

# **Pengenalan Sains Kebencanaan, Contoh Kasus: Bencana Kegempaan**

Eko Yulianto, PhD

*Puslit Geoteknologi  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Kampus LIPI Gedung 70, Jl. Sangkuriang Bandung 40135  
Telp: 022-2503654; Fax: 022-2504593*

## *Negeri Surga, Negeri Bencana ?*

*.....bukan lautan hanya kolam susu  
kail dan jala cukup menghidupimu  
tiada topan tiada badai kautemui  
ikan dan udang menghampiri dirimu  
orang bilang tanah kita tanah surga  
tongkat kayu dan batu jadi tanaman.....*

*(koes plus)*

Adalah ketentuan-Nya bahwa wilayah kepulauan Indonesia seolah-olah berada tepat di atas ‘jantung’ bumi, sehingga semua makhluk hidup yang hidup di wilayah ini dapat merasakan degupnya. Wilayah kepulauan ini berada di atas pertemuan tiga lempeng raksasa yaitu Lempeng Benua Eurasia, Lempeng Samudera Pasifik dan Lempeng Samudera Indo-Australia. Lempeng Indo-Australia menunjam di bawah Lempeng Eurasia. Lempeng Pasifik menunjam di bawah Lempeng Eurasia. Melalui proses subduksi ini, Tuhan menjadikan Indonesia beribu-ribu pulau dengan ratusan gunung berapi nan indah, yang abunya menyuburkan tanah sehingga menghidupkan daratannya karena dipenuhi ribuan jenis tumbuh-tumbuhan yang bermanfaat untuk kehidupan manusia yang ditakdirkan tinggal di di dalamnya. Dengan proses subduksi pula Tuhan menjadikan banyak retakan-retakan di kerak bumi. Sebagian dari retakan-retakan itu bahkan memotong-motong kerak bumi hingga ke permukaannya sehingga terlihat seperti sayatan-sayatan pisau jika dilihat dari angkasa. Sebagian retakan ini menjadi jalan bagi larutan magma untuk mencapai permukaan bumi sehingga membentuk gunung api. Sebagian retakan lainnya menjadi tempat mengendapnya berharga mineral berharga yang mengandung berbagai logam seperti emas, perak, tembaga dan lain-lain ketika larutan magma melaluinya. Sebagian retakan lainnya lagi menjadi tandon bagi minyak bumi dan air tanah.

Keindahan, kekayaan alam, kecantikan-kecantikan pemandangan tersebut di ataslah yang lebih sering diajarkan kepada kita selama ini. Banyak jargon yang selalu melekat di kepala kita tentang Indonesia. Untaian zamrud katulistiwa, misalnya. Anda tentu juga masih ingat salah satu lagunya Koes Plus yang juga memuat jargon serupa: “bukan lautan hanya kolam susu, tiada topan tiada badai kautemui.....dan seterusnya. Kita seolah tidak pernah diajar tentang bencana alam sehingga begitu terkejut-kejut ketika mengalaminya. Akibatnya, banyak dari kita yang kemudian bersikap seperti burung onta. Burung onta akan menyembunyikan kepalanya ke dalam pasir ketika menghadapi ancaman. Baginya, tidak melihat bahaya sama artinya dengan tidak ada bahaya. Padahal senyatanya, di negeri kita Indonesia, segala keindahan dan kelimpahan itu bersisian dengan berbagai ancaman bencana alam seperti berada di dua sisi mata uang, tak terpisahkan. Pendek kata, ancaman bencana alam adalah hal yang tidak mungkin ditutupi di Indonesia. Alih-alih bersikap seperti burung onta, kita mestinya melihat dengan jelas dan mendefinisikan dengan jelas ancaman itu sehingga kita mampu menghadapi dan mengatasinya.

Disamping menganugerahkan kelimpahan dan keindahan, melalui proses subduksi pula Tuhan menetapkan aturan-Nya bahwa bencana mungkin terjadi di Indonesia. Letusan gunung berapi, gempa bumi, tsunami, tanah longsor adalah bagian dari rahmat-Nya supaya kita lebih memahami-Nya. Patahnya kerak bumi menimbulkan gempa bumi. Jika kerak yang patah itu mencapai permukaannya yang berada di bawah laut maka akan memicu gelombang tsunami. Saat ini, gempa bumi terjadi rata-rata 2 hingga 15 kali sehari di seluruh wilayah Indonesia. Seringnya terjadi gempa bumi menyebabkan tsunami juga sering melanda wilayah Indonesia.

