Lampung

Peta Tingkat Risiko Tsunami di 5 Provinsi di Pulau Sumatra.

DAFTAR PUSTAKA

- Diposaptono, S., Budiman, F. Agung (2009), *Menyiasati Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*
- Gerassimos Papadopoulos and Fumihiko Imamura (2001), *A proposal for a new tsunami intensity scale, ITS 2001*, Proceedings, Session 5, Number 5-1, 569-577 pp.
- Latief, H., N.T. Puspito, F. Imamura, (2000), *Tsunami Catalog and Zoning in Indonesia*, Journal of Natural Disaster, Japan
- Latief, H and A.R. Gusman (2003), *Numerical Simulation of The 1883 Krakatau Volcanic Tsunami*, Research Report, Tsunami Research Group, ITB.

Latief H., D.H. Natawidjaya, H. Sunendar, A.R. Gusman, and Tanioka (2006), *Accounts and Modeling the Old and Modern Sumatran tsunamis for Mitigation in the Future*, Proceeding, Third International Conference on Urban earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, CUÉE, Japan. 259-266p.

Latief, H and H. Sunendar (2006), *Database of Precalculated Tsunami Model with Area Study of West Sumatra*, Technical Report, BPPT-JICA, ITB.

Latief H, I.W. Sengara, and S.B. Kusuma, (2008), *Probabilistic Seismic and Tsunami Hazard Analysis Model for Input to Tsunami Warning and Disaster Mitigation Strategies International Conference on Tsunami Warning (ICTW) Bali, Indonesia, November 12-14, 2008*

Latief, H and H. Sunendar (2009), *Tsunami Risk Assessment in Indonesia*, World Bank Technical Report.

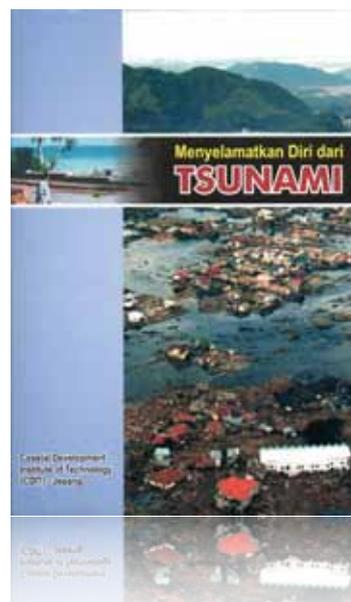
UNESCO (2007), *Tsunami Glossary*. Intergovernmental Oceanographic Commission Technical Series 37:136pp.

Penulis adalah dosen Program Studi Oseanografi dan Kepala Pusat Pengembangan Kawasan Pesisir dan Laut, ITB.

Tulisan ini dimuat kembali dengan penyuntingan baru dari tulisan dan penulis yang sama yang telah dimuat pada buku "Hidup di Atas Tiga Lempeng, Gunung Api dan Bencana Geologi" (Abdurahman dan Priatna, 2011) ■

Resensi
Buku

Menyelamatkan Diri dari TSUNAMI



Menyelamatkan Diri dari Tsunami (Edisi Indonesia)	
Tim Editor	Subandono Diposaptono, Budiman (Edisi Indonesia)
Penerbit	Penerbit Buku Ilmiah Populer Press, PT Sarana Komunikasi Utama bekerja sama dengan Coastal Development Institute of Technology (CDIT)
Tahun Terbit	2009
Tebal	xviii + 269 halaman, 14 cm x 21 cm
Judul Asli	Tsunami – To Survive from Tsunami – (Edisi Jepang)
Tim Editor	Murata Susumu, Imamura Fumihiko, Kato Kazumasa, Kawata Yoshiaki, Takahashi Shigeo, Takayama Tomotsuka (Edisi Jepang)
Penerbit	Penerbit Buku Ilmiah Populer Press, PT Sarana Komunikasi Utama bekerja sama dengan Coastal Development Institute of Technology (CDIT)
Tahun Terbit	2007
ISBN	978-979-1291-25-5

“Banyak mereka yang selamat karena melakukan evakuasi dengan cepat dan hanya memakai sehelai baju. Sebaliknya, mereka yang tewas (dari bahaya tsunami) biasanya karena: (1) tidak bisa lari, (2) menunggu sampai anggota keluarganya berkumpul, (3) ragu untuk meninggalkan keluarga yang tidak dapat melakukan evakuasi, atau (4) berhenti untuk memberi peringatan kepada tetangga” (kasus Tsunami Hokkaido Nansei Oki 1993 di kota Aonae).”

Pernyataan ini adalah salah satu contoh bentuk rekomendasi tindakan penyelamatan diri ketika ada bahaya tsunami, yang tertuang di dalam buku berjudul *Menyelamatkan Diri dari Tsunami*. Buku terjemahan ini menyampaikan temuan-temuan hasil penelitian ilmiah, baik dari sisi ilmu eksak maupun non eksak, yang terkait dengan tsunami, dengan tujuan agar pembaca dapat lebih mempersiapkan diri menghadapi bencana tsunami serta memahami tindakan yang sebaiknya dilakukan (dan tidak dilakukan) ketika terjadi tsunami.

Walaupun tidak terdapat keterangan jelas mengenai target pembaca, buku ini sangat bermanfaat bagi akademisi maupun praktisi untuk mengemasnya ke dalam bentuk dan bahasa yang lebih sederhana untuk dikonsumsi oleh masyarakat luas. Hal ini dikarenakan berbagai tindakan yang direkomendasikan dalam buku tersebut cukup rinci dengan penjelasan akurat tentang fenomena tsunami berdasarkan studi ilmiah, di beberapa bagian menggunakan bahasa ilmiah yang mungkin hanya dimengerti oleh kelompok masyarakat tertentu. Kumpulan penjelasan ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan ini disunting oleh 6 peneliti ternama di Jepang dan ditulis oleh 20 ahli tsunami dan kebencanaan secara umum, yang berdedikasi di universitas, konsultan, maupun pemerintahan. Oleh karena itu, kasus-kasus yang merupakan contoh pembelajaran mitigasi bencana Jepang cukup mendominasi, walaupun tidak sedikit pula contoh kasus dari negara lain yang ditampilkan.

Bagian awal buku ini memaparkan dampak tsunami terhadap wilayah yang diterjang beserta isinya, dengan menggunakan kasus-kasus tsunami di Samudera Hindia tahun 2004 serta dampaknya ke Banda Aceh (Indonesia), Phuket (Thailand), dan Galle (Srilanka), serta kejadian Tsunami Hokkaido Nansei-oki (Jepang) tahun 1993. Dampak dari kedahsyatan

tsunami ditunjukkan melalui foto dari bangunan dan puing yang tersisa akibat bencana tersebut. Jejak tsunami pada bangunan telah membantu peneliti untuk menganalisa kejadian tsunami dan dampaknya, seperti dengan informasi jarak obyek ke pantai, tinggi



Bangunan rumah di Aceh yang mampu bertahan dari gempa dan tsunami 2004.

tsunami pada bangunan, struktur bangunan dan topografi wilayah.

Bagi pembaca yang belum pernah mengalami situasi ketika tsunami, banyak hal-hal yang mungkin tidak terbayangkan sebelumnya yang seharusnya diantisipasi. Pada umumnya masyarakat dihimbau untuk lari ke tempat tinggi menjauh dari pantai, seperti ke bukit. Namun ada kalanya ditemukan wilayah pantai yang sangat landai dan tidak memiliki bukit di dekatnya. Dalam kasus ini, keberadaan gedung tinggi yang tahan gempa penting untuk upaya penyelamatan diri terhadap kejadian tsunami.

