

# BAB 4

## BAHAYA GEOLOGI

### 4.1 Pendahuluan

Proses-proses geologi baik yang berasal dari dalam bumi (endogen) maupun dari luar bumi (eksogen) dapat menimbulkan bahaya bahkan bencana bagi kehidupan manusia. Bahaya yang ditimbulkan oleh proses-proses geologi disebut dengan bencana geologi (*geological hazards*). Tanah longsor, erupsi gunung api, gempa bumi, banjir, erosi, salinasi, dan kekeringan adalah beberapa contoh dari proses geologi yang dapat berdampak pada aktivitas manusia di berbagai wilayah di muka bumi.

Berdasarkan catatan, bencana geologi yang terjadi di berbagai belahan dunia meningkat secara tajam, baik dalam tingkat dan skala kejadiannya dan berdasarkan statistik jumlah korban jiwa dan harta benda juga meningkat. Ketidaksiapan dalam menghadapi bencana, pencegahan dan mitigasi bencana merupakan isu-isu yang sangat penting pada saat ini. Dalam bab ini pembahasan bahaya geologi dibatasi hanya pada bahaya geologi yang disebabkan oleh gerakan tanah, erupsi gunung api, debris avalanche, dan gempa bumi. Keempat jenis bahaya geologi tersebut merupakan bahaya yang sering terjadi dan merupakan jenis bencana yang banyak menelan korban dan kerugian harta benda.

### 4.2 Bahaya Gerakan Tanah

Gerakan tanah adalah proses perpindahan suatu masa batuan/tanah akibat gaya gravitasi. Gerakan tanah seringkali disebut sebagai longsor dari massa tanah/batuan dan secara umum

diartikan sebagai suatu gerakan tanah dan atau batuan dari tempat asalnya karena pengaruh gayaberat (gravitasi). Gerakan tanah telah lama menjadi perhatian ahli geologi karena dampaknya banyak menimbulkan korban jiwa maupun kerugian harta benda. Tidak jarang pemukiman yang dibangun di daerah sekitar perbukitan kurang memperhatikan masalah kestabilan lereng, struktur batuan, dan proses proses geologi yang mungkin terjadi di kawasan tersebut sehingga secara tidak sadar bahaya gerakan tanah setiap saat mengancam jiwanya.

Faktor internal yang dapat menyebabkan terjadinya gerakan tanah adalah daya ikat (kohesi) tanah/batuan yang lemah sehingga butiran-butiran tanah/batuan dapat terlepas dari ikatannya dan bergerak ke bawah dengan menyeret butiran lainnya yang ada disekitarnya membentuk massa yang lebih besar. Lemahnya daya ikat tanah/batuan dapat disebabkan oleh sifat kesarangan (porositas) dan kelolosan air (permeabilitas) tanah/batuan maupun rekahan yang intensif dari masa tanah/batuan tersebut. Sedangkan faktor eksternal yang dapat mempercepat dan memicu terjadinya gerakan tanah terdiri dari berbagai sebab yang kompleks seperti sudut kemiringan lereng, perubahan kelembaban tanah/batuan karena masuknya air hujan, tutupan lahan dan pola pengolahan lahan, pengikisan oleh aliran air, ulah manusia seperti penggalian dan sebagainya.

#### 4.2.1 Tipe-tipe Gerakan Tanah

Berdasarkan tipenya, gerakan tanah dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) yaitu:

- (1). Gerakan tanah tipe aliran lambat (*slow flowage*) terdiri dari:
  - a. Rayapan (*Creep*): perpindahan material batuan dan tanah ke arah kaki lereng dengan pergerakan yang sangat lambat.
  - b. Rayapan tanah (*Soil creep*): perpindahan material tanah ke arah kaki lereng
  - c. Rayapan talus (*Talus creep*): perpindahan ke arah kaki lereng dari material talus/scree.

- d. **Rayapan batuan (*Rock creep*):** perpindahan ke arah kaki lereng dari blok-blok batuan.
  - e. **Rayapan batuan glacier (*Rock-glacier creep*):** perpindahan ke arah kaki lereng dari limbah batuan.
  - f. ***Solifluction/Liquefaction*:** aliran yang sangat perlahan ke arah kaki lereng dari material debris batuan yang jenuh air.
- (2). Gerakan tanah tipe aliran cepat (*rapid flowage*) terdiri dari:
- a. **Aliran lumpur (*Mudflow*):** perpindahan dari material lempung dan lanau yang jenuh air pada teras yang berlereng landai.
  - b. **Aliran masa tanah dan batuan (*Earthflow*):** perpindahan secara cepat dari material debris batuan yang jenuh air.
  - c. **Aliran campuran masa tanah dan batuan (*Debris avalanche*):** suatu aliran yang meluncur dari debris batuan pada celah yang sempit dan berlereng terjal.
- (3). Gerakan tanah tipe luncuran (*landslides*) terdiri dari:
- a. **Nendatan (*Slump*):** luncuran kebawah dari satu atau beberapa bagian debris batuan, umumnya membentuk gerakan rotasional.
  - b. **Luncuran dari campuran masa tanah dan batuan (*Debris slide*):** luncuran yang sangat cepat ke arah kaki lereng dari material tanah yang tidak terkonsolidasi (debris) dan hasil luncuran ini ditandai oleh suatu bidang rotasi pada bagian belakang bidang luncurnya.
  - c. **Gerakan jatuh bebas dari campuran masa tanah dan batuan (*Debris fall*):** adalah luncuran material debris tanah secara vertikal akibat gravitasi.
  - d. **Luncuran masa batuan (*Rock slide*):** luncuran dari masa batuan melalui bidang perlapisan, joint (kekar), atau permukaan patahan/sesar.
  - e. **Gerakan jatuh bebas masa batuan (*Rock fall*):** adalah luncuran jatuh bebas dari blok batuan pada lereng-lereng yang sangat terjal.
  - f. **Amblesan (*Subsidence*):** penurunan permukaan tanah yang disebabkan oleh pemadatan dan isostasi/gravitasi.

### 4.2.2 Faktor Penyebab Gerakan Tanah

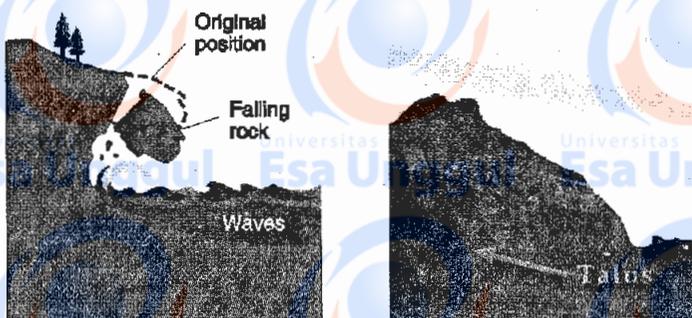
Faktor-faktor yang mempengaruhi gerakan tanah dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu faktor yang bersifat pasif dan faktor yang bersifat aktif.

**1. Faktor yang bersifat pasif pada gerakan tanah adalah:**

- Litologi: material yang tidak terkonsolidasi atau rentan dan mudah meluncur karena basah akibat masuknya air ke dalam tanah.
- Stratigrafi: perlapisan batuan dan perselingan batuan antara batuan lunak dan batuan keras atau perselingan antara batuan yang permeabel dan batuan impermeabel.
- Struktur geologi: jarak antara rekahan/joint pada batuan, patahan, zona hancuran, bidang foliasi, dan kemiringan lapisan batuan yang besar.
- Topografi: lereng yang terjal atau vertikal.
- Iklim: perubahan temperatur tahunan yang ekstrim dengan frekuensi hujan yang intensif.
- Material organik: lebat atau jarangya vegetasi.

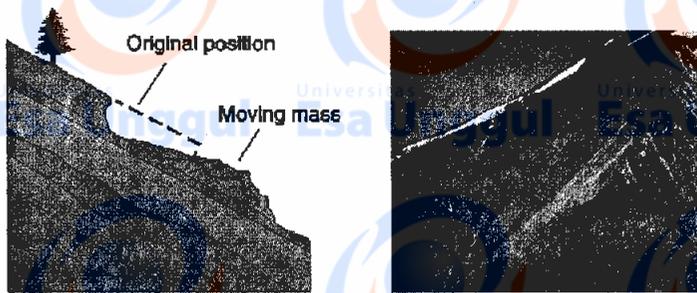
**2. Faktor yang bersifat aktif pada gerakan tanah adalah:**

- Gangguan yang terjadi secara alamiah ataupun buatan.
- Kemiringan lereng yang menjadi terjal karena aliran air.
- Pengisian air ke dalam tanah yang melebihi kapasitasnya, sehingga tanah menjadi jenuh air.

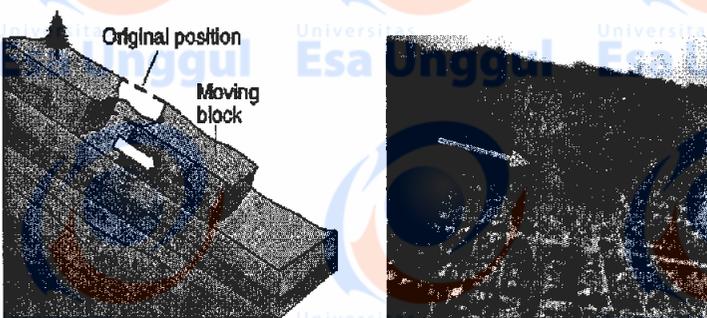


Longsor tipe runtuhan (falls)

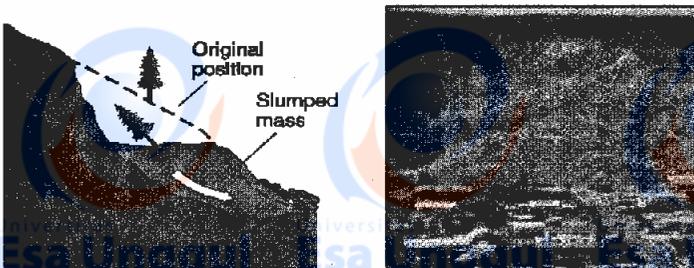
- d. Getaran-geteran tanah yang diakibatkan oleh seismisitas atau kendaran berat.