Meskipun gempa bumi sering terjadi, bencana alam akibat gempa bumi sebenarnya barulah sebuah kemungkinan bukan keniscayaan untuk terjadi. Letusan gunung api, gempa bumi, tsunami, longsor adalah ancaman bencana alam bukan bencana alam itu sendiri. Ancaman bencana ini akan berubah menjadi bencana ketika kita manusia tidak bisa mengatasinya. Ada dua hal yang menentukan apakah ancaman bencana dapat berubah menjadi bencana di suatu tempat. Kedua hal itu adalah ancaman tingkat kerawanan dan kapasitas. Dua hal itu menentukan besarnya risiko yang harus ditanggung jika bencana terjadi. Bayangkan keadaan kota Padang sebelum terjadinya bencana gempa bumi 30 September 2009. Kota Padang memiliki dua sumber ancaman bencana gempa bumi. Di sebelah barat Padang terdapat jalur subduksi yang sering menimbulkan gempa bumi. Di sebelah timur Padang terdapat Patahan Sumatera yang juga sering menimbulkan gempa bumi. Kerawanan terhadap bencana gempa bumi di Kota Padang disebabkan oleh banyaknya bangunan berlantai satu atau bertingkat yang bisa roboh karena guncangan. Kerawanan itu semakin besar karena Padang memiliki populasi yang besar. Jika bangunan-bangunan itu roboh akibat guncangan gempa bumi maka risiko kerugian harta dan jiwa akan sangat besar. Namun risiko itu dapat diperkecil jika Kota Padang dan warganya memiliki kapasitas yang cukup untuk mengurangi risiko itu. Kita tahu, gempa bumi sebenarnya tidak pernah secara langsung menyebabkan kematian. Kematian dalam bencana gempa bumi umumnya disebabkan oleh robohnya bangunan, kebakaran atau tanah longsor. Gempa bumi Padang 30 September 2009 memberi pelajaran berharga pada kita semua bahwa risiko dalam bencana gempa bumi sebenarnya disebabkan oleh rapuhnya bangunan dan tanah longsor. Risiko yang lain dapat ditimbulkan oleh rendahnya tingkat kesiapsiagaan masyarakat sehingga mereka tidak tahu tindakan yang tepat yang harus dilakukan sesaat setelah guncangan terjadi. Seandainya saja, pemerintah dan masyarakat Kota Padang sudah tahu dimana potensi tanah longsor dapat terjadi ketika ada gempa bumi, dan tidak menghuni lokasi-lokasi itu maka berarti mereka telah memiliki kapasitas yang cukup untuk mengurangi risiko bencana gempa bumi akibat tanah longsor. Jika masyarakat Padang sudah tahu dan mampu membangun rumah dan bangunan yang ramah gempa bumi, risiko korban jiwa akibat tertimpa bangunan roboh dapat dikurangi. Kerugian harta akibat hancurnya bangunan juga dapat dikurangi. Ini berarti masyarakat telah memiliki kapasitas untuk mengurangi risiko bencana gempa bumi akibat robohnya bangunan.

Karena ditakdirkan berada di pertemuan tiga lempeng besar, wilayah Indonesia memiliki ancaman bencana gempa bumi hampir di seluruh pulau-pulainya. Pulau Kalimantan barangkali adalah perkecualiannya. Ini karena tidak ada jalur subduksi aktif di sekitar Pulau Kalimantan. Sayangnya, tingkat kerawanan bencana gempa bumi di wilayah Indonesia juga sangat tinggi. Ini terutama karena besarnya populasi dan banyaknya bangunan-bangunan. Pada sisi lain pemerintah dan masyarakat secara umum belum punya kemampuan yang cukup untuk mengurangi risiko korban jiwa dan harta akibat bencana gempa bumi. Ini karena ketidakmampuan masyarakat Indonesia dalam membangun rumah dan bangunan ramah gempa bumi dan ketidakmampuan pemerintah dalam membuat dan menegakkan aturan kode etik bangunan ramah gempa. Gempa bumi Yogyakarta tahun 2006 adalah contoh ironis yang menunjukkan

kurangnya kapasitas untuk mengurangi risiko bencana gempa bumi. Anda tentu masih ingat bahwa gempa bumi Yogyakarta memiliki magnitudo tidak lebih dari 6 skala Richter. Namun guncangannya telah menyebabkan ribuan rumah dan bangunan hancur dan lebih dari 6000 nyawa melayang.

Gempa bumi Yogyakarta memberi pelajaran lain kepada kita tentang kerawanan bencana gempa bumi yang ditimbulkan oleh kekuatan tanah. Secara teoritis gempa bumi dengan 6 skala Richter mestinya tidak menimbulkan guncangan yang terlalu kuat dan terlalu lama. Namun yang terjadi justru sebaliknya. Banyak ilmuwan menduga hal itu terjadi karena faktor kekuatan tanah. Yogyakarta, dulunya adalah sebuah teluk besar. Teluk ini kemudian berubah menjadi daratan karena terisi oleh endapan Gunung Merapi. Karena endapan ini belum terlalu terkonsolidasi, gempa bumi yang tidak terlalu besar dapat memicu guncangan yang relatif kuat dan lama. Kondisi ini dapat diibaratkan dengan mangkuk yang diisi bubur. Jika mangkuk digoyang atau digoncangkan dan kemudian diletakkan, mangkuk itu akan segera diam, namun bubur di dalamnya yang lunak akan masih bergerak selama beberapa saat. Kerusakan bangunan yang cukup parah di Kota Padang kemungkinan juga ada kaitannya dengan kondisi itu. Kota Padang berada di atas dataran pantai muda yang juga masih belum terlalu terkonsolidasi. Bandingkan dengan gempa bumi Bengkulu September 2007 yang memiliki magnitudo di atas 8 skala Richter. Kerusakan dan korbannya lebih sedikit jika dibandingkan dengan yang dialami Padang dan Yogyakarta. Berbeda dari Padang dan Yogyakarta, meskipun sama-sama berada di pantai, Kota Bengkulu berada di atas tanah yang berumur lebih tua dan lebih kuat sehingga efek guncangan gempabuminya lebih teredam oleh sifat batuan yang lebih kuat di bawahnya.