Salah satu hal yang membuat buku ini menarik adalah himbauan pada pembaca melalui pembahasan contoh-contoh kasus individu yang menyelamatkan diri dengan cara berbeda-beda, baik yang gagal maupun berhasil. Contohnya, ketika Tsunami Samudera Hindia terjadi di Banda Aceh, ada warga yang menyelamatkan diri dengan mengendarai mobil, melaju dengan cepat sepanjang jalan yang lurus dari rumahnya. Namun ketika berbelok di jalan yang besar, tsunami sudah menghadangnya. Hal ini terjadi karena tsunami menjaral lebih cepat di jalan raya dibandingkan di wilayah yang dipadati bangunan dan struktur fisik lainnya.

Lebih lanjut, terdapat satu bagian dari buku ini yang menganalisa secara cukup rinci –untuk sebuah buku yang ditujukan untuk publik– sifat-sifat gelombang tsunami dan genangan dengan menggunakan persamaan-persamaan matematis, termasuk bagaimana manusia dapat tidak selamat karena tsunami. Contohnya mengenai berbagai faktor penyebab bangunan hanyut yang bergantung pada gaya gelombang, gaya seret, gaya apung, benda mengapung, dan struktur bangunan.



Perbandingan dampak gelombang dan genangan tsunami terhadap tiga jenis material bangunan, yaitu kayu, pasangan batu, bata atau blok beton, dan beton bertulang, secara tidak langsung memberi ide kepada pembaca mengenai material apa yang sebaiknya digunakan untuk bangunan pada jarak tertentu di tepi pantai.

Bagian akhir buku ini membahas mengenai berbagai upaya mitigasi tsunami, baik secara fisik maupun nonfisik, untuk mengurangi risiko dampaknya. Secara fisik, selain dengan manajemen kota berbasis mitigasi bencana, berbagai fungsi dan bentuk bangunan konstruksi seperti tembok laut tsunami, pemecah gelombang tsunami, pintu air, tanggul sungai, hutan peredam tsunami dan bangunan pemecah gelombang dibahas lengkap dengan ilustrasinya. Salah satu catatan menarik yang perlu diperhatikan misalnya mengenai keberadaan sabuk hijau di pinggir pantai yang sering kali membantu penyelamatan diri, terutama yang terdiri dari vegetasi dengan kerapatan tinggi. Namun demikian, keberadaannya dapat juga menjadi bahaya laten bagi manusia, yaitu akses jalan menuju pantai yang memotong sabuk hijau, dimana arus tsunami

akan mengalir dengan kecepatan sangat tinggi karena di bagian lain tertahan oleh sabuk hijau. Alasannya dijelaskan lengkap dengan perhitungan matematisnya dalam buku ini.

Penanganan tsunami secara nonfisik yang dijabarkan dalam buku ini banyak mencakup pendekatan-pendekatan yang sudah diimplementasikan di Jepang, seperti peta rawan tsunami, lokakarya beserta metodenya, rambu-rambu penanggulangan bencana, dan pembangunan monumen peringatan. Sebagian pendekatan tersebut juga telah diimple-



Beberapa contoh rambu-rambu tentang tsunami.

mentasikan di Indonesia. Di Jepang, sebuah panduan untuk menyusun peta rawan tsunami telah disusun dan diterbitkan di tingkat nasional. Pemerintah daerah kemudian membuat peta rawan tsunami dengan mengacu ke panduan tersebut. Peta tersebut mencakup informasi yang berhubungan dengan ukuran tsunami dan topografi daratan, serta informasi evakuasi.

Banyak pertanda yang bisa dijadikan Sistem Peringatan Dini bagi masyarakat. Pada banyak kasus, gelombang tsunami terjadi tidak hanya sekali. Gelombang kedua dan ketiga dapat memiliki dimensi dan energi yang jauh lebih besar dari yang pertama. Gelombang pertama yang tidak terlalu besar sebenarnya bisa dijadikan peringatan awal bagi masyarakat untuk segera menyelamatkan diri karena ada kemungkinan gelombang berikutnya



Para peserta lokakarya penanggulangan tsunami mencoba mengenal wilayah mereka melalui sebuah peta.

datang dengan kekuatan lebih besar. Hal ini seperti yang terjadi di Khao Lak (Thailand), dimana setelah gelombang pertama yang memang kecil banyak orang yang tetap berkumpul di pantai dan sebagian menangkap ikan yang terdampar di pantai akibat surutnya air. Ketika gelombang pertama datang, mereka sudah tidak sempat evakuasi.

Banyak pertanda yang bisa dijadikan Sistem Peringatan Dini bagi masyarakat. Pada banyak kasus, gelombang tsunami terjadi tidak hanya sekali. Gelombang kedua dan ketiga dapat memiliki dimensi dan energi yang jauh lebih besar dari yang pertama.

Berbagi pengalaman dan pengetahuan secara turun temurun juga dianggap penting karena di beberapa tempat, tsunami kembali terjadi tidak dalam jangka waktu pendek, melainkan dapat sampai ratusan tahun kemudian. Sehingga pengalaman dan pengetahuan tsunami sering terlupakan atau terabaikan. Pengalaman dan pengetahuan ini dapat diturunkan atau disebarluaskan dengan berbagai cara. *Tsunami tendenko*, yang berarti dalam peristiwa tsunami, setiap orang menjadi milik dirinya sendiri, menyelamatkan diri tanpa bergantung kepada orang lain. Hal ini menjadi prinsip penyelamatan diri turun menurun yang mulai dimengerti secara luas setelah tsunami Meiji Sanriku pada 1896. Museum pun dianggap sebagai salah satu metode yang dapat mengkomunikasikan berbagai dokumentasi bencana dan dapat berdampak luas di masyarakat. Profil beberapa museum di dunia terkait tsunami juga diperkenalkan

di buku ini, termasuk Museum Tsunami Samudra Hindia di Aceh.

Tersedianya foto, peta, ilustrasi dan grafik menjadikan bahasan-bahasan buku ini lebih mudah untuk dipahami. Lebih dari 60 referensi yang digunakan untuk penulisan buku ini merupakan publikasi karya ilmiah, yang mayoritas ditulis dalam bahasa Jepang. Banyaknya karya ilmiah yang diacu buku ini menunjukkan bahwa buku ini banyak berbicara berdasarkan data dan penelitian. Penterjemahan buku ini ke dalam Bahasa Indonesia akan semakin sempurna dengan tambahan pembahasan hal terkait pengukuran risiko bencana tsunami dengan sistem yang dibangun di Indonesia.



Tembok laut dengan ketinggian 11,7 m dibangun di Pulau Okuhiri, Jepang.

Pada akhir buku ini ditekankan kembali bahwa untuk bahaya tsunami, bila ingin selamat, pastikan keselamatan sendiri dulu baru kemudian menolong orang lain. ■

Risye Dwiyani, independent reseacher & relawan di Bandung Disaster Study Group.