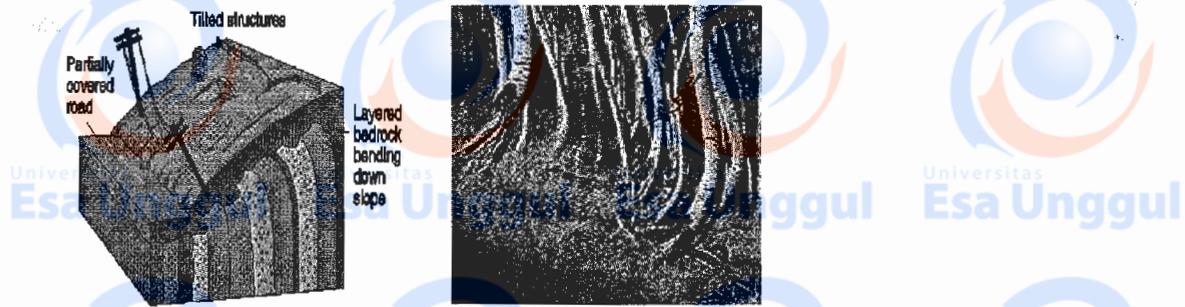
**Longsoran tipe aliran (flow)**



**Longsoran tipe luncuran(sliding)**



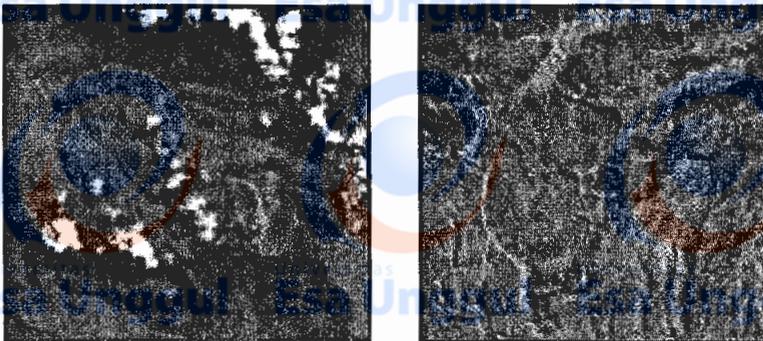
**Longsoran tipe nendatan (slumping)**



### Longoran tipe rayapan (creeping)

Gambar 4.1 Tipe-tipe gerakan tanah.

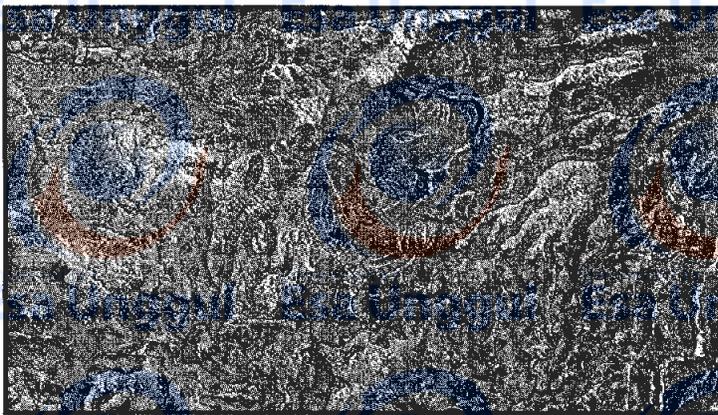
Pada citra inderaja kenampakan gejala gerakan tanah diperlihatkan oleh bentuknya yang khas seperti bentuk tapal kuda (*horse shoe shape*), gawir terjal, pola rekahan sejajar dengan tebing longsor, kelembaban tanah di lereng bawah tebing/gawir, undak topografi di sepanjang tebing sungai dan sebagainya. Meskipun tipe/jenis longoran tidak selalu dapat ditentukan dari citra, perkiraan awal masih dapat diperkirakan dari bentuk produk longoran tersebut. Pada gambar 4.2 diperlihatkan kenampakan dari bentuk gerakan tanah (tanda panah).



Gambar 4.2 Gerakan tanah di daerah kabupaten Ampana, Sulawesi Tengah (kiri) dan gerakan tanah di Cianjur Selatan, Jawa Barat (kanan).

Berdasarkan bentuk kenampakannya yang pada umumnya sangat spesifik, pembuatan peta gerakan tanah pada daerah yang

cukup luas dapat dilakukan secara cepat dengan akurasi cukup memadai. Peta gerakan tanah dari hasil interpretasi lebih lanjut dapat dilengkapi dan disempurnakan dengan melakukan survei lapangan yang lebih terarah. Contoh peta gerakan tanah dari hasil interpretasi citra inderaja diperlihatkan pada gambar 4.3. Pada peta hasil interpretasi informasi gerakan tanah seperti bentuk gawir longsor, arah longsor, pola rekahan dan bidang gelincir (*sliding plane*) serta areal longsor dapat dipetakan dengan baik. Dengan pendekatan Sistem Informasi Geografi (SIG) peta karawanan gerakan tanah dapat diintegrasikan dengan sebaran lokasi longsor yang bersumber dari Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, peta rupa bumi digital yang diterbitkan oleh BAKOSURTANAL atau dengan data lain yang mempunyai format yang sama.



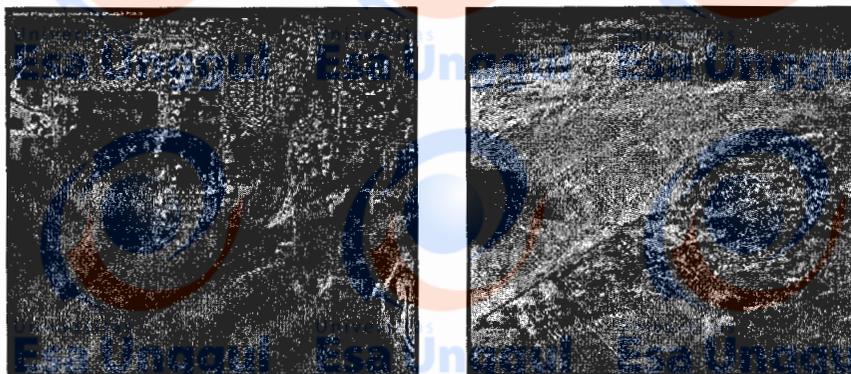
Gambar 4.3 Bentuk peta kerawanan gerakan tanah di daerah Cianjur Selatan.

### 4.2.3 Metoda Penanggulangan dan Pencegahan Bahaya Gerakan Tanah

Penanggulangan dan pencegahan bahaya gerakan tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara dan metoda, baik yang berkaitan dengan tipe dan faktor penyebab gerakan tanah. Terdapat beberapa tipe gerakan tanah yang dapat ditanggulangi dengan cara rekayasa keteknikan, seperti di wilayah perbukitan dilakukan

terasering untuk lereng yang cukup terjal atau dengan menerapkan struktur dan pondasi bangunan yang dapat menahan terjadinya gerakan tanah. Untuk mengetahui secara detil tentang tipe dan faktor dari gerakan tanah di suatu wilayah, maka diperlukan suatu penyelidikan geologi secara detail dan komprehensif sehingga dapat diketahui sebaran, lokasi, tipe dan jenis gerakan tanah serta kestabilan wilayah di daerah tersebut. Peta kestabilan wilayah dan lokasi gerakan tanah merupakan out-put dari hasil akhir penyelidikan geologi dan digunakan sebagai sumber informasi di dalam perencanaan pembangunan.

Pada gambar 4.4 diperlihatkan beberapa lokasi pemukiman yang terlanjur berada di kawasan rawan bencana geologi, terutama bahaya gerakan tanah. Dalam gambar tampak lokasi-lokasi pemukiman yang berada di sekitar suatu jalur patahan (kanan) dan pemukiman yang berada di kaki perbukitan yang rawan bencana longsor tanah (kiri). Pada gambar 4.5 tampak pembangunan pemukiman di lahan berlereng tanpa memperhitungkan faktor kestabilan lereng dan dampak dari bencana gerakan tanah yang menimpa bangunan rumah.



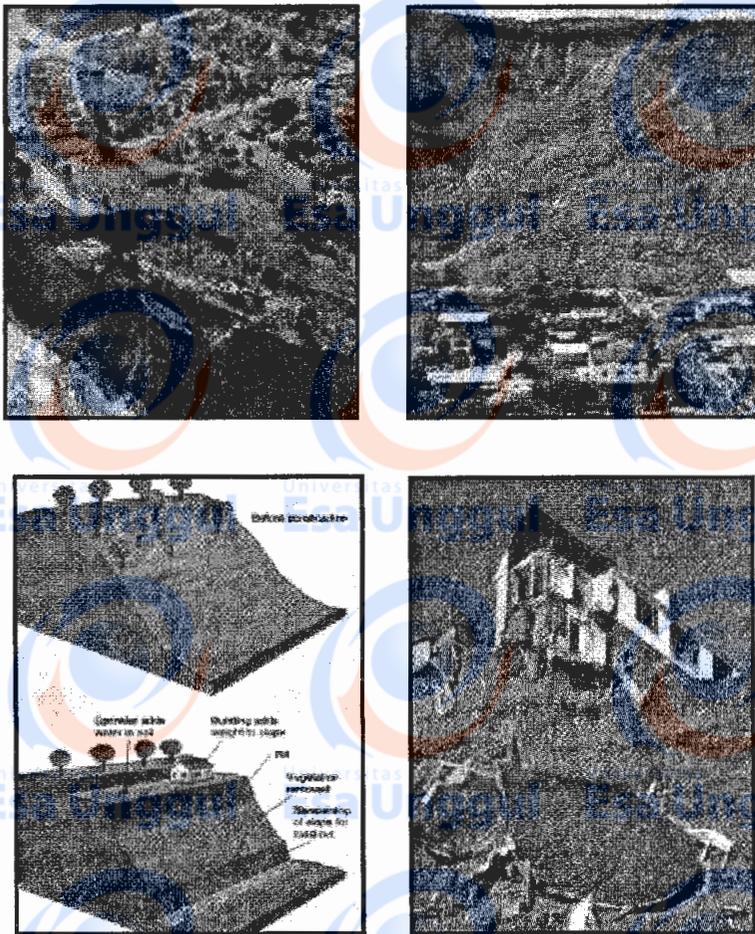
**Gambar 4.4** Memperlihatkan pemukiman yang berada di kawasan rawan bencana gerakan tanah.

Penelitian geologi untuk bencana gerakan tanah umumnya melibatkan pemetaan dan kajian tentang karakteristik tanah dan batuan. Sifat tanah/struktur tanah yang harus diteliti adalah: keke-

rasan, klastisitas, permeabilitas, plastisitas, dan komposisi mineralnya, terutama untuk tanah yang mengandung mineral lempung (mineral montmorillonite) yang dapat memicu terjadinya gerakan tanah, sedangkan untuk batuan yang dikaji adalah jenis dan struktur batuan, terutama untuk lapisan batuan yang lemah dan banyak rekahnya (kekarnya).

Faktor hidrologi juga harus menjadi perhatian dalam penyelidikan, terutama mengenai penyebaran pola pengaliran, sebaran mata air dan mata air panas, serta lapisan-lapisan batuan yang lolos air (*permeable*) yang berhubungan dengan air permukaan bawah tanah. Keterlibatan faktor pemicu gerakan tanah harus dikaji dan di evaluasi, seperti: (1). cuaca dan iklim guna mengetahui hubungan antara periode curah hujan dengan longsor; (2). data air bawah tanah sebelum dan sesudah terjadi longsor; (3). catatan kegempaan untuk menentukan hubungan antara longsor dengan gempa bumi, dan (4). catatan mengenai pembukaan dan penggalian lahan dan aktivitas di atas lahan yang kemungkinan melebihi beban atau penambangan tanah pada lereng-lereng bukit.