Yang perlu menjadi perhatian kita semua adalah bahwa banyak kota-kota besar berpenduduk padat di Indonesia terletak di tepi pantai dengan kondisi tanah yang serupa dengan Padang dan Yogyakarta. Jakarta, Banda Aceh, Bandung, Surabaya, Makassar, Palu, adalah diantaranya. Banyak lagi kota-kota kecil lain yang memiliki kondisi tanah demikian. Haruskah bencana gempa bumi Yogyakarta dan Padang terulang di kota-kota itu ?

### *Ketika Bumi Berguncang*

Ada sebuah persepsi yang diterima secara luas bahwa Ilmu pengetahuan alam dan ilmu pengetahuan sosial adalah dua karakter yang berbeda. Dua budaya, demikian istilah yang digunakan oleh C.P. Snow (1959). Dalam sebuah novel yang ditulis Trevanian, dua karakter berbeda itu dipersonifikasikan seolah saling menghujat yang terjemahan bebasnya kurang lebih seperti ini: “hati-hatilah terhadap ilmu murni (ilmu pengetahuan alam). Kemurnian mereka tampak seperti rahib-rahib kuno, kurang darah dan tak bergairah. Berpihaklah kepada ilmu-ilmu sosial yang meskipun kebenaran hakikinya sulit untuk dideskripsikan dan bukti-bukti yang dikemukakan juga seringkali rapuh, namun terdapat nafas kehidupan di dalamnya”.

Di Universitas Wesleyan, Zelinga de Boer berusaha untuk mengakurkan dua pertentangan itu dalam sebuah mata kuliah yang diampunya tentang ‘bencana-bencana geologi’. Di depan mahasiswa-mahasiswa jurusan *liberal-arts* dia menunjukkan bahwa ilmu pengetahuan alam khususnya ilmu kebumihuman bukanlah ilmu mati tak berjiwa. Dia menunjukkan bahwa bumi juga hidup dan bernafas, layaknya manusia. Dan tanda-tanda kehidupannya diantaranya adalah letusan gunung api dan gempa bumi. Dan bumi dengan tanda-tanda kehidupannya bumi itu telah mempengaruhi bukan hanya hidup manusia tapi juga budayanya. Bahkan perjalanan sejarah manusia tidak lepas dari pengaruh ‘nafas’ bumi itu.

Gempabumi, sebuah fenomena alam yang menakutkan bagi manusia sejak dulu kala. Kedatangannya selalu tak terduga. Tak terduga waktunya, tak terduga tempatnya, tak terduga kekuatannya. Guncangan-guncangannya membangkitkan rasa keingintahuan manusia tentang penyebabnya. Filsuf Yunani Aristoteles mencoba menjelaskan secara rasional tentang gempabumi. Dia percaya bahwa guncangan gempabumi terjadi karena adanya hembusan angin kencang masuk ke dalam bumi melewati gua-gua dan retakan-retakan. Tekanan angin itu menyebabkan bumi berguncang. Dalam kepercayaan India kuno, bumi berada di atas punggung kura-kura yang diam. Gempabumi akan terjadi jika kura-kura itu bergerak. John Michel seorang professor geologi di Universitas Cambridge mengamati gempabumi hebat di Lisbon yang terjadi pada tahun 1755. Dalam bukunya yang ditulis tahun 1760, dia menyimpulkan bahwa gempabumi Lisbon itu disebabkan oleh bergesernya batuan yang berada beberapa kilometer di bawah permukaan bumi. Tahun 1793, Benjamin Franklin, salah satu ilmuwan terkemuka saat itu, berusaha menjelaskan mekanisme pergeseran massa batuan di bawah permukaan bumi dengan mengatakan:

“ Saya....membayangkan bahwa di dalam bumi ada bagian bumi yang menyerupai fluida, dan memiliki kepadatan lebih tinggi daripada bagian keras yang kita kenal di permukaan. Bagian keras dari bumi mungkin mengapung di dalam atau di atas fluida itu. Dengan demikian, permukaan bumi ibarat lapisan kulit yang bisa pecah dan terganggu akibat pergerakan-pergerakan fluida yang ada di bawahnya”.

Perlu waktu lebih dari satu abad sebelum para ilmuwan menemukan bukti meyakinkan tentang hubungan antara massa batuan yang bergeser dan kejadian gempabumi. Pada tahun 1891, sebuah guncangan kuat yang kemudian dikenal sebagai gempabumi Mino-Owari terjadi di Pulau Honshu, Jepang. Gempabumi ini menyisakan sebuah zona hancuran memanjang memotong Pulau Honshu. Zona ini ditandai oleh retakan-retakan di permukaan bumi dari Laut Jepang di utara hingga Samudera Pasifik di selatan. Di beberapa tempat terbentuk tebing-tebing setinggi beberapa meter akibat terangkatnya permukaan bumi yang patah. Dari bukti-bukti itu, Bunjiro Koto, menyimpulkan bahwa guncangan gempabumi disebabkan oleh pecahnya bagian kerak bumi.