TSUNAMI

Gelombang Pembunuh

BUKU BACAAN TSUNAMI UNTUK REMAJA



DATA BUKU	
Judul	Tsunami Gelombang Pembunuh
Penulis	Prof. Kazumasa Kato
Penerbit	Coastal Development Institute of Technology (CDIT) Penerbit Buku Ilmiah Populer (Edisi Indonesia)
Jumlah Hal	51 halaman
Tahun Terbit	2010

Buku yang berjudul “Tsunami Gelombang Pembunuh, Mari Belajar tentang Tsunami” karangan Prof. Kazumasa Kato dr. ini merupakan buku kedua mengenai tsunami yang diterbitkan oleh Penerbit Buku Ilmiah Populer bekerja sama dengan Coastal Development Institute of Technology (CDIT). Buku yang diterbitkan tahun 2010 ini menyusul buku sebelumnya berjudul “Menyelamatkan Diri dari Tsunami” yang disusun oleh Dr. Susumu Murata dr. (2009). Penerbitan kedua

buku ini dipicu oleh tragedi tsunami yang menimpa Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam pada 2004 dan mengakibatkan korban lebih dari 220.000 orang.

Melihat disain sampulnya, buku yang berjudul asli “Tsunamis are Deadly” ini pastilah diperuntukkan bagi para pelajar sekolah dasar dan menengah. Anda bisa mendapatkan buku ini di toko-toko buku besar pada rak buku remaja atau langsung menghubungi penerbitnya. Karena diperuntukkan untuk pelajar, tentu isinya dibuat sesederhana mungkin, dengan



Dua contoh bangunan di Jepang yang khusus dibuat untuk evakuasi dari tsunami.

ilustrasi, foto, dan warna-warna yang menarik. Format yang dipilih oleh penulisnya adalah tanya jawab, seperti “Bagaimana tsunami terjadi?”, “Di manakah tsunami dapat tumbuh menjadi besar?”, atau “Apa perbedaan tsunami dengan gelombang laut?”

Buku setebal 51 halaman ini cukup informatif dan mudah dipahami. Untuk menjawab pertanyaan “Bagaimana Tsunami terjadi?” dijelaskan proses terjadinya perubahan bentuk dasar laut akibat gempa yang terjadi akibat tumbukan antar lempeng samudra dengan benua. Selanjutnya akibat perubahan bentuk dasar laut itu melalui bantuan ilustrasi ditunjukkan perubahan naik turunnya air laut. Sementara di bagian pantai, perubahan umum yang terjadi adalah surutnya air laut dan datangnya gelombang tsunami dari arah laut setelahnya.

Kecepatan Bergeraknya tsunami di lautan yang sebesar 720 km/jam dijelaskan dengan membandingkan kecepatan itu setara dengan kecepatan pesawat terbang atau 10 kali kecepatan mobil. Mendekati daratan, kecepatan tsunami di pantai menurun menjadi 34 km/jam tetapi ketinggiannya menjadi 8 m. Itu artinya, ketinggian tsunami melebihi gedung bertingkat dua.

Ada kisah menarik antara dua anak kecil bernama Shota dan Nami. Kedua anak itu datang ke pantai untuk bermain. Diceritakan bahwa Shota mewakili gambaran anak yang kurang memahami tsunami, sedangkan Nami anak yang memiliki pengetahuan mengenai tsunami. Ketika sedang asyik bermain terjadi getaran gempa kecil. Nami merasakannya, namun Shota tidak. Mereka segera mendengarkan radio. Benar saja, ada peringatan tsunami dari radio. “Beberapa saat yang lalu, terjadi gempa bumi berskala 7 SR. Masyarakat yang berada di laut perlu waspada terhadap tsunami”, demikian bunyi peringatan itu. Namun Shota berdalih, “Saya mendengar air laut akan surut secara mendadak sebelum tsunami datang. Selain itu, mereka mengatakan hanya terjadi tsunami kecil akibat gempa bumi besar. Lagi pula tsunami tidak akan pernah terjadi pada hari yang cerah.” Nami

menjelaskan, “Kadang-kadang tsunami datang tanpa didahului surutnya air laut secara mendadak. Lagi pula tsunami pada tahun 1933 terjadi pada hari yang cerah. Tsunami terjadi tidak tergantung pada cuaca, getaran gempa bumi yang terasa, geografi, atau lingkungannya! Jadi kita harus segera melakukan evakuasi ketika mendengar peringatan tsunami!”.

Selain tanya jawab mengenai tsunami, pada bagian-bagian lain buku ini kita dapat membaca beberapa pengalaman dari korban tsunami. Tilly Smith, seorang gadis kecil asal Inggris berhasil menyelamatkan orang-orang sekitarnya saat melihat gejala-gejala tsunami yang akan datang tanpa peringatan. Tilly dan keluarganya datang dari Inggris ke Pulau Phuket untuk berlibur. Tilly pernah mendapat pelajaran gempa bumi dan tsunami di sekolah. Ketika memandang laut, ia sadar ada sesuatu yang aneh. Samudra tampak berbusa dan kemudian air di pantai surut. Tilly memberikan peringatan kepada ibunya. Peringatan ini ditanggapi secara cepat oleh orang-orang di sekitarnya. Mereka lalu bergegas menuju daratan tinggi sebelum tsunami menerjang.

Salah satu nasehat penting yang disampaikan melalui buku ini adalah: Tidak ada cara untuk mencegah tsunami. Agar anda terhindar dari bencana itu, maka anda dituntut untuk mengetahui berbagai hal mengenai tsunami, mendiskusikannya dengan keluarga dan teman-teman serta melakukan evakuasi saat terjadi tsunami.

Setelah membaca buku ini beberapa pertanyaan muncul dalam benak. Apakah kita telah menyediakan materi pelajaran yang benar mengenai gempa bumi dan tsunami bagi para remaja kita di sekolah-sekolah? Apakah kita telah memiliki sistem peringatan tsunami melalui radio dan televisi atau bahkan melalui *short message service* (sms)? Apakah kita telah memiliki bangunan evakuasi dari tsunami? Semoga semua pertanyaan ini telah terjawab. (Bunyamin) ■

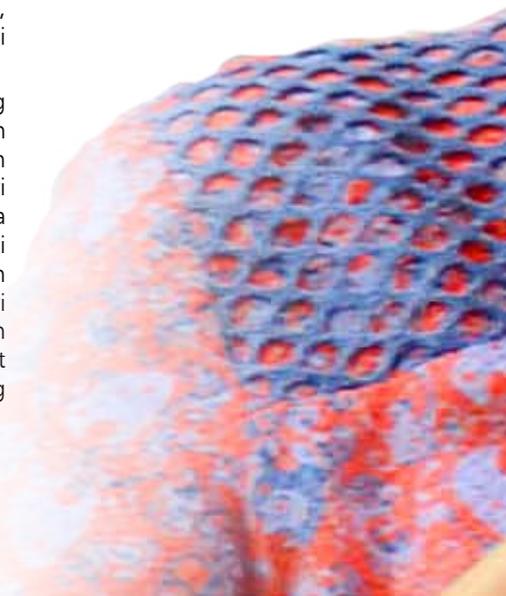
EMMY SUPARKA

Profesor Geologi Perempuan Pertama Indonesia

“Sekarang geologi berkembang sangat pesat, mulai dari analisis inderaja, pemodelan, hingga simulasi komputer. Tetapi menurut saya setiap mahasiswa geologi harus mengetahui ilmu dasar geologi; dan itu, selain dipelajari di bangku kuliah, juga diperoleh di lapangan.”