Penelitian bawah permukaan diperlukan guna mengetahui hubungan 3 (tiga) dimensinya dan melengkapi kebutuhan terhadap contoh-contoh batuan guna pengujian di laboratorium, seperti kuat tekan (*shear-strength*), sensitivitas, serta sifat-sifat lainnya. Begitu juga dengan sifat dan struktur tanah perlu dilakukan pengujian baik di laboratorium maupun pengujian lapangan dengan cara pembuatan sumuran uji (*testpit*), pembuatan paritan uji (*trenches*) dan pemboran. Observasi sumur air bawah tanah perlu dilakukan untuk mendapatkan data-data tinggi muka air, tekanan air, dan arah aliran. Penyelidikan geofisika dapat juga dilakukan untuk mendapatkan data data tentang ketebalan lapisan tanah dan kedalaman batuan dasar.



**Gambar 4.5** Pemukiman yang berada di kawasan rawan gerakan tanah (kiri-atas) dan areal pemukiman di La Conchita, California, USA, yang terlanda tanah longsor pada tahun 1995 (kanan atas). Gambar kiri bawah adalah perubahan penggunaan lahan di tempat berlereng untuk perumahan dan dampak longsor yang terjadi di kawasan perumahan (kanan bawah).

Pada tabel 4.1. diperlihatkan beberapa metoda penanggulangan dan pencegahan serta perbaikan terhadap gejala gerakan tanah yang ditujukan terutama untuk mengurangi gaya geser (*shear-stress*), peningkatan resistensi geser (*shear-strength*) atau kedua-

duanya. Untuk mengurangi gaya geser dapat dilakukan dengan cara penggalian material penyebab longsor, atau dengan cara mengurangi keterjalan lereng serta memindahkan permukaan tanah yang tidak stabil. Pengurangan derajat kelerengan akan berdampak pada berkurangnya beban masa batuan/tanah yang dapat meluncur atau longsor. Pemindahan masa batuan/tanah yang ada di bagian muka luncuran sekaligus akan mengurangi beban dan gaya geser. Pada tipe gerakan tanah jenis luncuran rotasional (*slumping*), resistensi geser batuan akan semakin meningkat jika masa batuan/tanah dipindahkan ke arah bagian belakang luncuran.

Menstabilkan suatu longsoran yang kompleks seringkali melibatkan pengendalian eksternal dan internal dari pengaliran air. Air yang jatuh dan mengalir di permukaan lahan yang berlereng harus di alirkan dan diusahakan jangan sampai diam ditempat. Pada beberapa lereng perlu dibuat agar supaya aliran air lancar serta dihindarkan jangan sampai air terjebak pada bagian undak lereng. Untuk mencegah aliran air yang masuk ke dalam rekahan (kekar) batuan, maka batuan harus ditutup dengan lempung, aspal atau dengan material yang impermeable. Aliran air bawah tanah harus dikurangi guna menghindari meningkatnya resistensi geser batuan. Untuk mengurangi aliran air bawah tanah dilakukan dengan cara memindahkannya melalui terowongan air yang dibuat secara horizontal atau dengan bantuan pipa perforasi, sumur vertikal atau dibuat paritan (*trench*) yang diisi kembali dengan material yang kasar dan permeable.

Menstabilkan struktur untuk meningkatkan resistensi geser merupakan cara yang paling efektif sebelum longsoran terjadi dibandingkan apabila longsoran sudah terjadi. Jenis yang sangat umum dari masa batuan/tanah diletakkan sebagai beban dan ditempatkan pada bagian luar dari masa longsoran untuk menahan reaksi gerakan ke atas, sedangkan bagian dasar berfungsi sebagai penopang kearah lateral untuk bagian tepi dari masa longsoran, bagian pinggir atau lereng yang sudah dikupas diisi untuk mencegah gerakan ke arah kaki lereng. Dinding yang dibuat dari se-

men atau beton akan berguna untuk menahan laju masa batuan/tanah yang tidak stabil.

Untuk gerakan tanah yang berada di lereng bukit, pencegahan dapat dilakukan dengan cara memasang tiang pancang, namun demikian untuk menahan luncuran masa batuan/tanah yang aktif pemasangan tiang pancang tidak akan mampu menahan gerakan masa batuan/tanah tersebut dan hal ini disebabkan karena perpindahan debris tanah yang mampu melewati tiang pancang, atau membuat tiang pancang menjadi miring dan bahkan mematahkannya. Hal yang lebih ekstrim adalah tiang pancang meluncur bersamaan dengan luncuran tanah. Resistensi geser pada masa batuan atau tanah yang tidak stabil dapat meningkat karena pemadatan dan pengerasan internal melalui injeksi semen, aspal atau bahan kimia tertentu.

Masalah longsoran yang terjadi di reservoir bendungan adalah masalah yang berkaitan dengan luncuran masa batuan/tanah yang bersifat lepas dan erosi yang cepat. Luncuran masa batuan/tanah dan erosi di dalam reservoir bendungan dapat mengakibatkan banjir yang cukup besar dan bahkan bendungan dapat mengalami retak atau hancur. Kecepatan rembasan yang terjadi melalui luncuran debris dapat memperbesar rembasan, yaitu melalui pelarutan atau perpindahan sedimen yang berukuran halus dan dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya breakout dibawah poros bendungan.

Pengendalian rembasan yang melewati badan bendungan dari jenis luncuran debris dapat dilakukan dengan cara menyuntik material/bahan penstabil atau dengan cara bagian belakang bendungan ditutupi dengan material lempung, disiram semen, atau dilapisi oleh bahan yang bersifat tidak lolos air. Apabila cara-cara tersebut diatas tidak bisa dilakukan maka disarankan untuk dilakukan pendangkalan bagian dasar reservoir agar supaya keamanan menjadi meningkat atau dengan cara menguras atau mengalirkan air yang terdapat dalam reservoir melalui saluran pembuangan atau dengan cara memotong saluran.

Tabel 4.1 Metoda pencegahan dan perbaikan gerakan tanah (Root, A.W., *Prevention of Landslides*, 1958).

Dampak terhadap stabilitas	Metoda Pencegahan	Pemakaian Umum		Frekuensi keberhasilan pada longsor jenis			Lokasi dan Posisi Pencegahan Longsor	Penerapan terbaik dan keterbatasan
		Pencegahan	Perbaikan	Runtuhan	Luncuran	Aliran		
Tidak Efektif	I. Metoda Menghindar:							
	A. Relokasi	X	X	2	2	2	Di bagian sisi luar dari bidang luncuran (slide plain)	Metoda yang baik jika lokasi pengganti lebih ekonomis.
	B. Bridging	X	X	3	3	3	Di bagian sisi luar dari bidang luncuran (slide plain)	Terutama untuk lokasi berlereng terjal dan berbukit-bukit
Mengurangi Gaya Geser / Shear Stress	II. Metoda Penggalian:							
	A. Pemindahan lereng	X	X	N	1	N	Bagian depan dari masa yang bergerak	Masa bagian bawah yang bersifat kohesif
	B. Melandaikan lereng	X	X	1	1	1	Di atas jalan atau struktur	Lapisan batuan; masa tanah/batuan yg kohesif dimana sebagian berpindah ke lokasi yang bergerak.
	C. Memberongong lereng	X	X	1	1	1	Di atas jalan atau struktur	Perpindahan masa tanah/ batuan yang relatif dangkal dan kecil.
	D. Memindahkan material tidak stabil	X	X	2	2	2	Keseluruhan dari masa yang meluncur (sliding)	
	III. Pengaliran air:							
	A. Air Permukaan:							
	1. Membuat saluran air	X	X	1	1	1	Bagian atas	Terutama untuk setiap jenis Gerakan tanah

Dampak terhadap stabilitas	Metoda Pencegahan	Pemakalan Umum			Frekuensi keberhasilan pada longsor jenis			Lokasi dan Posisi Pencegahan Longsor	Penerapan terbaik dan keterbatasan
		Pencegahan	Perbaikan	Umum	Rur-tuhan	Lun-curan	Aliran		
Mengurangi Gaya Geseran meningkatkan Resistensi Geser	2. Pengendalian lereng	X	X	X	3	3	3	Dipermukaan masa yang bergerak Dipermukaan masa yang bergerak Keseluruhan dari masa yang bergerak  Keseluruhan dari masa yang bergerak  Di antara bagian air bawah permukaan yang bergerak  Masa tanah yang tebal terhadap air bawah tanah Masa tanah relatif dangkal terhadap air bawah tanah Masa tanah yang sangat tebal dan bersifat lolos air (permeable). Masa longsor yang dalam, air bawah tanah berada pada berbagai jenis lapisan batuan Dipakai sebagai jalan keluar air pada peritiran atau sumur	
	3. Memundurkan lereng	X	X	X	1	1	1		
	4. Menutup Retakan	X	X	X	2	2	2		
	5. Menutup bidang kekar dan jalur retakan	X	X	X	3	3	N		
	B. Air Bawah Permukaan	X	X	X	N	2	1		
	1. Pengaliran hori-zontal	X	X	X	N	1	2		
	2. Pengaliran lewat paritiran	X	X	X	N	1	N		
	3. Terowongan	X	X	X	N	3	N		
	4. Pengaliran dengan sumur vertikal	X	X	X	N	3	N		
	5. Mengalirkan melalui pipa	X	X	X	N	2	1		
IV. Menstabilkan struktur gesekan:									
A. Memperkuat bagian kaki lereng dengan:									

Dampak terhadap stabilitas	Metoda Pencegahan	Pemakaian Umum		Frekuensi keberhasilan pada longsor jenis			Lokasi dan Posisi Pencegahan Longsor	Penerapan terbaik dan keterbatasan
		Pencegahan	Perbaikan	Run-tuhan	Lun- curan	Aliran		
Meningkatkan Resistensi Geser	1. Pengisian dg batu	X	X	N	1	1	Masa yang bergerak dan kaki lereng	Batuan/tanah padat pada kedalaman tertentu.
	2. Pengisian dg tanah	X	X	N	1	1	Masa yang bergerak dan kaki lereng	Mengurangi beban pada bagian yang bergerak untuk menambah resistensi batuan/tanah
	B. Membangun tembok/ dinding penahan	X	X	3	3	3	kaki lereng	Memindahkan masa tanah yang relatif kecil
	C. Tiang Pancang:			N	3	N	kaki lereng	Resistensi geser pada bidang luncur meningkat akibat pemancangan tiang pancang.
	1. Tetap pada permukaan			N	3	N	kaki lereng	Lapisan batuan tetap bersama dengan tiang yang ditanam
2. Tidak tetap pada bidang luncur			3	3	N	Di atas jalan atau struktur	Lereng yang lemah diberi peryangga atau tiang pancang hingga ke dasar lapisan yang keras	
	D. Menanam tiang pancang pada batuan	X	X	3	3	N	Di atas jalan atau struktur	
	E. Pengendalian lereng	X	X	3	3	N	Di atas jalan atau struktur	
	V. Metoda lainnya:							
	A. Pemadatan material longsor							
	1. Penyesuaian dgn bebeton/bahan kimia							

Dampak terhadap stabilitas	Metoda Pencegahan	Pemakaian Umum		Frekuensi keberhasilan pada longsoran jenis			Lokasi dan Posisi Pencegahan Longsor	Penerapan terbaik dan keterbatasan
		Pencegahan	Perbaikan	Run-tuhan	Lun-curan	Aliran		
Terutama untuk meningkatkan Resistensi Gener	a. Kaki lereng		X	3	3	3	Masa yang bergerak dan kaki lereng	Tanah yang bersifat tidak kohesif
	b. Bagian yang bergerak		X	N	3	N	Seluruh bag dari masa batuan	Tanah bersifat tidak kohesif
	2. Freezing	X		N	3	3	Keseluruhan	Untuk pencegahan sementara
	3. Electroosmosis	X		N	3	3	Keseluruhan	Tanah menjadi keras akibat kandungan air berkurang
	B. Peledakan		X	N	3	N	Separuh dari bagian masa yang bergerak	Masa kohesif tanah yang dangkal di atas lapisan batuan
	C. Memindahkan sebagian masa luncuran ke tempat yang bergerak			N	N	N	Bagian kaki lereng dan bagian yang bergerak	Permukaan bidang luncur terganggu, ledakan dapat mengakibatkan mengalirnya air ke masa longsor

Catatan : 1 = Sering 2 = Kadang-kadang 3 = Jarang N = Tidak disarankan untuk diterapkan



## 4.3 Bahaya Gunung Api

Bahaya Gunung api adalah bahaya yang ditimbulkan oleh letusan/kegiatan gunung api, berupa benda padat, cair dan gas serta campuran diantaranya yang mengancam atau cenderung merusak dan menimbulkan korban jiwa serta kerugian harta benda dalam tatanan (lingkungan) kehidupan manusia.