Pada awal abad ke-20 dengan mempelajari waktu penjalaran gelombang gempabumi, para ilmuwan menyimpulkan bahwa di dalam bumi terdapat bagian yang bersifat padat, ada berwujud lelehan di bagian tengahnya yang dikelilingi oleh bagian yang kurang padat yang disebut mantel. Di atas mantel ini terdapat lapisan kerak tipis berbatu, menyerupai kulit. Di bawah benua, lapisan kerak ini tebalnya bisa beberapa kilometer sementara di bawah samudera jauh lebih tipis. Jadi mirip buah apel. Jika apel dibelah, didalamnya terlihat lingkaran inti berukuran kecil yang terisi biji apel. Di atas inti itu terdapat mantel berupa daging apel tebal. Di atas mantel terdapat kulit apel yang sangat tipis. Namun perlu kita ingat, proporsi inti, mantel dan kerak bumi berbeda dari proporsi inti, daging buah, dan kulit apel.

Pada tahun 1960-an, para ahli geologi mulai memahami bahwa permukaan bumi terbagi menjadi lempengan-lempengan yang getas. Ada yang berukuran besar dan ada yang berukuran kecil. Lempengan-lempengan itu bergerak sangat lambat di atas sebuah lapisan plastis mantel bumi. Kecepatan pergerakannya tidak lebih cepat dari kecepatan pertumbuhan kuku manusia. Namun pergerakan inilah yang bertanggung jawab terhadap sebagian besar kejadian gempabumi. Sebagian gempabumi yang lain disebabkan oleh aktivitas gunung api. Inilah yang kita kenal sebagai teori tektonik lempeng. Teori ini memicu revolusi dalam ilmu geologi karena berbagai fenomena geologi dapat dijelaskan dengan teori ini.

Lempeng-lempeng tektonik tersusun oleh material batuan yang keras yang menyusun kerak bumi di bagian atasnya, dan bagian bawahnya adalah lapisan tipis yang merupakan bagian paling atas dari mantel bumi. Inilah yang biasa disebut lapisan litosfera (dalam bahasa Yunani *lithos* berarti batu). Bagian plastis dibawah litosfera yang merupakan bagian dari mantel bumi disebut lapisan astenosfera (dalam bahasa Yunani, *asthenos* berarti lemah). Gerakan lempeng-lempeng tektonik diduga disebabkan oleh adanya arus konveksi di dalam lapisan mantel bumi. Arus konveksi ini diduga terbentuk akibat adanya pemanasan yang bersumber dari inti bumi. Bayangkan air yang dipanaskan dalam teko di atas kompor. Air di bagian bawah teko akan lebih panas sehingga berat jenisnya berkurang. Air ini akan mengalir naik. Sementara air di permukaan yang lebih dingin memiliki berat jenis lebih besar, akan turun. Karena pemanasan berlangsung terus, bagian air di bagian bawah akan selalu memiliki berat jenis lebih kecil dari air di bagian atas. Dengan demikian terjadilah aliran air yang disebut aliran konveksi. Hal demikianlah yang diduga terjadi di dalam bumi, meskipun dalam kecepatan aliran yang jauh lebih lambat.

Lempeng-lempeng tektonik itu bisa jadi saling bertabrakan, saling menjauh atau bergesekan. Batas-batas lempeng yang menunjukkan gerakan saling menjauh terdapat di sepanjang punggung-punggungan samudera (terletak di bawah samudera). Di sini, lelehan magma keluar dari astenosfera ke permukaan bumi melalui retakan-retakan, membentuk kerak bumi baru yang disebut kerak samudera. Kerak samudera ini lebih padat sehingga lebih berat daripada kerak benua.

Ketika lempeng samudera bertabrakan dengan lempeng benua, lempeng samudera yang lebih berat akan menunjat dan menyelusup di bawah lempeng benua. Inilah yang biasa disebut sebagai proses subduksi. Proses inilah yang terjadi di wilayah Indonesia. Di bagian barat Indonesia, lempeng samudera Indo-Australia menunjat di bawah lempeng samudera Eurasia. Di bagian timur Indonesia, lempeng samudera Pasifik menunjat di bawah lempeng benua Eurasia. Subduksi ini mengakibatkan rantai gunung berapi memanjang dari Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, kemudian berbelok ke utara ke Maluku dan berlanjut ke Sulawesi. Subduksi ini pula yang menyebabkan gempa bumi sering terjadi di wilayah Indonesia.

Ketika dua lempeng benua yang memiliki berat jenis sama saling bertabrakan maka kedua lempeng akan terangkat sehingga membentuk pegunungan tinggi seperti Pegunungan Himalaya. Himalaya terbentuk akibat tabrakan lempeng Benua India dengan Lempeng Benua Eurasia. Tabrakan dua lempeng benua ini juga menyebabkan gempa bumi sering terjadi di batas kedua lempeng itu.

Di California, Amerika, Lempeng Samudera Pasifik bergesekan dengan Lempeng Benua Amerika Utara. Kedua lempeng bergerak ke arah barat namun dengan kecepatan berbeda. Lempeng Pasifik bergerak lebih cepat daripada Lempeng Amerika Utara. Akibatnya, terjadilah gesekan yang juga sering menimbulkan gempa bumi.