Pernyataan tersebut disampaikan oleh Profesor Dr. Ir. Emmy Suparka seorang pakar geologi yang mendapat anugrah profesor tahun 2001. Beliau merupakan profesor perempuan geologi pertama di Indonesia, sekaligus profesor perempuan pertama bidang teknik di Institut Teknologi Bandung (ITB).

Antara tahun 1960-1970an, ketika bidang geologi mulai berkembang di Indonesia dan masih didominasi oleh kaum laki-laki, Emmy, perempuan kelahiran Denpasar, Bali, 17 April 1948 itu memantapkan dirinya memilih Jurusan Geologi yang justru tidak diminati kaumnya. Setamatnya dari sekolah menengah di Yogyakarta, ia tertarik memilih Jurusan Geologi karena beberapa hal. Antara lain karena ahli geologi dinilainya masih kurang di Indonesia, terutama perempuan yang masih bisa dihitung dengan jari. Selain itu, ketertarikannya pada geologi karena ada nuansa yang menantang dari geologi. Apa itu geologi? Seperti kebanyakan ketertarikan awal pemilihan Jurusan Geologi, Emmy pun berharap jika kuliah di Geologi, ia dapat meneruskan kesenangannya terhadap traveling, bepergian melihat hal yang baru, melihat alam, dan banyak hal.





Dalam wawancara kami, tiba-tiba Emmy tertawa dan ia berujar, "Ada hal yang tidak bisa saya lupakan ketika mengikuti testing masuk ITB Jurusan Geologi, tahun 1965. Ketika saya mau memasuki ruangan tempat ujian, saya dicegat oleh pengawas dan mengatakan ini untuk Jurusan Geologi. Mbak salah ruangan, kata pengawas. Saya yakinkan bahwa saya tidak salah ruangan dengan memperlihatkan kartu ujian." Ini gambaran betapa tidak populernya Jurusan Geologi di kalangan perempuan pada saat itu. "Tahun 1965 hanya ada dua mahasiswi yang masuk di Jurusan Geologi ITB, yaitu saya, dan Eti Nuay yang merupakan perwakilan dari daerah," lanjutnya mengenang masa awal kuliah.

Menurut Emmy, ada kesenjangan informasi yang sampai kepada masyarakat tentang geologi. Pada

ini menarik dan menantang. Akhirnya Emmy memilih petrologi sebagai spesialisasinya. Sekali lagi anak kedua dari delapan bersaudara ini membuat teman-temannya bergumam, "Emmy memilih hard rock?" ujar mereka tidak percaya.

Made Emmy Relawati, nama gadisnya, adalah anak kedua dari delapan bersaudara dari pasangan Putu Badjre Kusumaharta (alm) dan Nyoman Resike. Ketika usia Emmy sepuluh tahun, mereka pindah dari Denpasar ke Yogyakarta. Ia kemudian menyelesaikan pendidikan dasarnya di SD Bopkri tahun 1959, lulus tingkat SLTP di SMP Negeri II tahun 1962, serta tingkat SLTA di SMA Stella Duce tahun 1965, seluruhnya di Yogyakarta. Ayahnya seorang wiraswasta yang berhasil dan memberikan kebebasan serta kepercayaan penuh kepada putera-



umumnya masyarakat memahami bahwa geologi adalah ilmu yang berkaitan dengan gunung dan hutan. Padahal tidak demikian. Itulah sebabnya para orang tua kurang merespon keinginan putera-puterinya untuk mengambil jurusan ini. Sekarang sudah memadai, informasi tentang geologi sudah diterima oleh masyarakat sebagaimana adanya.

Seiring berlalunya waktu, tiba saatnya memilih spesialisasi. Emmy semula tertarik dengan fosil. Jasad renik itu bisa membawa kepada khayalan ribuan bahkan jutaan tahun silam. Tetapi di bawah mikroskop, rupanya menurut Emmy, fosil itu dibolak-balik bentuknya sama saja tidak berubah. Hal itu berbeda dengan melihat sayatan batuan di bawah lensa mikroskop. Berubah posisi lensa, berbagai bentuk dan warna muncul dan tentu menghasilkan berbagai imajinasi dan interpretasi. Bagi bu Emmy hal

puterinya untuk memilih masa depannya. Dari delapan bersaudara hanya Emmy yang menjadi pegawai negeri, sementara yang lainnya mengikuti jejak ayahnya sebagai pengusaha.

Sebagai mahasiswi di sarang mahasiswa tidak membuat Emmy dan Eti merasa jengah atau risi. Karena mereka minoritas, dua mahasiswi ini selalu mendapatkan perlindungan dan prioritas dari rekan-rekannya para mahasiswa, bahkan dosen. Setiap ada peristiwa penting mengenai geologi, mereka selalu diajak ikut serta dan itu menambah pengalaman di lapangan.

Ada dua peristiwa penting yang tidak dapat dilupakan oleh Emmy. "Pertama, saat saya keluar dari ruangan sidang ujian sarjana, saya tiba-tiba diserang rasa haru dan terdiam di depan pintu. Betapa beban berat yang saya lalui selama ini telah lepas. Tuhan,

terima kasih, ucap saya dalam hati. Teman-teman ikut diam dan menyangka saya tidak lulus. Saat salah seorang dosen penguji keluar mengucapkan selamat, saya lulus dengan predikat terbaik (cum laude), teman-teman saya baru bergembira.”

“Kedua, ketika kalimat terakhir dari disertasi saya selesaikan. Saya merasa sangat terharu, betapa perjuangan panjang ini sudah saya lalui dengan baik.” Ada genangan air yang tidak tumpah di pelupuk mata Emmy mengenang masa indah itu. Emmy menyelesaikan sarjana Geologi dari ITB tahun 1973 dan program doktor sandwich di Laboratoire de Geochimie et Cosmochimie, di Universite de Paris IV, Prancis pada tahun 1988.

Di beberapa kampus ada perkumpulan yang bersifat kedaerahan yang digagas oleh mahasiswa. Dalam acara tertentu mereka menampilkan kesenian daerah, atau sekedar melepas rindu kampung halaman. Emmy termasuk salah seorang akitivis perkumpulan mahasiswa Bali Maha Gotra Ganesha, bersama juga antara lain Bapak Jero Wacik, Menteri ESDM saat ini.

Selepas sarjana, Emmy memilih menjadi dosen dengan pertimbangan bahwa ia dapat mengatur waktu antara bekerja dan mengurus keluarga. Ia tercatat menjadi dosen di almamaternya sejak 1976. Dengan menjadi dosen, ilmunya bisa berkembang dan bisa berbagi ilmu dengan orang lain.

Emmy menikah dengan “kakak kelasnya” Suparka, sarjana Geologi ITB angkatan 1962 yang sekarang telah pensiun dari Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI dengan gelar terakhir profesor riset. Pada saat kami menanyakan mengapa memilih Pak Suparka menjadi pendamping hidup, “Sederhana. Pak Suparka memilih saya,” jawabnya. “Alasan lain, karena Bapak banyak membimbing, bukan hanya dalam ilmu geologi, tetapi juga memberi wejangan dan semangat. Hidup berdampingan dengan orang yang satu profesi memudahkan saya untuk bekerja. Tidak banyak pertanyaan mengapa dan kenapa karena pasti tahu apa yang saya kerjakan,” ujarnya lebih lanjut. Mereka dikaruniai seorang putera yang sekarang menetap di Australia.