### 4.3.1 Dampak Letusan Gunung Api Terhadap Lingkungan

#### 1. Dampak Negatif

- a. Bahaya langsung, terjadi pada saat letusan (lava, awan panas, jatuhnya piroklastik/bom, lahar letusan dan gas beracun).
- b. Bahaya tidak langsung, terjadi setelah letusan (lahar hujan, kelaparan akibat rusaknya lahan pertanian/perkebunan/perikanan), kepanikan, pencemaran udara/air oleh gas racun: gigi kuning/ keropos, endemi gondok, kecebolan dsb.

#### 2. Dampak Positif

- a. Bahan galian: seperti batu dan pasir bahan bangunan, peralatan rumah tangga, patung, dan lain lain.
- b. Mineral: belerang, gipsum, zeolit dan juga mas (*epitermal gold*).
- c. Energi panas bumi: listrik, pemanas ruangan, agribisnis
- d. Mata air panas: pengobatan/terapi kesehatan.
- e. Daerah wisata: keindahan alam
- f. Lahan yang subur: pertanian dan perkebunan
- g. Sumberdaya air: air minum, pertanian/peternakan, dll.

## 4.3.2 Bahaya Gunung Api

### 1. Awan panas

- a. Awan Panas: Kecepatan sekitar 60 – 145 km/jam, suhu tinggi sekitar 200° – 800°C, jarak dapat mencapai 10 km atau lebih dari pusat erupsi, sehingga dapat menghancurkan bangunan, menumbangkan pohon-pohon besar (pohon-pohon dapat tercabut dengan akarnya atau dapat terpotong pangkalnya).
- b. Awan panas "*Block and Ash Flow*" arahnya mengikuti lembah; sedangkan awan panas "*Surge*" pelamparannya lebih luas dapat menutupi morfologi yang ada di lereng gunung api sehingga daerah yang rusak/hancur lebih luas (gambar 4.6).

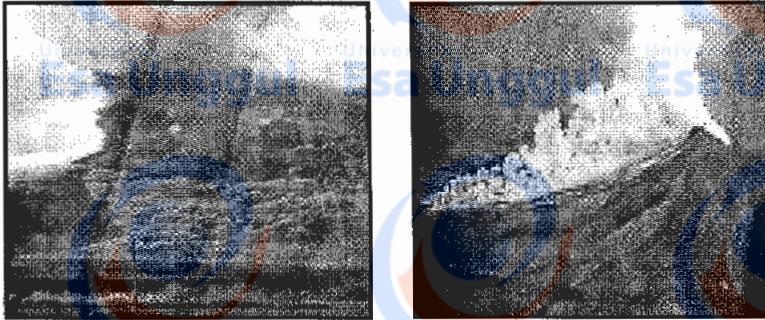
### 2. Guguran Longsoran Lava

Guguran atau longsoran lava pijar pada erupsi efusif, sumbernya berasal dari kubah lava atau aliran lava. Longsoran kubah lava dapat mencapai jutaan meter kubik sehingga dapat menimbulkan bahaya. Guguran kubah lava dapat membentuk awan panas. Contoh : G. Merapi – Jawa Tengah, G. Semeru – Jawa Timur. Jatuhan Piroklastik; Lemparan Bom yang di sebabkan oleh erupsi eksplosif dapat merusak/menghancurkan, menimbulkan korban manusia, menimbulkan kebakaran (hutan atau bangunan). Jarak lemparan batu tergantung dari tenaga dan sifat erupsinya, G. Agung (1963) mencapai 7 km (kebakaran rumah), G. Semeru (1962–1963) mencapai 4 km (kebakaran hutan), G. Krakatau 1883 mencapai 10 km. Hujan abu dapat menyebabkan runtuhnya bangunan, udara gelap, jalan licin, mengganggu penerbangan, rusaknya tanaman, mengganggu kesehatan (mata, pernapasan).

### 3. Lontaran Batuan Pijar

Pecahan batuan gunung api, berupa bom atau bongkah batu gunung api yang dilontarkan saat gunung api meletus. Dapat menyebar kesegala arah. Dapat menyebabkan kebakaran hutan,

bangunan dan kematian manusia, termasuk hewan. Cara terbaik untuk menyelamatkan diri dari bahaya ini adalah menjauhi daerah yang akan terlanda lontaran batu (pijar).



**Gambar 4.6** Awan panas yang terjadi di gunung Pinatubo tahun 1984 (kiri) dan guguran lava yang memicu aliran awan panas (kanan).

#### 4. Hujan Abu

Hujan material jatuhnya yang terdiri dari material lepas berukuran butir lempung sampai pasir. Dapat menyebabkan kerusakan hutan dan lahan pertanian. Dapat meningkatkan keasaman air. Dapat menyebabkan sakit mata dan saluran pernapasan. Pada saat hujan abu sebaiknya orang berlindung dibawah bangunan yang kuat serta memakai kacamata dan masker. Atap bangunan yang tertutup endapan abu harus segera dibersihkan.

#### 5. Aliran Lava

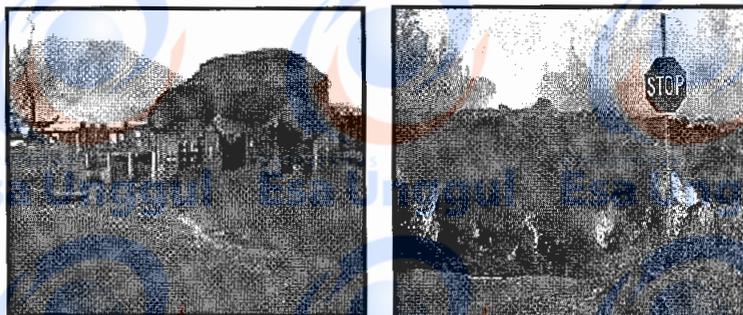
Karena suhunya yang tinggi ( $700^{\circ}\text{C}$  -  $1200^{\circ}\text{C}$ ), volume lava yang besar, berat, sehingga aliran lava mempunyai daya perusak yang besar, dapat menghancurkan dan membakar apa yang dilandanya (Gambar 4.7).

#### 6. Lahar

Kecepatan aliran lava sangat lamban antara 5-300 meter/hari, Kecepatannya tergantung dari viskositas dan kemiringan lereng. Manusia dapat menghindar untuk menyelamatkan diri. Lahar

dapat dibedakan menjadi 2 jenis, lahar letusan dan lahar hujan (Gambar 4.8). Lahar letusan disebut juga lahar primer, sedangkan lahar hujan disebut juga lahar sekunder. Aliran lahar mempunyai berat jenis yang besar (2-2,5), dapat mengangkut berbagai macam ukuran, sehingga aliran lahar ini mempunyai daya perusak yang sangat besar dan sangat berbahaya terutama pada daerah aliran yang cukup miring atau landai. Bangunan beton seperti jembatan dapat dihancurkan dalam sekejap mata.

- **Lahar letusan:** Lahar ini terjadi akibat letusan eksplosif pada gunung api yang mempunyai danau kawah. Luas daerah yang dilanda oleh lahar letusan tergantung kepada volume air di dalam kawah dan kondisi morfologi di sekitar kawah. Makin besar volume air di dalam kawah dan makin luas dataran daerah sekitarnya, maka makin jauh dan makin luas pula penyebaran laharnya.
- **Lahar hujan:** Lahar hujan: lahar yang terbentuk akibat hujan. Bisa terjadi segera setelah gunung api meletus atau setelah lama meletus. Faktor yang menentukan besar kecilnya lahar hujan adalah volume air hujan (curah hujan) yang turun di atas daerah endapan abu gunung api dan volume endapan gunung api yang mengandung abu sebagai sumber material pembentuk lahar. Di G. Merapi, curah hujan 70 mm/jam selama 3 jam mengakibatkan terjadinya lahar. Contoh lahar hujan yang terkenal adalah: G. Semeru, G. Merapi, G. Agung, juga G. Galunggung.



**Gambar 4.7** Bangunan yang tertutup oleh debu gunung api (kanan) dan aliran lava pijar (kiri).

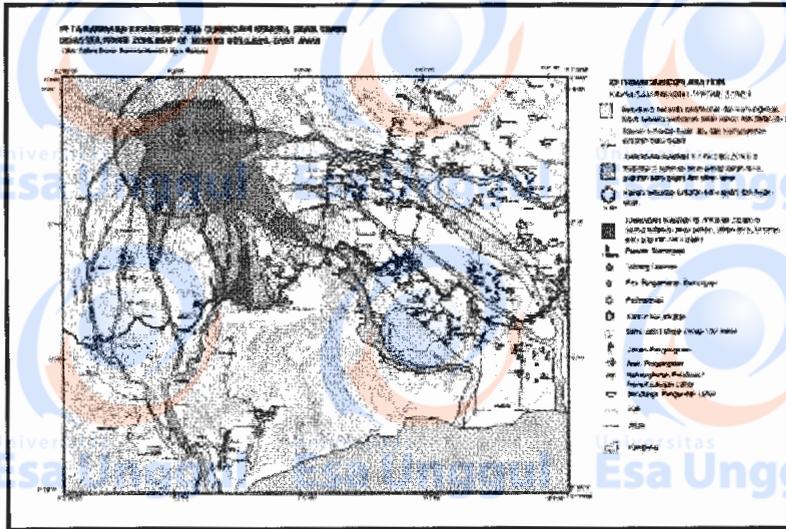
### 4.3.3 Penanggulangan Bahaya Gunung Api

Erupsi gunung api merupakan proses alam dan sampai saat ini belum dapat dicegah, sehingga untuk menekan terjadinya korban dan kerugian harta benda perlu diadakan upaya penanggulangan bencana. Berikut ini adalah beberapa upaya yang dilakukan dalam rangka penanggulangan bencana geologi yang disebabkan oleh erupsi gunung api, yaitu:

- a. Melakukan pengamatan dan pemantauan terhadap gunung api aktif
- b. Dengan melakukan pengamatan dan pemantauan yang terus menerus, maka diharapkan dapat dipelajari tingkah laku dan aktifitas semua gunung api aktif yang ada sehingga usaha perkiraan erupsi dan bahaya gunung api akan tepat dan cepat. Penyampaian informasi dalam rangka pengamanan penduduk dari kawasan rawan bencana dapat dilaksanakan tepat waktu sehingga korban bisa dihindarkan.
- c. Melakukan pemetaan kawasan rawan bencana gunung api:
- d. Untuk mengetahui dan menentukan kawasan rawan bencana gunung api (I, II, III, lihat gambar 4.9), tempat-tempat yang aman jika terjadi letusan, tempat pengungsian, alur pengungsian, puskesmas. Sehingga pada saat terjadi peningkatan aktifitas /letusan, kita sudah siap dengan peta operasional lapangan.
- e. Mengosongkan kawasan rawan bencana III
- f. Daerah atau kawasan yang termasuk kedalam kawasan rawan bencana III harus dikosongkan dan dilarang untuk hunian tetap, karena daerah ini sering terlanda oleh produk letusan gunung api (lava, awan panas, jatuhnya piroklastika)
- g. Melakukan usaha preventif
- h. Upaya untuk mengurangi bahaya akibat aliran lahar, yaitu dengan cara membuat tanggul penangkis, tanggul-tanggul untuk mengurangi kecepatan lahar, serta mengurangi volume air di kawah (Kelud, Galunggung).