Namun, bukan hanya di batas-batas lempeng saja gempa bumi sering terjadi. Kekuatan yang mampu membentuk lempeng-lempeng baru dan menggerakkan lempeng-lempeng juga sekaligus mampu merobek suatu lempeng menjadi dua bagian. Inilah yang terjadi di pinggir timur Afrika. Di sini, Lempeng Arab terpecah dari Lempeng Afrika sehingga terbentuklah Laut Merah. Akibatnya, gempa bumi juga sering terjadi di daerah ini.

Gempa bumi disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba ketika selip terjadi di retakan di kerak bumi. Energi itu terkumpul akibat tekanan oleh pergerakan tektonik. Tekanan ini menyebabkan tegangan di kerak bumi. Ketika tegangan itu sudah melewati batas elastisitas kerak, maka kerak akan patah sehingga terlepaslah energi itu. Tempat kerak yang terpecahkan

dimana gempa bumi berasal itulah yang disebut *hypocenter*. Titik proyeksi *hypocenter* ke permukaan bumi disebut *epicenter*. Gelombang energi gempa bumi yang dilepaskan akibat kerak yang patah akan merambat melalui kerak dengan dua mekanisme yaitu Gelombang P (*Push-Pull* – tarik dan ulur) dan Gelombang S (*Shear* – Geser). Gerakan gelombang P menyebabkan kerak bumi bergerak berulang memanjang dan memendek searah dengan arah gerakan gelombangnya. Sementara gerakan Gelombang S menyebabkan kerak bumi bergerak bergeser ke kiri dan ke kanan tegak lurus terhadap arah gerakan gelombangnya. Gelombang P dan S masing-masing memiliki kecepatan 5 dan 3 kilometer per detik. Itulah sebabnya Gelombang P sampai ke seismograf lebih cepat dari Gelombang S, sehingga Gelombang P sering disebut sebagai gelombang primer dan gelombang disebut sebagai gelombang sekunder.

Ketika mencapai permukaan bumi, gelombang gempa bumi merambat dalam dua jenis pergerakan yang disebut sebagai Gelombang Rayleigh dan Gelombang Love. Rayleigh adalah nama seorang ahli fisika Inggris (Baron Rayleigh), Loves adalah nama seorang ahli matematika Inggris (A.H. Love). Gelombang Rayleigh menyebabkan permukaan bumi bergerak naik dan turun. Gelombang Love menyebabkan permukaan bumi bergerak ke samping kiri dan kanan. Kedua gelombang ini memiliki frekuensi yang lebih rendah daripada Gelombang P dan S, namun memiliki amplitudo yang lebih besar. Kedua gelombang inilah yang bertanggung jawab terhadap segala kerusakan ketika gempa bumi terjadi.

### *Berbincang dengan Terumbu Karang*

Salah satu mimpi yang ingin dicapai manusia adalah menguasai ilmu dan teknologi yang yang dapat memprediksi gempa bumi yang akan terjadi secara akurat. Berbagai metode dicoba, berbagai pendekatan dilakukan. Ada yang mencoba mengamati perubahan medan elektromagnet di udara sebelum dan sesudah gempa bumi terjadi. Ada yang mengamati perubahan daya hantar listrik di dalam tanah, ada yang mengamati perilaku hewan dan ada pula yang mencoba berbincang dengan terumbu karang. Kalau tiga hal yang pertama dilakukan untuk mengenali tanda-tanda sebelum gempa bumi terjadi, hal terakhir dilakukan untuk mengetahui kebiasaan atau perilaku gempa bumi di masa lalu yang terekam di dalam terumbu karang dan tanah. Harapannya, dengan mengetahui rekaman perilaku gempa bumi di masa lalu kita dapat menemukan pola yang dapat digunakan untuk menduga perilaku gempa bumi di masa datang.

Keberadaan terumbu karang di sepanjang pantai pulau-pulau yang berada di sebelah barat Pulau Sumatera memancing rasa penasaran Dr. Danny Hilman, seorang peneliti kegempaan purba dari Puslit Geoteknologi LIPI. Dia berkeinginan bisa menginterogasi terumbu karang tentang gempa bumi-gempa bumi yang pernah melandanya di masa lalu. Terumbu karang, terutama genus *Porites* punya kemampuan mencatat kejadian gempa bumi di masa lalu karena gempa bumi itu kadang mengangkatnya ke atas permukaan, tapi kadang menenggelamkannya lebih jauh ke dalam air laut.