Pengalaman pertama kali mengajar adalah ketika menggantikan Prof. Rubini Soeria-Atmadja (almarhum) di Universitas Trisakti, Jakarta. Saat masuk kelas para mahasiswa mengira Emmy adalah sekretaris Pak Rubini dan datang hanya untuk menyampaikan permintaan maaf karena beliau tidak bisa mengajar. Para mahasiswa yang pada mulanya mencoba menggoda dengan bersiul dan bersuit, alangkah kagetnya, ternyata Emmy datang untuk memberikan kuliah menggantikan Pak Rubini yang berhalangan datang. “Ini pengalaman pertama, dan saya berhasil melaluinya dengan baik. Mahasiswa hormat apabila kita hormat,” ucap Emmy.

Berdiri di depan kelas menghadapi mahasiswa yang rata-rata laki-laki tidak membuat Emmy grogi atau demam panggung. Boleh jadi karena sejak usia 10 tahun sudah terbiasa menghadapi publik dengan menari di atas panggung. Demikian cintanya pada tari Bali, ketika sudah tinggal di Yogyakarta pun setiap liburan selalu ke Bali untuk latihan menari di Sanggar Naryo. Selain tari Bali, ketika di Yogyakarta ia juga belajar tari Jawa dari Bagong Kusudiarjo. Di Bandung pun, tari Sunda ia pelajari juga.

Pengalamannya sebagai penari membawa Emmy tidak saja sebagai ahli geologi perempuan dan profesor geologi di Indonesia, tetapi seolah-olah geologi ikut menari bersamanya. Salah satu peristiwa penting di antaranya ketika Emmy memberikan kado istimewa sebagai penghormatan kepada profesor pembimbingnya pada saat peluncuran buku di Prancis dengan menampilkan tarian Bali. Sejak penampilan itu, Emmy menjadi dikenal dan dibicarakan oleh banyak kalangan di lingkungan kampus Universite de Paris IV. Bahkan saat sudah menjadi anggota senior guru besar di ITB pun, Emmy masih sempat meluangkan waktu untuk menari. Penampilannya yang terakhir sebagai penari di depan publik adalah ketika acara penyerahan gamelan oleh Gubernur Bali kepada Rektor ITB pada awal tahun 2000an. Rekannya sesama anggota senat guru besar seolah tidak percaya dengan penampilan yang memukau itu dibawakan oleh seorang profesor geologi.

Di beberapa kampus ada perkumpulan yang bersifat kedaerahan yang digagas oleh mahasiswa. Dalam acara tertentu mereka menampilkan kesenian daerah, atau sekedar melepas rindu kampung halaman. Emmy termasuk salah seorang akitivis perkumpulan mahasiswa Bali Maha Gotra Ganesha, bersama juga antara lain Bapak Jero Wacik, Menteri ESDM saat ini. Selain di unit kesenian, keaktifannya sebagai mahasiswa di ITB di antaranya juga adalah menjadi anggota Mahawarman dan bergabung di EH-8 Radio ITB.

Dosen geologi yang masih aktif ini dalam usianya yang sudah kepala enam tetap terlihat sangat energik. Satu hal yang tidak pernah lalai dilakukan



EMMY MENGAMATI SINGKAPAN BATUBARA DI SIJUNJUNG, SUMATRA BARAT, 1980 (FOTO: KOLEKSI KELUARGA SUPARKA).

adalah jalan pagi. "Setiap hari saya harus berjalan minimal satu jam," ujarnya. Selain itu hobi Emmy adalah membaca dan mengurus tanaman. "Tetapi tanaman yang mudah cara pengurusannya," ujarnya.

Saat ditanyakan tentang idola, Emmy tampak menerawang. "Saya hanya mengidolakan ibu saya. Beliau tidak hanya mengerti saya, tetapi memberikan senyum ketika saya berhasil dan memberikan motivasi ketika saya sedang gagal dan gundah. Bagi saya ibu adalah orang yang sangat istimewa," katanya mantap. Sekarang ini ibunya tinggal bersama salah seorang puteranya di Jakarta pada usia 84 tahun dan masih sehat. "Tapi saya mendapat pelajaran pertama tentang hidup mandiri dan bertanggung jawab dari ayah saya," tambahnya kemudian.

Karirnya sebagai pegawai negeri sudah di ujung jalan, dua tahun lagi Emmy memasuki masa pensiun. Selama masa baktinya di ITB, Emmy di antaranya pernah menduduki jabatan Ketua Departemen Teknik Geologi dalam dua kali masa jabatan, yaitu 1992-1995 dan 1996-1998. Ia kemudian menjadi Kepala Penerbit ITB 1998-2000. Pada 2000-2005, Emmy terpilih menjadi dekan Fakultas Teknologi Mineral (FTM) untuk selanjutnya ditarik ke rektorat sebagai Wakil Rektor Bidang Riset, Inovasi, dan Kemitraan

merangkap Ketua LPPM ITB dari 2005 hingga 2008. Saat ini Emmy aktif sebagai ketua Kelompok Keilmuan Geologi selain sebagai wakil kepala salah satu unit usaha di ITB.

Meskipun dengan segala kesibukannya, hingga kini masih banyak mahasiswa bimbingannya, terutama mahasiswa S2. Beberapa di antaranya datang dan memohon agar dibimbing oleh Emmy. Ketika kami menanyakan mengapa mereka begitu antusias memilih Ibu, jawabannya singkat, "Mereka tidak diperlakukan sebagai mahasiswa semata, tetapi adalah bagian dari keluarga saya. Jadi mereka saya targetkan harus berhasil dengan gemilang".

Tidak sedikit di antara "bekas mahasiswanya" masih meminta nasehat atau sekedar curhat tentang apa saja kepada Emmy meskipun mereka sudah berada jauh di tempatnya bekerja. "Banyak dari anak bimbingan saya yang sudah bekerja di tempat yang jauh, setiap berkunjung ke Bandung selalu mampir menemui saya, sekedar say hello. Ini sangat menyenangkan, ada silaturahmi yang sinambung," ujar Emmy.

Sebagai seorang ilmuwan, Emmy sudah mencapai puncak dengan meraih gelar profesor. Sebagai dosen



Bersama Profesor Takashima di Akita University, Jepang, 2007 (Foto: Koleksi Keluarga Suparka).



Emmy di depan Universite de Paris VI Marie Curie, 1980 bersama puteranya Krishnamurti yang masih berumur 5 tahun (Foto: Koleksi Keluarga Suparka).

sudah pada jenjang anggota senat guru besar dan pernah menjabat Ketua Jurusan Geologi, ITB. Adakah obsesi yang belum tercapai? Ketika kami menanyakan hal tersebut, Emmy dengan tegas mengatakan, "Saya tidak punya target. Sebagai hamba Tuhan, saya tidak boleh meninggalkan shalat dan kewajiban lainnya sebagai seorang ibu rumah tangga dan anggota masyarakat. Sejak muda saya ingin mengajar. Bahkan ketika saya masih mahasiswa saya pernah mengajar menari pada anak-anak di RT tempat saya tinggal. Pada hakekatnya saya ingin mengabdikan."