Gambar 4.8 Aliran lahar gunung api yang melanda wilayah pemukiman



Gambar 4.9 Contoh Peta Kawasan Rawan Bencana gunung api.

## 4.4 Debris Avalanche

### 4.4.1 Terminologi

Avalanche (guguran) adalah satu istilah yang banyak digunakan untuk menggambarkan aliran cepat fragmen-batuan yang berasosiasi dengan erupsi freatik. Debris avalanche disini juga dapat didefinisikan sebagai longsoran tanah dalam skala besar yang berasosiasi dengan aktifitas vulkanik. Guguran (avalanche) langsung dipicu oleh gempa. Aliran seperti itu telah lazim dianggap seperti

relatif kering lantaran uap air panas (steam), gas, dan udara lebih banyak daripada cairan (air). Lahar, di lain pihak, adalah aliran cepat dari runtuh batuan yang berasal gunung api yang jenuh air. Banyak lahar yang asalnya adalah avalanche dan menjadi lahar hanya karena pengumpulan atau pemisahan sejumlah besar air. Kemungkinan mekanisme dari guguran ini adalah:

1. Deformasi dari tubuh gunung api akibat intrusi magma kental.
2. Gempa vulkanik biasa yang berasosiasi dengan letusan freatik, dan tidak ada material juvenil yang dikeluarkan.
3. Hampir sama dengan kasus 1, tetapi lokasi longsoran/gelinciran jauh dari pusat erupsi.

Endapan debris avalanche diidentifikasi dari hampir setengah gunung api berlapis (*stratovolcanoes*) dan kubah lava aktif di Jepang. *Relief hummocky*, blok dan massadasar batuan, rekahan dan patahan pada blok dan tanggul alam bersisi curam (*steep-sided natural levee*) adalah kenampakan karakteristik dari endapan debris avalanche. Kenampakan yang hampir sama muncul pada endapan gelinciran tanah yang berasal dari material nonvulkanik. Kenampakan ini tidak nampak pada endapan aliran banjir lumpur (*water-flushed mud flow*) dan endapan aliran rombakan (*debris flow deposit*).

Pergerakan massa yang sangat merusak mempunyai tipikal yang sangat komplek, menyangkut berbagai kombinasi dari longsoran dan aliran pada tingkat perkembangan berbeda dan dengan bagian-bagian massa bergerak yang berbeda. Hampir tidak dapat dimengerti pergerakan massa batuan dapat melewati seluruh tahap percepatan rayapan ke suatu longsoran batuan; kecepatan penurunan dan penyebaran pengendapan dari massa batuan sepanjang satu atau beberapa permukaan atau zona yang relatif sempit. Disagregasi dari massa batuan dapat mempengaruhi karakter dari aliran, atau lebih disebabkan oleh perubahan kandungan air atau kecepatan. Guguran material rombakan (debris avalanche) (Mimura dan Kawachi, 1981; Crandell et.al., 1984) adalah gelinciran tanah (*landslide*) dalam skala besar yang dipicu oleh erupsi gunung api. Debris avalanche sebelumnya disebut sebagai guguran

gunung api kering (*volcanic-dry avalanche*) (Nakamura, 1978; Ui, 1983) dan guguran gelinciran batu (*rockslide avalanche*) (Voight, et.al,1983), atau termasuk dalam endapan aliran lumpur gunung api (*volcanic mud flow*), lahar dan aliran piroklastik.

Secara ciri geologi dan geomorfologi, debris avalanche dapat dibedakan dengan endapan gelinciran tanah yang berasal dari nonvolkanik dan aliran lumpur. Juga diberikan besar dan frekuensi dari debris avalanche. Endapan aliran framen-batuan dari Mt. St. Helens diacu sebagai endapan avalans (avalanche deposit) untuk menegaskan fakta bahwa material tidak cukup jenuh dengan cairan/air ketika diendapkan. Bukti-bukti yang diperkirakan selama pengendapan, suhu dari banyak material ini mendekati suhu didih air dan uap airnya membentuk bagian penting fluida pori.

Endapan mengandung sejumlah kecil material juvenil yang diendapkan pada suhu melebihi titik Curie, dan beberapa bagian yang jenuh air selama pengendapan atau yang menjadi jenuh selama kondensasi, aliran fluida pori, atau pengumpulan air permukaan. Bagian dari endapan avalans, bagaimanapun, adalah transisional antara lahar dan piroklastika alira; lebih jauh, lahar adalah pergerakan secara lokal dari rombakan avalans. Perbedaan antara mekanika rockslide dan avalanche alamiah hampir selalu samar. Seringkali sulit menentukan dari mana material longsoran berasal, kapan digerakkan/dipindahkan, dan di mana berhenti. apa 'penyebab' longsoran, berapa kecepatan dia bergerak, dsb. Kurangnya data akan menyulitkan dalam menentukan model-model teoritis antara rockslide dan avalanche.

#### 4.4.2 Faktor Penyebab Avalanche

Penyebab terjadinya avalanches, yaitu struktur, sejarah gerakan, serta hidrologi dan iklim.

##### 1. Struktur

'Classic' rockslide dan avalanche di Western Hemisphere mencakup massa yang besar ( $10^7$ - $10^9$  m<sup>3</sup>) dari batuan bercampur tanah,

salju atau es yang bergerak dengan kecepatan tinggi (100 m/dt) utamanya di bawah pengaruh gravitasi. Faktor-faktor utama dari pergerakan rockslide dan avalanche ini diketahui dari penelitian sejarah kejadiannya. Diantaranya adalah kondisi geologis, seperti perlapisan dan foliasi, alterasi batuan karena pelapukan, sejarah pergerakan-pergerakan sebelumnya, variasi hidrologi dan klimatologi dan kondisi daerah.

Hasil dari evolusi sekuens telah menghasilkan jalur besar kekar-kekar dan lipatan, sesar-sesar batuan sedimen dan kristalin, yang terekspos lalu membentuk relief topografi. Orientasi dari perlapisan batuan dan diskontinuitas sering mendorong pergerakan massa, sebagian juga ditambah dengan efek-efek gempa bumi, fluktuasi tekanan air tanah, erosi berlebihan dan berkurangnya tahanan gesekan yang berasosiasi dengan pelapukan.

Longsor besar di Western Hemisphere adalah aliran runtuh pada th. 1974 yang diawali pada permukaan perlapisan yang licin (*polished bedding surfaces*). Juga untuk kejadian Gros Ventre, Hope dan Sherman. Sedangkan untuk kejadian di Mt. Turtle selain disebabkan oleh bidang perlapisan juga dikontrol oleh sistem kekar dan minor thrust. Ketika bidang perlapisan bukan merupakan struktur utama, pergerakan longsor bisa dipicu oleh sesar, kekar-kekar dan foliasi metamorfisme. Bagaimanapun, struktur perlapisan atau diskontinuitas merupakan faktor utama pada semua sejarah kejadian longsor.

Pelapukan juga kelihatan sangat signifikan pada beberapa longsor. Contoh: di Madison Canyon, longsor massa disebabkan kuatnya pelapukan pada batuan sekis;; di Gros Ventre, proses aliran yang sangat alamiah sangat kuat bergantung pada sejarah jangka panjang disagregasi, pelarutan, dan pelapukan dari batuan klastik Paleozoik.

## 2. Sejarah Gerakan (*Motion History*)

Sebanyak 24 kejadian gempa bumi dengan magnitudo 7.0 skala Richter atau lebih besar dari itu yang terjadi di Alaska sejak tahun

1898, mengakibatkan efek geomorfik yang sangat besar. Pada daerah yang lebih kecil di sekitar episenter di Great Alaska (8,5 skala Richter) pada tahun 1984, telah teridentifikasi lebih dari 2000 longsor, termasuk sedikitnya 80 longsor batuan utama. Banyak dari longsor-longsor ini tidak terjadi pada saat gelombang seismik pertama; tetapi terjadi akibat hentakan-hentakan berikutnya seperti kejadian longsor Anchorage di Bootlegger Cove Clay.

Di Madison Canyon, Montana, longsor terjadi segera setelah guncangan pertama yang sangat kuat (7,1 skala Richter). Gempa ini berasosiasi dengan pergerakan menurun sesar bongkah yang mengandung massa potensial longsor.

Distribusi regional daerah-daerah utama dari energi gempa bumi mengikuti batas-batas tektonik, seperti batas-batas tumbukan lempeng. Pada kerak benua, gempa bumi berasosiasi dengan wilayah patahan aktif. Jarak dari gempa bumi yang dapat memicu longsor juga bergantung pada faktor lain (*host of factors*), seperti kestabilan dari massa potensial longsor, orientasi dari gempa bumi dalam hubungannya dengan massa longsor, magnitude, kedalaman fokus, seismic attenuation, dan distribusi gempa susulan.

### 3. Hidrologi dan Iklim

Kepentingan utama dari iklim adalah hubungannya dengan sistem air tanah. Dalam banyak kasus tidak ada data bagus mengenai kondisi air tanah yang didapatkan pada tempat longsor. Bagaimanapun, catatan hidrologi dan klimatologi lokal membantu menjelaskan kemungkinan kejadian longsor individual.

Sebagai contoh di Gros Ventre, satu seri guncangan gempa bumi tidak efektif menghasilkan satu longsor utama, kemungkinan karena tanahnya masih beku dan peleburan salju masih kecil. Sebaliknya pada tahun 1925 kejadian yang melibatkan tanah jenuh disebabkan oleh peleburan salju yang lebih awal ditambah kuatnya hujan. Walaupun faktor hidrologi sangat berperan di Gros Ventre, tetapi tidak terlalu berperan untuk daerah longsor utama yang lain. Bagaimanapun, untuk semua kasus longsor faktor

hidrologi adalah sangat penting karena untuk jangka panjang menghasilkan pelapukan.