*Porites* pertumbuhan vertikalnya dibatasi oleh permukaan air laut. Jika sudah mencapai permukaan air laut, hewan ini hanya mampu tumbuh ke arah samping. Gempa bumi kadang menyebabkan sebagian kerak bumi terangkat. Jika di bagian itu terdapat terumbu karang, maka terumbu karang itu akan ikut terangkat. Jika *Porites* yang mengalaminya, bagian yang terangkat di atas permukaan air laut dari hewan itu akan berhenti tumbuh dan mati. Namun bagian yang masih terendam air laut akan terus tumbuh ke arah samping. Dengan demikian, setelah beberapa puluh tahun setelah gempa bumi, kita akan mendapati koral itu berbentuk seperti topi *cowboy* yaitu tinggi di bagian tengahnya dan lebih rendah di bagian pinggirnya. Jika kemudian terjadi

gempabumi yang menenggelamkan *Porites* itu, *Porites* baru akan tumbuh menutupi semua permukaan yang tenggelam itu termasuk menutupi bagian yang semula sudah mati. Jika tubuh *Porites* ini kita sayat, kita akan mendapati garis batas yang jelas antara *Porites* yang sedang tumbuh dengan bagian yang telah lama mati. Jika kita ambil sampel dari batas itu dan kita tentukan umurnya dengan metode radioaktif maka kita dapat mengetahui waktu terjadinya gempabumi baik yang telah mengangkat maupun yang telah menenggelamkan daratan. Jika gempabumi berulang kali mengangkat dan menurunkan *Porites* itu, banyak sekali garis batas-garis batas pertumbuhan yang akan kita temukan jika tubuh *Porites* itu disayat. Semakin banyak garis batas yang kita temukan semakin beruntunlah kita karena berarti semakin banyak informasi tentang gempabumi purba yang direkam oleh *Porites* itu. Dengan demikian akan semakin baiklah pemahaman kita tentang perilaku gempabumi itu di masa lalu.

### *Tips Menghadapi Gempabumi*

Meskipun telah beberapa dekade penelitian tentang gempabumi dilakukan di seluruh dunia, hingga saat ini belum ditemukan satu teknologi pun yang dapat digunakan untuk meramalkan dengan tepat waktu terjadinya gempabumi. Penelitian-penelitian geologi dan geofisika baru mampu memprediksi kejadian gempabumi di masa depan dengan tingkat keakuratan yang sangat rendah. Semua hasil prediksi gempabumi saat ini dengan metode apapun maknanya tidak lebih dari peringatan bahwa kita harus siap menghadapi kemungkinan gempabumi yang bisa terjadi sewaktu-waktu. Hal itu setara dengan kesadaran bahwa tanah dimana kita berpijak memang berada di daerah dimana gempabumi memang sering terjadi. Jadi, lupakan sejenak prediksi-prediksi itu karena bagaimanapun ada atau tidak ada prediksi itu jika gempabumi terjadi kita tetap harus berupaya menyelamatkan diri. Prinsip utama kesiapsiagaan adalah, rumah atau harta boleh rusak tapi jiwa harus selamat.

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menemukannya sumber-sumber ancaman bencana di sekitar rumah kita atau di sekitar tempat kita berada yang dapat muncul akibat guncangan gempabumi. Jika kita atau rumah kita berada di suatu tempat yang berada di lereng yang terjal, di sebuah lembah, di bawah tebing yang curam maka tanah longsor bisa jadi menjadi ancaman bencana jika gempabumi melanda. Jika kita atau rumah kita berada di bawah dam atau bendungan, banjir bandang akibat jebolnya bendungan bisa terjadi jika ada guncangan gempabumi. Jika rumah kita atau bangunan tempat kita berada dibangun di atas tanah yang lunak, guncangan gempabumi dapat membuat rumah atau bangunan itu amblas masuk ke dalam tanah. Jika kita berada di pantai atau danau, tsunami bisa terjadi setelah gempabumi.

Mengidentifikasi kelemahan-kelemahan dan sumber bencana potensial di dalam rumah adalah langkah kedua yang harus dilakukan. Kita harus yakin bahwa rumah kita cukup ramah gempabumi. Untuk itu kita harus meneliti kelemahan bangunan rumah kita, kemudian sesegera memperbaiki kelemahan-kelemahan itu. Kelemahan itu mungkin ada di temboknya yang kurang penguatannya atau ada di sambungan kayunya atau bahkan fondasinya. Mencari saran dari orang yang paham konstruksi adalah tindakan yang sangat bijak sebelum melakukan perbaikan-perbaikan yang diperlukan. Kelemahan yang bisa menjadi sumber ancaman bencana juga mungkin berasal dari barang-barang di dalam rumah. Barang-barang besar seperti lemari dan kulkas seyogyanya diletakkan menyandar dan diikat ke dinding sehingga tidak rubuh ketika diguncang gempabumi. Barang-barang yang berukuran agak besar yang diletakkan di atas meja juga harus diikat ke meja. Seandainya mungkin, jangan memasang lemari gantung. Kita harus mengunci lemari-lemari sehingga benda-benda yang ada di dalamnya tidak terlempar ke luar

ketika ada guncangan. Kita juga harus menguatkan ikatan barang-barang yang dipasang menempel di dinding.

Menyiapkan rencana kesiapsiagaan adalah langkah ketiga yang harus dilakukan. Kesiapsiagaan adalah tindakan-tindakan tepat yang harus dilakukan ketika guncangan gempa bumi terasa. Rentang waktu kesiapsiagaan itu sangat pendek, namun hidup mati kita bisa jadi sangat ditentukan oleh tindakan-tindakan yang tepat yang kita ambil saat itu. Merencanakan tindakan kesiapsiagaan dapat dibagi menjadi tiga bagian. Bagian pertama adalah tindakan-tindakan yang dilakukan sebelum gempa terjadi. Bagian kedua adalah tindakan yang dilakukan pada saat gempa bumi terjadi. Bagian ketiga adalah tindakan-tindakan yang dilakukan setelah guncangan reda.