Pesannya kepada kaum perempuan, terutama yang memilih menjadi ahli geologi, "Jangan pernah berhenti belajar, harus berperan aktif dan percaya diri. Banyak yang bisa dilakukan oleh perempuan, bahkan banyak pekerjaan yang menanti karena perempuan lebih telaten." Menurutnya, persoalan Geologi di masa depan selain masalah eksplorasi untuk energi, juga masalah lingkungan hidup secara umum, dan untuk semua itu, ahli geologi perempuan akan mempunyai andil yang sangat besar. ■

Pewawancara dan penyusun:

Syamsul Rizal Wittiri dan Budi Brahmantyo.

Geotrek

Menelusuri Sabuk Geologis Timah Bangka

Melabrak Mitos Waktu Rawan
di Tambang Timah

Oleh: Budi Brahmantyo



Hotel Aston, tempat awal geowisata Geotrek Timah Bangka, dibangun bersama beberapa hotel lain untuk menyambut Tahun Kunjungan Bangka-Belitung 2010, Seminar Internasional Wisata Bahari 2011, dan Sail Wakatobi-Belitung 2011.



Museum Timah Indonesia di Kota Pangkalpinang yang menyajikan secara lengkap Geologi Bangka-Belitung dan sejarah eksplorasi dan penambangan timah.

Waktu rawan. Itulah yang saya dengar dari Ita seorang operator wisata asli Bangka sambil menerangkan mengenai Pulau Bangka di atas bus pariwisata yang membawa kami dari Pangkalpinang menuju titik perhentian berikutnya di Tirta Tapta, Pemali, Sungailiat. Bus berkapasitas 30 tempat duduk mengantar suatu wisata yang diberi judul *Tin Geotrack* yang yang berkaitan dengan hajat besar Dinas Kebudayaan dan Pariwisata, Provinsi Bangka Belitung (Babel), yaitu Seminar Internasional Wisata Bahari (*International Seminar on Marine Toursim*), 21 – 22 September 2011.

"Tim Geo Track" alias Geotrek Timah tadinya dirancang oleh panitia hanya sebagai sebuah "test case" apa yang pernah diusulkan oleh Pusat Perencanaan dan Pengembangan Kepariwisata (P-P2Par) ITB pada 2009 lalu. Untuk itulah, pesertanya dibatasi hanya bagi para operator wisata di Babel. Namun rupanya para peserta seminar tidak mau tahu. Mereka mendaftar juga pada pilihan Geotrek Timah, sehingga panitia tidak dapat menolak. Jadilah wisata yang tadinya hanya untuk 20 peserta, membengkak menjadi 36 peserta. Satu mobil tambahan akhirnya terpaksa disiapkan panitia.

Penjelasan singkat di halaman teduh Hotel Aston yang baru berdiri 2010 lalu bersama-sama dengan Hotel Novotel dan Santika di Pangkalpinang, memberi gambaran terlebih dahulu kondisi geologi Pulau Bangka yang merupakan bagian dari batuan dasar granit. Granit yang membawa mineral kasiterit SnO₂ sebagai mineral bijih timah semakin diperkaya ketika granit melapuk, tererosi dan endapan pasir kasiteritnya terakumulasi di endapan sungai, pantai, atau lepas pantai. Begitulah, dengan kandungan timahnya ini, bagaimana sejak Abad ke-4 hingga ke-5, Bangka telah dieksploitasi oleh para pendatang dari Cina yang jago di dalam eksplorasi, menambang, dan mengolah timah. Nama Bangka pun konon berasal dari bahasa Cina 'wangka' yang berarti timah. Bahasa

Sanskerta pun menyebut timah dengan 'vanka,' yang mungkin mengadopsi dari bahasa Cina.

Sebuah bukit di depan Hotel Aston adalah bukit granit. Begitu pun saat para penumpang pesawat yang akan mendarat di Bandara Depati Amir akan segera mengamati bukit-bukit yang menonjol di sekitar landasan hampir seluruhnya merupakan bukit-bukit granit. Bangka (dan Belitung) dibangun dari intrusi-intrusi granit sangat luas yang diperkirakan merupakan bagian dari sabuk granit (*granite belt*) berumur Yura – Kapur yang terbentang mulai dari Myanmar, Thailand, Semenanjung Malaysia, Riau Kepulauan, hingga Bangka-Belitung. Sabuk granit ini merupakan sabuk yang kaya akan mineral kasiterit hasil dari proses-proses hidrotermal yang akhirnya menjadi sabuk penghasil timah yang sangat kaya (*tin belt*).

Geologi Bangka, sejarah geologisnya, dan bagaimana terjadinya timah dapat diikuti dengan cukup lengkap di lokasi stop kedua, yaitu Museum Timah Indonesia di tengah Kota Pangkalpinang. Museum yang didirikan oleh PT Timah menyajikan secara lengkap sejarah eksplorasi dan eksploitasi timah di Bangka dan Belitung. Di sini kita dapat mengikuti bagaimana ketika pada Masa Paleozoikum Bangka dan laut di sekitarnya masih merupakan daratan. Pada peralihan Masa Paleozoikum ke Mesozoikum (Zaman Karbon hingga Trias), Bangka mulai berubah menjadi laut dangkal.

Selama Masa Mesozoikum, orogenesis kedua terjadi dan mulai memunculkan Kepulauan Riau. Selama Trias hingga Yura Akhir, intrusi-intrusi granit menerobos batuan sedimen menghasilkan proses metamorfosis kontak dan pneumatolitik secara



Cuaca panas tidak menjadi halangan untuk menyaksikan aktivitas penambangan timah di Pemali



Jika tidak dibatasi waktu, peserta geotrek keasyikan mengamati proses pemisahan batuan dengan pasir bijih kasiterit

bersamaan yang akhirnya menghasilkan mineral kasiterit. Ketika Bangka seluruhnya merupakan daratan selama Masa Kenozoikum, proses pelapukan dan erosi intensif mengikis, mentranspor, dan mengakumulasi endapan-endapan pasir kasiterit yang mengisi lembah-lembah sungai atau pantainya. Proses ini begitu intensif selama Zaman Kuarter dengan empat kali Zaman Es yang membuat permukaan laut surut. Saat permukaan laut naik kembali selama proses pemanasan global di Zaman Antar-Es yang berawal sekitar 20.000 tahun yang lalu, dataran-dataran aluvial yang kaya kasiterit mulai tenggelam dan sekarang menjadi laut dangkal di sekitar Bangka – Belitung.

Bangka yang maju sekarang ini bagaimana pun tidak lepas dari peran para penambang timah, walaupun menghasilkan permukaan pulau yang bopeng penuh lubang galian timah (dikenal sebagai 'kolong') yang cenderung liar, di mana-mana, dan tidak terkendali. Ketika melihat wajah Bangka seperti itu, mungkin sangat cocok mengambil peribahasa "nasi telah menjadi bubur" dengan konotasi positif. Apa salahnya jika kemudian buburnya diberi bumbu dan ditambah lauk-pauk yang tepat, malah mungkin akan menjadi hidangan yang lebih nikmat daripada nasi. Begitulah geotrek timah Bangka menganalogikan kondisi yang dianggap rusak karena keberadaan kolong dan aktivitas tambang timah untuk dimanfaatkan sebagai objek geowisata (yang mudah-mudahan jika dikelola dengan baik dapat menguntungkan secara ekonomi).