#### 4.4.3 Struktur Geologi Penciri Debris Avalanche

1. **Blok dan Matriks:** Endapan debris avalanche mengandung dua bagian struktur yang berbeda yang disebut sebagai blok dan massadasar (Crandell, 1984). Blok adalah fragmen yang berhubungan dengan tubuh gunung api. Diameternya bervariasi dari kurang dari 1 m sampai lebih dari 500 m. Struktur dalam dari tubuh besar gunung api, sebagai contoh struktur perlapisan pada lapisan volkaniklastik dan aliran lava atau kontak intrusi terawetkan di dalam blok.
2. **Jigsaw Crack:** Blok-blok sangat atau kurang terkekarkan. Tingkat pengkekarakan lebih tinggi pada blok yang berasal dari lava masif. Jumlahnya mencapai lebih dari 50 per meter. Bentuk kekar umumnya tak beraturan. Fragmen-fragmen yang lebih kecil hadir di antara 2 kekar. Jadi bagian-bagian yang terkekarkan kelihatan seperti jigsaw puzzle dalam bentuk 3 dimensi (Shreve, 1968) atau jigsaw crack (Ui, 1983). Kadang-kadang nampak konjugasi sekumpulan kekar. Fakta-fakta ini diperkirakan bahwa jigsaw crack telah terbentuk di bawah tekanan kompresi lokal (*local compression stress*) dan posisi yang relatif dekat fragmen tidak berubah selama pergerakan gelinciran (Ui, Kawachi dan Neall). Umumnya blok-blok dari batuan volkaniklastik mempunyai lebih sedikit jigsaw crack. Ini diterangkan dengan tekanan terjadinya penipisan setempat pada batas klastik atau munculnya kekar-kekar pendinginan. Lebar dari jigsaw crack ini semakin bertambah dengan bertambahnya jarak dan dengan berkurangnya ukuran blok pada endapan debris avalanche dari Gunung Egmont. Jumlah dari jigsaw crack pada lava masif asal semakin bertambah dengan bertambahnya jarak dari sumber pada endapan debris avalanche Gunung Shasta, California.

3. **Matriks:** Matriks adalah campuran dari berbagai tipe klastik vulkanik. Tanah, kerikil, sedimen lunak dan fragmen-fragmen tumbuhan juga termasuk. Potongan kecil atau tufa berbentuk seperti-film (*film-like shaped tuffs*), tanah dan lapisan-lapisan sedimenter sering didapatkan memberi kesan percampuran tidak lengkap.
4. **Natural Remanent Magnetization:** Orientasi dari Natural Remanent Magnetization (NRM) untuk klastik vulkanik pada endapan debris avalanche telah terukur pada endapan debris avalanche Nirasaki, Gunung api Yatsugatake, Jepang Tengah (Mimura, 1982). Orientasi NRM untuk tiap-tiap potongan-potongan klastik pada suatu blok mirip satu sama lain. Deklinasi rata-rata untuk semua pengukuran blok mirip arahnya satu sama lain dan mirip dengan medan geomagnet yang sekarang, tetapi inklinasinya random untuk semua pengukuran blok. Orientasi NRM yang dekat klastik vulkanik pada matriks adalah random. Fakta-fakta ini memberi kesan bahwa mekanisme transportasi dari debris avalanche mirip dengan plug flow. Semua blok tertransportasi ke tempat yang sekarang dengan cara gelinciran dengan rotasi.
5. **Hummocks:** Biasanya beberapa blok bertumpuk-tumpuk membentuk hummock. Material-material matriks mungkin berada di antara atau sekitar blok. Satu blok besar pada hummock tersesarkan. Suatu singkapan yang didominasi oleh blok-blok disebut fasies blok. Material matriks secara selektif terakumulasi pada bagian dasar aliran dari endapan, di mana permukaan topografi endapan relatif datar. Endapan dari area yang demikian terutama terbuat dari matriks termasuk blok-blok berskala kecil. Bagian dari endapan ini disebut fasies matriks. Populasi dan ukuran hummock yang maksimum ada pada bagian tengah endapan, dan berkurang ke arah distal dan lateral endapan. Permukaan morfologi hummock tidak teratur dan orientasi pemanjangan tidak sistematis.
6. **Fakta fakta pada bedrock:** Struktur alur-alur dan rekahan-rekahan nampak pada permukaan batuan dasar yang tererosi dari debris avalanche Gunung St. Helens, (1980). Struktur alur



adalah sekumpulan goresan dengan kedalaman beberapa mm dan lebar kurang dari 1 cm. Goresan-goresan ini subparalel satu sama lain menuju ke arah arah kemiringan dari lereng. Rekahan irregular berkembang hingga kedalamannya lebih dari puluhan centimeter. Kedua struktur ini mungkin terbentuk ketika material avalanche tergelincir dan menabrak batuan dasar yang tersingkap di lereng kawah.

7. **Tanggul Alam:** Tanggul alam terbentuk pada sisi lateral dari endapan debris avalanche. Tanggul terbentuk dari material matriks. Lereng luar tanggul sangat curam. Mirip dengan lereng curam juga nampak pada bagian distal endapan, ketika struktur pengendapan asal terawetkan. Adanya lereng curam demikian pada endapan bagian distal dan lateral memberi kesan kelakuan fluida thixotropic dari material avalanche.
8. **Kawah Sumber:** Daerah sumber dari avalanche adalah topografi yang dicirikan oleh kawah semisirkuler. Dasar kawah sebagian terisi oleh breksi talus. Material ejecta dari *post-avalanche volcanic activity* mengisi dasar kawah, dan beberapa kawah tua telah penuh terkubur dengan material ejecta *post-avalanche*. Struktur rekahan biasa muncul pada dinding kawah. Polanya mirip dengan jigsaw crack pada endapan debris avalanche, meskipun derajat perekahannya lebih rendah daripada endapan debris avalanche tersebut.
9. **Kisaran Jarak Pelarian dan Tinggi Peruntuhan:** Tujuh puluh satu endapan debris avalanche telah teridentifikasi dari 59 gunung api kuartar di Jepang (Ui, Yamamoto dan Suzuki-Kamata, submitted). Tigabelas diantaranya ditegaskan model pengendapannya di lapangan. Dua parameter telah dideterminasi untuk mencirikan magnitude dari avalanche. Parameter H adalah tinggi antara titik tertinggi dari dinding kawah sumber atau diasumsikan sebagai puncak dari tubuh gunung api sebelum gelinciran, dan bagian terendah endapan. Parameter ini diinterpretasikan sebagai beda tinggi maksimum dari gelinciran. Parameter lain, L, adalah jarak pelarian antara puncak dinding kawah dan distal akhir dari endapan. L mengekspresikan jarak maksimum dari pelarian. H berkisar antara

0.2-2.4 km dan L antara 1.6-32 km. Rasio H/L, ekuivalen dengan koefisien gesek semu berkisar dari 0.06-0.2.

10. **Frekuensi Debris Avalanche:** Endapan debris avalanche didapatkan hanya pada gunung api strato dan kubah lava dalam kasus gunung api kuarter di Jepang. Tidak ada endapan avalanche yang dijumpai pada gunung api kaldera, maar dan tipe lain dari gunung api monogenetik (Ui, Yamamoto dan Suzuki-Kamata, submitted). Endapan avalanche dijumpai hampir setengah dari gunung api strato aktif dan lava dome. Tujuh debris avalanche di Jepang dan sekitarnya dipicu oleh aktifitas gunung api pada 400 tahun terakhir (tabel 1). Siebert (1984) menunjukkan frekuensi debris avalanche di dunia secara kasar 4 kali per 100 tahun.
11. **Kecepatan dan Waktu Tiba:** Kecepatan dan waktu tiba debris avalanche diestimasi dengan menggunakan model gelinciran sederhana dari titik material yang mempunyai koefisien gesek uniform. Kecepatan maksimum dihitung untuk satu debris avalanche berskala besar, debris avalanche kisakata, gunung api Chokai, Jepang Utara adalah 140 m/det. Waktu tiba pada distal akhir dari endapan adalah 5 menit. Kecepatan maksimum untuk debris avalanche dengan skala relatif lebih kecil, debris avalanche 1792 Gunung api Unzen adalah 90 m/det, dan waktu tiba adalah 2 menit. Model gelinciran yang dipakai untuk menghitung ini adalah sangat sederhana. Tetapi hasil yang diperoleh tidak jauh berbeda dibandingkan dengan penelitian pada Gunung api St. Helens (Voight, 1983).
12. **Formasi Debris Avalanche:** Fakta-fakta struktur dan geomorfologi seperti yang ditunjukkan di atas memberi kesan bahwa mekanisme transportasinya adalah gelinciran sederhana. Tiga kemungkinan proses yang memicu debris avalanche berasosiasi dengan aktifitas gunung api. Salah satunya disebut sebagai tipe St. Helens. Magma muda kental telah mengintrusi di bawah kawah puncak. Sekumpulan gempa vulkanik terjadi pada tubuh gunung api. Sebagian dari tubuh gunung api terdeformasi, dan guguran proksimal terpicu oleh gempa vulkanik yang relatif lebih besar. Fase plinian dari aktifitas volka-



nik akan muncul setelah gelinciran terjadi. Pada tipe ini bisa terbentuk seri dari material juvenil, jatuhan plinian, piroklastik aliran dan kubah lava. Kedua, tipe Bandai yang mirip dengan tipe St. Helens pada tahap awal (*precursor*), tetapi tidak ada fase plinian setelah avalanche. Ketiga, tipe Unzen adalah gelinciran sederhana yang dipicu oleh gempa yang berasosiasi dengan aktifitas vulkanik. Posisi gelinciran adalah kubah lava tua yang berjarak 8 km dari pusat aktifitas vulkanik, di mana terjadi letusan tipe Vulcanian dan keluar aliran lava baru. Endapan gelinciran Naganoken-Seibu 1984, Jepang, yang dipicu oleh gempa, strukturnya mirip dengan endapan debris avalanche yang berasosiasi dengan aktifitas vulkanik. Mirip dengan endapan pre-historic yang tersingkap, tetapi sulit untuk diidentifikasi sebagai debris avalanche yang berasosiasi dengan aktifitas vulkanik.