Tindakan-tindakan yang masuk ke bagian pertama adalah menyiapkan tempat perlindungan, menyiapkan cara dan jalur evakuasi, menyiapkan alat peringatan terjadinya ancaman gempa bumi, menyiapkan tas khusus yang berisi makanan, air dan peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat, serta mengkomunikasikan dan mensimulasikan rencana kesiapsiagaan itu kepada seluruh anggota keluarga. Merancang pintu rumah dan pintu kamar yang membuka ke arah luar adalah tindakan yang bagus dalam kesiapsiagaan. Seringkali guncangan gempa bumi menyebabkan engsel pintu dan kunci macet. Jika pintu membuka ke arah luar maka ketika engsel dan kunci pintu macet, kita akan lebih mudah mendobraknya. Alangkah baiknya jika kita juga bisa menyiapkan peralatan yang dapat memberikan peringatan dini terhadap ancaman bencana gempa bumi. Jika di tempat kita berada terdapat lampu gantung, itu dapat menjadi deteksi yang baik terhadap terjadinya gempa bumi. Kita juga bisa dengan sengaja memasang kaleng yang diisi kerikil, kemudian digantung, sehingga ketika terjadi guncangan, kaleng tersebut akan mengeluarkan suara berisik. Alat sederhana ini akan sangat membantu jika gempa bumi melanda di malam hari atau ketika kita sedang tertidur. Kita juga dapat meletakkan kaleng tersebut di rak yang ukurannya hampir sama dengan diameter kaleng sehingga kalau ada guncangan agak kuat kaleng itu akan terjatuh. Ada baiknya kalau kita bisa menyiapkan tempat-tempat berlindung sementara di setiap ruangan di rumah kita. Tempat itu bisa berupa meja yang kuat atau tempat tidur yang kuat. Sangat baik jika tempat-tempat itu memang sengaja dibuat untuk perlindungan dari ancaman bencana gempa bumi. Namun akan lebih baik lagi kalau ada bagian bangunan yang sengaja dirancang dengan kuat sebagai tempat berlindung ketika gempa bumi terjadi. Tempat ini sangat diperlukan lebih-lebih jika ada bagian bangunan yang memerlukan waktu cukup lama untuk dapat keluar dari bangunan. Jika kita memiliki rumah tingkat, tangga rumah harus sengaja dirancang dengan kuat karena tangga ini akan digunakan sebagai jalan evakuasi bagi orang-orang yang berada di lantai atas. Penguatan di tempat-tempat perlindungan itu haruslah lebih daripada bangunan biasa. Di Jepang, kamar mandi biasanya dirancang sebagai tempat perlindungan sementara. Demikian juga dengan tangga rumah. Kalau kita sedang berada di luar rumah, kita harus mengenali tempat-tempat yang dapat kita gunakan sebagai perlindungan sementara ketika gempa bumi terjadi.

Tindakan-tindakan yang masuk bagian kedua adalah tindakan-tindakan spontan yang harus dilakukan ketika guncangan terasa. Seringkali suara berisik akibat gempa bumi menyebabkan kepanikan. Tidak panik adalah sikap pertama yang harus diambil karena kepanikan akan menyebabkan kita tidak bisa berpikir. Melindungi kepala adalah tindakan pertama yang perlu dilakukan. Kita bisa melindungi kepala dengan tas, bantal, atau barang lainnya. Mematikan kompor dan saluran gas adalah tindakan kesiapsiagaan yang tepat saat guncangan terasa. Pada banyak kejadian gempa bumi, salah satunya adalah gempa bumi Kobe tahun 1995, banyak korban jiwa justru disebabkan oleh terjadinya kebakaran. Setelah itu,



secepatnya berlindunglah di tempat yang dapat digunakan untuk perlindungan sementara ketika guncangan berlangsung. Kita harus tetap melindungi kepala dan tengkuk kita dalam posisi merunduk serendah mungkin bahkan ketika kita sudah berada di tempat perlindungan sementara. Posisi merunduk ini diperlukan supaya tubuh kita tidak terhantam oleh benda-benda yang beterbangan karena guncangan gempa bumi. Kita juga perlu memegang tempat perlindungan sementara itu supaya kita tetap terlindung ketika tempat itu bergeser akibat guncangan. Kita harus bertahan di tempat itu hingga guncangan reda.

Bagian ketiga dilakukan ketika guncangan reda. Kita dapat keluar dari tempat perlindungan dengan hati-hati, mengikuti jalur evakuasi yang telah direncanakan menuju tempat terbuka. Kita harus menjauhi tiang, pohon, benda-benda yang dapat roboh ketika guncangan gempa bumi susulan terjadi. Kita harus tetap melindungi kepala dan perlu memperhatikan benda-benda yang dapat melukai tubuh kita. Kita perlu ingat bahwa gempa bumi utama akan diikuti oleh beberapa kali gempa bumi susulan. Gempa bumi-gempa bumi susulan memiliki magnitudo lebih kecil daripada gempa bumi utamanya. Gempa bumi susulan itu dapat terjadi hingga beberapa minggu atau bulan berikutnya dengan frekuensi kejadian makin jarang.