Selesai dari Museum Timah, bus berangkat ke arah Sungailiat. Saat itu waktu telah menunjukkan pukul 10.20. Di atas bus dalam perjalanan sekitar satu jam lebih ke stop berikutnya, matahari di atas Bangka yang sudah terasa panas di pagi hari, semakin terasa menyengat di luar bus wisata yang ber-AC ini. Saat itulah, pegiat wisata Ita mengemukan bahwa jam-jam 11 hingga 13 akan menjadi waktu rawan untuk kegiatan wisata. Wisatawan biasanya sudah merasa capek, mengantuk, apalagi hawa di luar bus di Bangka begitu terik menyengat.

Setelah berhenti sebentar di tempat wisata mata air panas Tirta Tahta (yang airnya terasa hangat karena hawa di luar panas), geotrek menuju stoptrek berikutnya yang bakal menjadi ujian geowisata di jam-jam rawan tersebut: lokasi tambang timah aktif di Pemali.

Ketika bus berhenti di jalan tambang yang panas dan berdebu, benar saja para penumpang enggan untuk keluar bus. Namun dengan dipelopori saya, panitia, dan beberapa rekan yang telah saya tulari virus geotrek, akhirnya semua keluar. Ketika mendapat pembagian pinjaman helm proyek sebagai standar keselamatan di lokasi tambang, antusiasme berwisata timbul kembali. Berfoto dengan helm proyek berlatar belakang lokasi tambang menjadi sentuhan pertama melabrak waktu rawan itu.

Minat peserta geotrek untuk mengetahui kegiatan tambang timah dengan sistem *open-pit* (galian terbuka) bahkan tinggi. Jika panitia tidak ketat



Pencucian lumpur untuk memisahkan pasir bijih kasiterit, mineral pembawa timah

dengan waktu, para peserta kelihatan merasa kurang waktu dan sedikit terburu-buru menyaksikan aktivitas penambangan serta pengolahan pemisahan kasiterit dari pasir dan batu. Lucunya, banyak orang Bangka asli sendiri belum pernah tahu dan menyaksikan bagaimana timah ditambang dan diolah.

Geotrek berikutnya setelah makan siang di lokasi wisata pantai Tanjung Pesona adalah penjelajahan batu-batu granit yang muncul baik di Tanjung Pesona, ataupun di stop terakhir, Pantai Parai. Memang, batu-batu granit ini tidak seekstrem batu yang sama di Belitung, namun dengan interpretasi, semua bisa menjadi menarik. Di kedua pantai ini, bagaimana proses-proses erosi memunculkan granit-granit yang terbentuk lebih dari 100 juta tahun itu muncul ke permukaan dengan blok-blok raksasa yang menghiasi bentang alam pantai timur laut Bangka, dapat diamati dan dijelajahi.

Bagi mereka yang senang fotografi, lekukan-lekukan tubuh blok granit yang berkelindan dengan

pantai pasir putih dan deburan gelombang Selat Karimata merupakan objek yang fotogenik. Sayangnya di pantai-pantai wisata ini, jauh di lepas pantai, kegiatan pengerukan timah semakin marak dilakukan oleh para penambang-penambang kecil. Perahu-perahu penambang yang hilir mudik mengeruk dasar laut menyebabkan air laut tampak keruh. Di beberapa bagian abrasi sudah mulai tampak. Menurut seorang peserta pegiat pariwisata, sebelum adanya aktivitas penambangan timah lepas pantai, abrasi tersebut tidak terjadi.

Terlepas dari kontradiksi antara menjaga lingkungan pantai dan mata pencaharian sebagian masyarakat, tentu hal-hal tersebut perlu diatur. Sekalipun aktivitas penambang dapat menjadi daya tarik wisata seperti di Pemali, tetapi jika hal tersebut mengganggu pantai-pantai yang tadinya asri dan bersih, harus segera ditindak.

Di Pantai Parai, matahari telah condong ke ufuk barat. Ketika Geotrek Timah "Tin Geo-Track" ditutup



Blok batu granit yang eksotis di pantai Tanjung Pesona, Sungailiat



Pantai Parai, Sungailiat, dengan “Pulau Batuan” (*Rock Island*)-nya



Menjelajah blok-blok besar batu granit di Pantai Parai, membawa keasyikan tersendiri bersamaan dengan interpretasi bagaimana Pulau Bangka terbangun dari bat granit ini.

di antara blok-blok granit raksasa di Rock Island, Pantai Parai, tentu persoalan di atas harus menjadi perhatian masyarakat Bangka sendiri. Namun, mudah-mudahan virus geotrek terus mewabah di Bangka dan menjadi salah satu desakan untuk menjaga lingkungan. ■

Penulis adalah Kepala P-P2Par ITB, staf dosen di Teknik Geologi ITB, koordinator Kelompok Riset Cekungan Bandung, dan anggota IAGI.

*Esei
Foto*

ACEH,

Sekelumit Masa Lalu

dan Semangat Pasca Tsunami

Oleh: SR. Wittiri, T. Bachtiar, dan Teuku Islah

Pukul delapan lebih enam belas menit pagi hari, tanggal 26 Desember 2004, jam ini berhenti berdetak.
Foto (repro): SR Wittiri,
Koleksi Museum Tsunami Banda Aceh



Lempeng Samudra terus-menerus menunjam di bawah Lempeng Benua sepanjang tepi Samudra Hindia di sebelah barat Nias, Simeulue, dll. Pantai barat pulau-pulau itu terus bergerak turun dengan kecepatan antara 50-60 mm per tahun. Sebaliknya, sisi barat kawasan Aceh terus bergerak “melengkung” meninggi. Ahad, 26 Desember 2004 itulah, segmen lempeng raksasa pada zona penunjaman itu “pecah”, dan terjadi hentakan balik dari kedua lempeng itu dalam hitungan waktu yang sangat singkat. Itulah gempa bumi yang terjadi pukul 07.58 dengan kekuatan M 9,2. Gempa di Ahad pagi itu telah meluluhlantakkan Banda Aceh, yang disusul hantaman tsunami yang menyamai kecepatan pesawat jet, 900 km/jam, telah meratakan kawasan ini dan merenggut nyawa lebih dari 200.000 orang.

“Segala yang datang dari Tuhan, kembali kepada Tuhan”. *Bungong rhoet bak tangke*, setiap kelopak bunga akan jatuh dari tangkainya.

Gempa maha dahsyat itulah yang mengembalikan pantai-pantai barat Nias dan Simeulue ke posisi sekian ratus tahun yang lalu, sehingga pantai-pantai itu terangkat setinggi 3 m. Sebaliknya, pantai barat kawasan Aceh tenggelam antara 0,5-1,5 m. Inilah yang menyebabkan perkampungan, jalan raya, tambak ikan, dan talun kelapa sepanjang pantai barat, seperti di Pantai Lamno, Lhok Nga, Geurute menjadi laut. Mekanisme alam ini terus berlangsung, dan saat ini Lempeng Samudra sudah kembali menyusup secara evolutif ke dasar Pulau Sumatra.

Secara fisik, setelah tujuh tahun musibah itu terjadi, kota Banda Aceh sudah kembali semarak. Sarana

dan prasarana sudah selesai dibangun dan denyut kehidupan masyarakat pun kembali lancar.