#### 4.4.4 Perbandingan Gelinciran yang Berasal dari Non-vulkanik

Enam endapan gelinciran telah dicek untuk dikonfirmasi kemiripan struktur internal dan morfologi permukaannya. Endapan-endapan tersebut meliputi Blackhawk landslide, California, gelinciran Lower Gros Ventre, Wyoming, The Hoodoos di Yellowstone National Park, Hebgen landslide, Montana, K2 landslide, Kawarau Gorge, New Zealand, dan landslide Upper Buller Gorge 1968, New Zealand. Struktur khas pada dasarnya identik dengan endapan debris avalanche vulkanik. Permukaan endapan hummocky, struktur blok dan matriks, jigsaw crack dalam blok teridentifikasi pada semua endapan ini. Jumlah jigsaw crack lebih sedikit pada gelinciran nonvulkanik. Parameter H dan L untuk keduanya (debris avalanche vulkanik dan gelinciran nonvulkanik) dibandingkan dengan menggunakan beberapa data dari literatur. Rasio secara sistematis menjadi lebih kecil pada debris avalanche vulkanik. Ekses jarak pelarian (*runout*) untuk debris avalanche vulkanik dapat dijelaskan lemahnya mekanika material-material avalanche. Penjelasan yang

mungkin untuk kelemahan tersebut adalah:

- a. Bagian dari tubuh gunung api terbentuk dari lapisan piroklastik yang secara mekanik lunak.
- b. Alterasi hidrotermal yang muncul dalam tubuh gunung api.
- c. Letusan freatik dengan material avalanche yang menghasilkan pelepasan tekanan tiba-tiba pada permulaan gelinciran.
- d. Fragmentasi tubuh gunung api menghasilkan intrusi magma kental baru juga sangat membantu memberikan tambahan jarak pelarian material avalanche.

#### **4.4.5 Perbandingan Debris Flow dan Mud Flow**

Struktur dalam dan morfologi permukaan endapan debris avalanche juga dibandingkan dengan endapan water-flushed debris flow dan mud flow. Lokasi pengamatan adalah debris flow 1983 Gunung Slide, Nevada, prehistoric mud flow Gunung St. Helens dan beberapa endapan lahar pada kaki gunung Ruapehu, New Zealand. Tidak ada struktur blok dan jigsaw crack. Sebaliknya dijumpai tanda-tanda pukulan (percussion marks) pada sisi-sisi klastik vulkanik besar bersudut. Laminasi aliran berkembang pada bagian bawah aliran dari endapan water-flushed di mana pemilahan dari endapan ini lebih bagus daripada debris avalanche. Permukaan hummocky tidak umum pada permukaan endapan. Tidak ada lereng curam yang terbentuk pada sisi dan bagian lateral endapan. Jadi sangat mudah membedakannya antara debris avalanche dan endapan gelinciran, water-flushed debris flow dan mud flow.

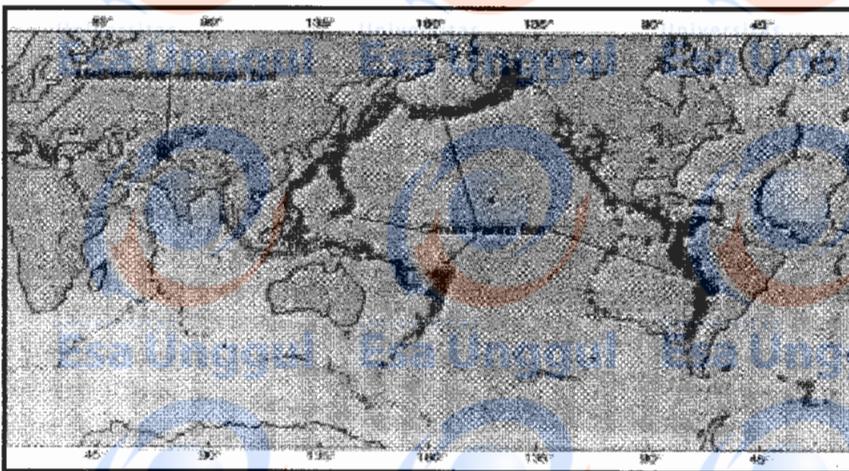
### **4.5 Bahaya Gempa Bumi**

#### **4.5.1 Pendahuluan**

Gempa bumi adalah getaran dalam bumi yang terjadi sebagai akibat dari terlepasnya energi yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi. Gempa bumi dapat dide-

finisikan sebagai rambatan gelombang pada masa batuan/tanah yang berasal dari hasil pelepasan energi kinetik yang berasal dari dalam bumi. Sumber energi yang dilepaskan dapat berasal dari hasil tumbukan lempeng, letusan gunung api, atau longsor pada masa batuan/tanah. Hampir seluruh kejadian gempa berkaitan dengan suatu patahan, yaitu satu tahapan deformasi batuan atau aktivitas tektonik dan dikenal sebagai gempa tektonik. Sebaran pusat-pusat gempa (*epicenter*) di dunia tersebar di sepanjang batas-batas lempeng (*divergent, convergent, maupun transform*), oleh karena itu terjadinya gempa bumi sangat berkaitan dengan teori Tektonik Lempeng. Sebagaimana diuraikan di atas bahwa penyebaran pusat-pusat gempa bumi sangat erat kaitannya dengan batas-batas lempeng. Gambar 4.10 memperlihatkan pola penyebaran pusat gempa di dunia (warna merah) yang berimpit dengan batas-batas lempeng.

Disamping gempa tektonik, kita mengenal juga gempa minor yang disebabkan oleh longsor tanah, letusan gunung api, dan aktivitas manusia. Gempa minor umumnya hanya dirasakan secara lokal dan getarannya sendiri tidak menyebabkan kerusakan yang signifikan atau kerugian harta benda maupun jiwa manusia.



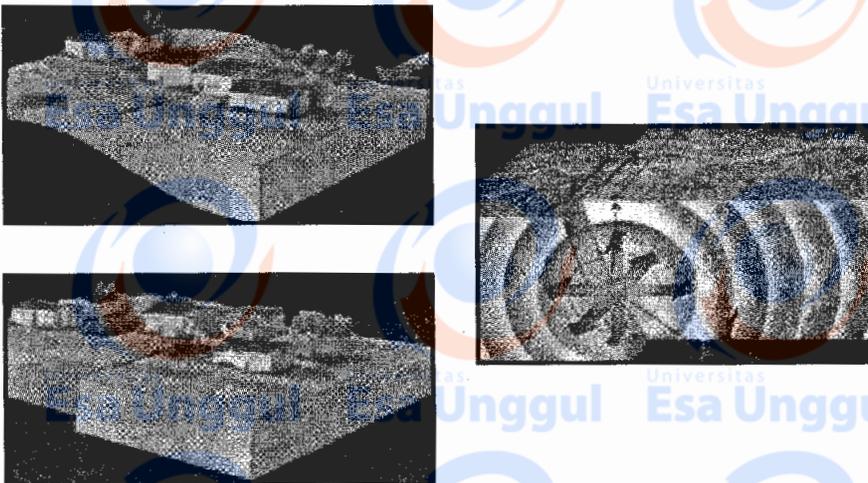
Gambar 4.10 Pola penyebaran epicenter gempa di Dunia.

Adapun mekanisme terjadinya gempa bumi dapat dijelaskan seperti yang diilustrasikan pada gambar 4.11.

Dalam gambar bagian atas mengilustrasikan gambar permukaan bumi yang berada pada suatu jalur patahan aktif dengan beberapa bangunan rumah sebelum terjadi gempa. Pada kondisi ini batuan berada dalam keadaan tegang (*strained*).

Gambar bagian tengah menjelaskan saat terjadi pergeseran disepanjang jalur patahan yang diakibatkan oleh gaya yang bekerja dengan arah yang berlawanan dan energi yang terhimpun di dalam masa batuan akan dilepas dan merambat kesegala arah sebagai gelombang longitudinal (gelombang P) dan gelombang transversal (gelombang S). Rambatan gelombang yang menjalar didalam batuan inilah yang menghancurkan bangunan-bangunan yang ada disekitarnya.

Gambar bagian bawah mengilustrasikan kondisi setelah terjadi gempa dimana batuan kembali berada pada keadaan seperti semula.



Gambar 4.11 Urut-urutan proses terjadinya gempa bumi.

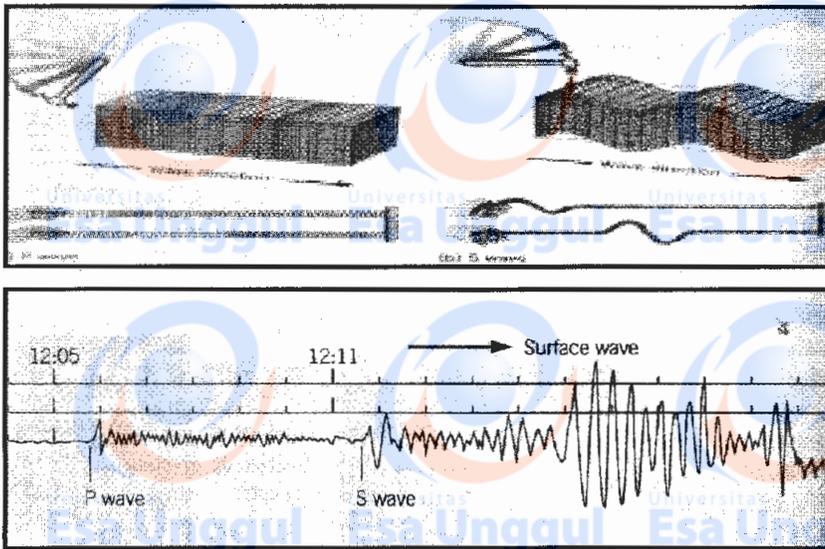
## 4.5.2 Intensitas dan Magnitude Gempa Bumi

Intensitas dan magnitude gempa yang terjadi di permukaan bumi dapat diketahui melalui alat seismograf, yaitu suatu alat pencatat getaran seismik yang sangat peka yang ditempatkan diberbagai lokasi di bumi. Alat seismograf akan mencatat setiap getaran seismik yang sampai ke alat tersebut. Pada gambar 4.13 diperlihatkan bagaimana alat seismograf mencatat gelombang seismik melalui suatu bandul yang digantung pada pegas dan dilengkapi dengan jarum pena sebagai alat pencatat getaran seismik diatas kertas yang ada pada tabung silinder yang berputar. Pusat gempa dapat diketahui dengan cara menghitung selisih waktu tiba dari gelombang P dan gelombang S, sedangkan untuk mengetahui lokasi dari epicenter gempa melalui perpotongan 3 lokasi alat seismograf yang mencatat getaran seismik tersebut (gambar 4.14). Untuk menentukan magnitude gempa didasarkan atas besarnya amplitudo gelombang seismik yang tercatat pada alat seismograf. Skala Richter adalah satuan yang dipakai untuk mengukur besarnya magnitude gempa, Satuan besaran gempa berdasarkan satuan skala Richter adalah 1 hingga 10. Satuan intensitas dan magnitude gempa bumi dapat juga diukur berdasarkan dampak kerusakan yang ditimbulkan oleh getaran gelombang seismik dan satuan ini dikenal dengan satuan Intensitas Modifikasi Mercalli (MMI), nilai satuan ini berkisar dari 1 s/d 12 (lihat Tabel 4.1).