### *Di Bawah atau di Samping Meja ?*

Beberapa waktu terakhir terjadi kebingungan di tengah-tengah masyarakat mengenai tindakan kesiapsiagaan yang tepat yang harus dilakukan ketika kita merasakan guncangan gempa bumi. Hal ini dipicu oleh beredarnya informasi terutama melalui surat elektronik mengenai teori “segitiga kehidupan” (*Triangle of Life*). Teori ini mengemukakan bahwa tindakan yang benar yang harus diambil ketika gempa bumi terjadi dan kita sedang berada di dalam sebuah bangunan adalah dengan berlindung di samping meja atau benda lain yang dapat melindungi bukan di bawahnya. Teori ini menjelaskan bahwa dengan berlindung di samping meja, masih ada sedikit ruangan yang dapat menyelamatkan kita ketika atap bangunan runtuh atau ada benda besar yang jatuh dari atas. Atap atau benda yang jatuh itu akan tertahan oleh meja dan lantai sehingga menyisakan ruangan berbentuk segitiga di antara lantai, benda yang jatuh tersebut dan sisi meja. Menurut teori ini, jika kita berlindung di bawah meja maka kita akan tergecet oleh meja yang melesak akibat tertimpa atap bangunan. Teori ini terlihat masuk akal dan sangat jelas bertentangan dengan rekomendasi umum tentang tindakan yang harus dilakukan ketika gempa bumi terjadi yaitu berlindung di bawah meja atau benda lainnya. Teori segitiga kehidupan diemukakan oleh Doug Scoup, seorang manager ARTI (*American Rescue Team International*), sebuah lembaga swadaya masyarakat yang berkedudukan di Amerika. Dia mengemukakan teori itu berdasarkan pengalamannya menangani gempa bumi di Turki dan berdasarkan percobaannya menggunakan boneka manekin. Menurut pengalaman dan percobaannya itu, semua yang berlindung di bawah meja akhirnya tergecet oleh atap bangunan yang runtuh.

Menanggapi gencarnya peredaran teori segitiga kehidupan itu, Palang Merah Amerika (PMA) kemudian mengeluarkan sebuah pernyataan resmi yang membantah teori itu. Menurut (PMA) teori itu tidak berlaku setidaknya di Amerika. PMA menunjukkan kelemahan-kelemahan asumsi yang digunakan oleh teori itu. Menurut PMA, asumsi robohnya atap bangunan dalam setiap kejadian gempa bumi tidak valid di Amerika karena pembuatan bangunan diharuskan mengikuti aturan yang ditetapkan pemerintah dan diawasi dengan ketat pelaksanaannya. Pada banyak kasus gempa bumi di Amerika, sangat jarang dijumpai sebuah bangunan yang roboh atapnya atau roboh dari atas ke bawah. Kerusakan yang paling sering terjadi adalah robohnya tembok bangunan yang berada di sisi luar. Pada kondisi demikian tindakan berlindung di bawah

meja tetap menjadi tindakan standar yang direkomendasikan oleh PMA dalam menghadapi gempa bumi.

Berdasarkan penjelasan PMA di atas, sangat jelas bahwa tindakan berlindung di bawah meja dapat dilakukan jika syarat-syarat bangunan ramah gempa terpenuhi. Jadi tindakan apa yang harus kita lakukan menghadapi gempa bumi karena kita berada di Indonesia ? Sebagai praktisi dalam pendidikan masyarakat menghadapi bencana, sebenarnya saya gamang ketika menyarankan untuk berlindung di bawah meja. Ini karena saya sadar bahwa banyak bangunan di Indonesia yang dibuat tanpa memperhitungkan ancaman gempa bumi. Aturan kode etik membuat bangunan pun tidak diawasi dengan ketat. Kita melihat kasus nyata ketika gempa bumi Padang terjadi. Banyak bangunan yang rontok dan merenggut banyak nyawa orang yang di dalamnya. Pada kasus Gempabumi Tasikmalaya, di sebuah perumahan mewah di utara Bandung banyak rumah yang tangga dan kamar mandinya runtuh. Padahal pengalaman saya di Jepang mengajarkan bahwa tangga dan kamar mandi adalah salah satu tempat evakuasi sementara, sebelum kita dapat keluar dari bangunan. Bayangkan apa yang akan terjadi jika penghuni rumah itu pernah tinggal di Jepang dan melakukan tindakan-tindakan standar penyelamatan diri dari gempa bumi seperti yang dilakukannya di Jepang.

Pendeknya, belum ada tindakan yang dapat digunakan sebagai rekomendasi standar dalam penyelamatan diri terhadap gempa bumi di Indonesia. Dengan demikian sangat baik jika kita berhati-hati dan waspada terhadap bangunan dimana kita berada. Jika kita tahu bangunan itu ramah atau tahan gempa, berlindung di bawah meja adalah tindakan yang sangat baik. Jika kita tidak tahu, kita harus mencari tahu sebelumnya. Jika tetap tidak tahu, semuanya terserah kita karena berada di bawah meja dan secepatnya berusaha keluar bangunan bisa jadi memiliki risiko yang sama: kematian.