Kata Aceh, pertama kali tertulis dalam suatu naskah yang terbit pada abad ke-16 M sebagai suatu wilayah bernama *Achei*. Karena faktor pengucapan orang-orang Eropa, kata tadi berubah menjadi *Achem* atau *Achim*. Pada abad ke-17 M, ketika bangsa Portugis masuk ke wilayah ini, dengan aksen mereka, kata itu berubah menjadi *Ache*. Memasuki abad ke-19 beberapa penulis sudah mulai menulis kata *Atjéh*. Dalam perkembangan Bahasa Indonesia selanjutnya, ejaan Soewandi tidak membedakan antara konsonan *é* dan *e* sehingga nama *Atjéh* hingga kini tertulis *Atjeh* (Aceh).

Dalam naskah kuno Melayu, etimologi nama Aceh berasal dari nama tumbuhan yang bernama *achi* meskipun keberadaan tumbuhan tersebut tidak dapat dibuktikan. Beberapa orang menduga nama itu berasal dari nama pohon asem. Tetapi itu pun belum disepakati oleh banyak kalangan.

Penduduk provinsi di ujung barat Kepulauan Indonesia ini mayoritas memeluk Islam, sehingga Aceh sering disebut Serambi Mekah. Kami menyebutnya “negeri seribu *meunasah*” karena banyaknya *meunasah* di setiap sudut kota.

Aceh telah melahirkan sederet pejuang yang berani melawan penjajah pada masanya. Sebut saja Sultan Iskandar Muda, Teuku Umar, Cut Nya’ Dien, Cut Mutia dan banyak lainnya.





Ketika tsunami menghantam kota Banda Aceh, atap dan menara masjid Baiturrahman ini menjadi tempat untuk menyelamatkan diri.

Pada awalnya masjid ini hanya berupa bangunan sederhana yang beratapkan daun rumbia. Dalam perang melawan penjajah Belanda pada tahun 1873, masjid tersebut terbakar dihantam meriam. Untuk merebut hati rakyat, Belanda membangun kembali masjid yang permanen dengan satu menara. Dalam perkembangan selanjutnya, masjid ini diperbesar dengan beberapa menara seperti yang tampak sekarang.

Foto: SR. Wittiri



Sebelum dan sesudah Tsunami 26 Desember 2004

Gambar atas adalah suasana Kota Banda Aceh sebelum dilanda tsunami, bawah sesudah dilanda tsunami. Tumpukan lumpur dan puing-puing bekas bangunan yang terbawa tsunami menumpuk di hampir seluruh kota, termasuk di sekitar Masjid Raya Baiturrahman.

Sumber: DIGITALGLOBE

Dicetak ulang: BANGFATJA - LAPAN



Makam Sultan Iskandar Muda di tengah Kota Banda Aceh. Foto: SR. Wittiri



Museum Aceh

Kisah heroik para Pahlawan Aceh dan segala pernik-pernik mengenai Aceh tempo dulu dan sekarang dapat dijumpai di museum ini.

Foto: SR. Wittiri



Foto: Cahya Patria



Foto: SR. Wittiri

Tsunami setinggi lebih dari 30 m dengan kecepatan ratusan kilometer per jam mencengkeram segala yang ada, kemudian mencampakkannya jatuh ke darat berkeping-keping.

Seluruh isi kota dikuras; mobil, perahu, dan apa saja terkoyak dan bertumpuk-tumpuk bertebaran di setiap sudut kota.



Tugu Tsunami

Tugu Tsunami ini terletak di jalan masuk Kota Banda Aceh dari arah Bandar Udara Sultan Iskanda Muda.

Kabarnya, lubang yang terdapat di bagian tengah tugu akan ditembus sinar Matahari setiap tanggal 26 Desember, pukul delapan pagi, sebagai pertanda waktu terjadi gempa bumi yang menggoncang Aceh yang diikuti tsunami.



Foto: SR. Wittiri



Ada beberapa kuburan massal korban gempa bumi dan tsunami 26 Desember 2004 di sekitar Kota Banda Aceh. Di Kuburan Massal Siron ini dimakamkan sebanyak 46.178 jiwa, dan di kuburan massal Pocut Baren sebanyak 14.264 jiwa.



Foto: SR. Wittiri



Foto: SR. Wittiri



Museum Tsunami Aceh

Arsitektur Museum Tsunami Aceh ini menggabungkan konsep rumah panggung khas Aceh dengan konsep bukit untuk menyelamatkan diri. Museum ini dapat menjadi simbol ketegaran dan kebersamaan masyarakat Aceh dalam menghadapi bencana gempa dan tsunami. Selain itu, museum ini berfungsi sebagai pusat penelitian, pembelajaran dan menjadi “lonceng” peringatan, bukan hanya untuk masyarakat Aceh, namun juga untuk seluruh masyarakat Indonesia dan Dunia agar selalu siap-siaga hidup di kawasan yang rawan bencana.



Foto: SR. Wittiri



Ketika memasuki ruang peraga museum melalui lorong yang gelap, imajinasi yang muncul adalah berada di dalam pusaran tsunami yang gelap dan kehilangan arah.



Foto: SR. Wittiri

Pantai Geurute

Garis pantai yang mundur sejauh lebih dari 75 m akibat gempa bumi dan tsunami. Tambak yang berada di depan bukit pada gambar kanan atas, sekarang menjadi bagian dari genangan laut. Kondisi seperti ini umumnya terjadi sepanjang pantai barat Aceh.



Foto (repro): T. Bachtiar, koleksi penduduk Geurute



Daratan pantai antara Lamno dan Calang yang tenggelam menjadi laut setelah tsunami dengan sisa-sisa deretan batang pohon kelapa yang mulai lapuk.
Foto: T. Bachtiar



Sisa-sisa jalan menuju Calang, Aceh Barat yang menyusuri tebing di tepi pantai.

Foto: SR. Wittiri



Batu diorit berwarna ungu kehijauan yang tersingkap pada dinding jalan yang menembus gunung antara Banda Aceh - Calang.

Foto: SR. Wittiri

Jalan raya mulus dan lebar yang menghubungkan Kota Banda Aceh dengan kota-kota di sisi timur Nanggroe Aceh Darussalam ke arah selatan hingga Meulaboh.

Foto: SR. Wittiri







Jembatan putus di atas muara sungai yang memisahkan dua kampung di Lhoknga.

Foto: SR. Wittiri



Fosil *Cyprinus carpio*, koleksi Museum Geologi, Bandung.
Foto dan teks: T. Bachtiar

Fosil ikan mas, koleksi Museum Geologi.

Fosil ikan mas (*Cyprinus carpio*) ditemukan di tepi Ci Patik, anak Ci Tarum, dekat Cililin, Kabupaten Bandung (sekarang Kabupaten Bandung Barat), Maret 1984. Dua fosil ikan mas itu panjangnya 150 mm dan 300 mm, berada pada lapisan pasir halus dengan batuan dasar tanah liat dari endapan danau.

"Tsunami melanda, menggulung, menyapu, atau melemparkan apa pun yang dilaluinya di kawasan pantai, segera setelah suatu gempa besar di laut. Tak ada yang tahu kapan gempa pemicu tsunami itu akan terjadi. Bijaklah bila kita belajar dari tsunami yang lalu dan selalu waspada melalui upaya mitigasi bencana tsunami".



"Tsunami dalam imajinasi seorang siwa SD"

Lukisan tsunami karya V. Dheta Kristami, siswa SD Ign. Slamet Riyadi, pemenang ke-2 Kelompok kelas 1-3 SD Lomba Gambar Geologi, Badan Geologi Tahun 2006

ISSN 2088-7906



9 772088 790005