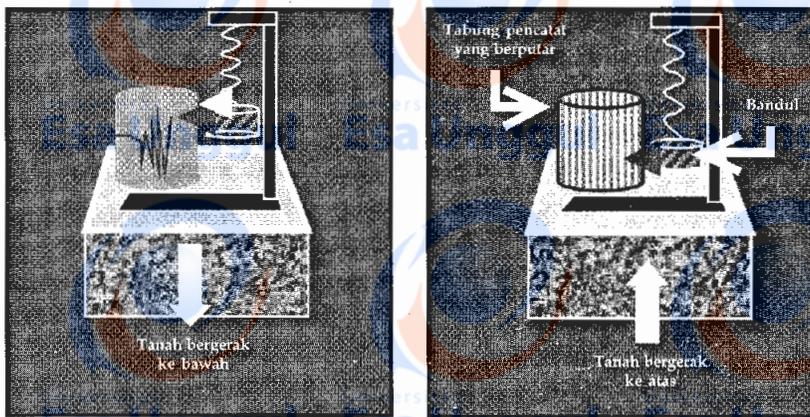
Tabel 4 -1 Skala Intensitas Modifikasi Mercalli (MMI).

Skala MMI	DAMPAK KERUSAKAN
I	Tidak dirasakan oleh kebanyakan orang, hanya beberapa orang dapat merasakan dalam situasi tertentu.
II	Dapat dirasakan oleh beberapa orang yang sedang diam/istirahat. Dapat memindahkan dan menjatuhkan benda-benda.

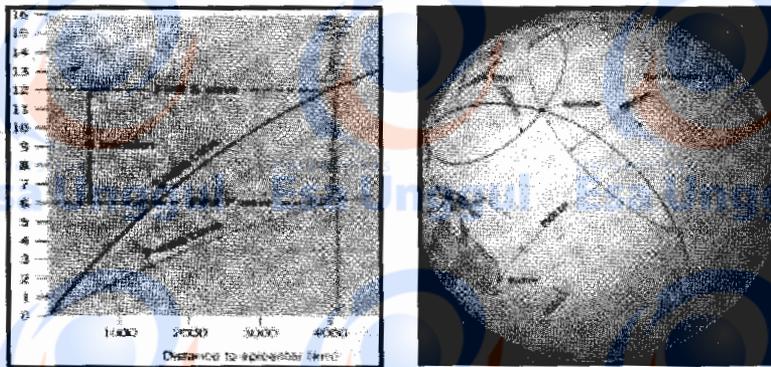
Skala MMI	DAMPAK KERUSAKAN
III	Dirasakan oleh sedikit orang, terutama yang berada di dalam rumah, seperti getaran yang berasal dari kendaraan berat yang melintas di dekat rumah.
IV	Dirasakan oleh banyak orang, beberapa orang terbangun disaat tidur, Piring dan jendela bergetar. Dapat mendengar suara-suara yang berasal dari pecahan barang pecah belah.
V	Dirasakan oleh setiap orang yang saling berdekatan. Banyak orang terbangun disaat tidur. Terjadi retakan pada dinding tembok. Barang-barang terbalik dan pohon-pohon megalami kerusakan.
VI	Dirasakan oleh setiap orang, terjadi runtuhannya tembok dan terjadi kerusakan pada menara / tugu.
VII	Setiap orang berlarian keluar rumah, Bangunan berstruktur buruk mengalami kerusakan. Dapat dirasakan oleh orang-orang yang berada di dalam kendaraan.
VIII	Runtuhnya bangunan yang berstruktur buruk, Tiang dan menara, dinding runtuh. Tersemburnya pasir dan Lumpur dari dalam tanah.
IX	Kerusakan pada bangunan berstruktur tertentu, sebagian runtuh Gedung-gedung tergeser dari fondasinya, Tanah mengalami retakan dan pipa-pipa mengalami pecah.
X	Hampir semua bangunan berstruktur beton dan kayu rusak. Tanah retak retak, jalan kereta api bengkok, pipa-pipa pecah.
XI	Beberapa struktur bangunan beton tersisa. Terjadi retakan yang panjang di permukaan tanah. Pipa terpotong dan terjadi longsor tanah dan rel kereta api terputus.
XII	Kerusakan total. Gelombang permukaan tanah dapat teramati dan benda-benda terlempar ke udara.



Gambar 4.12 Gelombang P (Primer) sebagai gelombang kompresi yang mampu merubah volume batuan dan gelombang S (Sekunder) sebagai gelombang "Shear" yang mampu merubah bentuk.



Gambar 4.13 Alat seismograf yang mencatat arah gerakan gempa bumi oleh jarum seismograf pada kertas yang berada dipermukaan silinder.



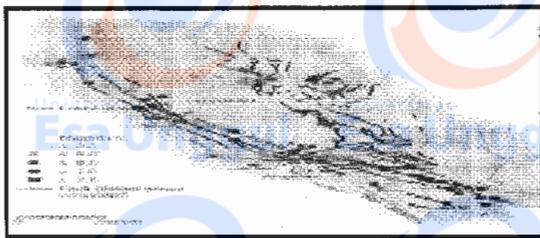
**Gambar 4.14** Penentuan lokasi epicenter gempa didasarkan atas selisih waktu tiba dari gelombang P dan gelombang S yang tercatat pada alat seismograf (gambar kiri) dan epicenter gempa yang ditentukan berdasarkan perpotongan dari 3 lokasi alat seismograf yang mencatat kejadian gempa bumi (gambar kanan).

### 4.5.3 Dampak Bencana Gempa Bumi

Sebagaimana telah dijelaskan diatas bahwa rambatan gelombang seismik yang berasal dari energi yang dilepaskan dari hasil pergerakan lempeng dapat menimbulkan bencana. Bencana yang disebabkan oleh gempa bumi dapat berupa rekahan tanah (*ground rupture*), getaran tanah (*ground shaking*), gerakan tanah (*mass-movement*), kebakaran (*fire*), perubahan aliran air (*drainage changes*), gelombang pasang/tsunami, dsb.nya. Gelombang gempa yang merambat pada masa batuan, tanah, ataupun air dapat menyebabkan bangunan gedung dan jaringan jalan, air minum, telepon, listrik, dan gas menjadi rusak. Tingkat kerusakan sangat ditentukan oleh besarnya magnitute dan intensitas serta waktu dan lokasi epicenter gempa.

Gambar 4.15 memperlihatkan satu contoh gempa bumi yang disebabkan oleh pergeseran lempeng bumi yang terjadi di wilayah barat pantai Amerika, yaitu wilayah yang dilalui oleh patahan yang sangat panjang yang dikenal dengan sesar "San Andreas". Patahan ini memajang dari tenggara ke arah barat laut melalui kota San Fransisco. Sesar San Andreas dikenal sebagai sesar yang sangat

aktif yang merupakan batas lempeng *jenis transform/strike slip fault* antara lempeng benua Amerika Utara dengan lempeng Samudra Atlantik (gambar 4.15a). Pergeseran antara kedua lempeng ini dikenal sebagai pusat-pusat epicenter gempa. Gambar 4.15b memperlihatkan bagian dari patahan yang bergeser akibat dari pergerakan lempeng ditunjukkan oleh pergeseran dari arah aliran sungai. Gambar 4.15c memperlihatkan salah satu dampak dari gempa, yaitu konstruksi jalan layang (*highway*) yang mengalami kerusakan yang terjadi di wilayah San Fransisco, USA. dengan epicenter gempa berada di jalur patahan San Andreas.



(a)



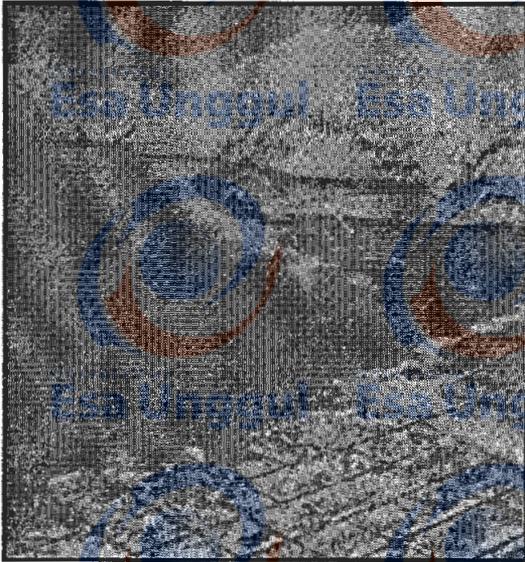
(b)



(c)

**Gambar 4.15** (a) memperlihatkan sebaran patahan San Andreas; (b) Foto Citra yang memperlihatkan pergeseran sesar San Andreas dan (c) Kerusakan yang diakibatkan oleh gempa San Fransisco akibat dari pergerakan kulit bumi yaitu patahan San Andreas.

## 1. Rekahan/Patahan di Permukaan Bumi (Ground Rupture)



Gambar 4.16 Gempa Alaska tahun 1964 yang menyebabkan wilayah seluas 260.000 km<sup>2</sup> mengalami ground rupture setinggi 2 – 16 meter.

Pada umumnya gempa bumi seringkali berdampak pada rekah dan patahnya permukaan bumi yang secara regional dikenal sebagai deformasi kerak bumi. Deformasi kerak bumi dapat mengakibatkan permukaan daratan rekah dan terpatahkan hingga mencapai areal yang sangat luas.

Salah satu bukti nyata terjadinya *ground rupture* adalah gempa yang terjadi pada Februari, 1976 dimana areal seluas 12.000 km<sup>2</sup> yang terletak di jalur patahan San Andreas, 65 km di sebelah utara kota Los Angeles mengalami pegangkatan (*uplifted*) oleh pergeseran sesar San Andreas. Contoh lain dari deformasi kerak bumi adalah gempa bumi yang terjadi pada tahun 1964 di Alaska yang menghasilkan suatu rekahan dan patahan serta deformasi batuan dimana daerah seluas 260.000 km<sup>2</sup> terdiri dari dataran pantai dan dasar laut secara lokal terangkat setinggi 2 meter dan secara regional mencapai 16 meter (gambar 4.16). Rekahan dan patahan yang terjadi di permukaan bumi dapat berdampak pada bangunan-bangunan, jalan dan jembatan, pipa air minum, pipa listrik, saluran telepon, serta prasarana lainnya yang ada di daerah tersebut.

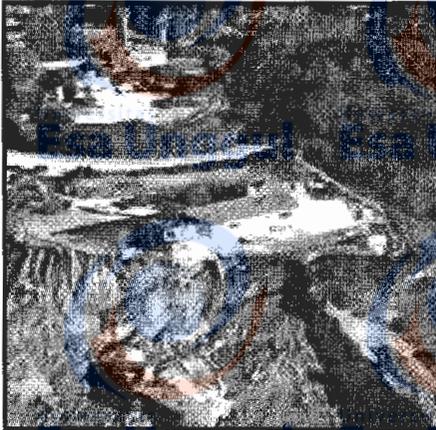
## 2. Getaran/Guncangan Permukaan Tanah (Ground Shaking)

Bencana gempa yang secara langsung terasa dan berdampak sangat serius adalah runtuhnya bangunan-bangunan yang disebabkan oleh getaran/guncangan gempa yang merambat pada media batuan/tanah. Pada umumnya bangunan-bangunan yang berada diatas lapisan batuan yang padat (firm) dampaknya tidak terlalu parah bila dibandingkan dengan bangunan-bangunan yang berada diatas batuan sedimen jenuh. Gambar 4.17 menunjukkan bangunan yang roboh akibat guncangan gempa di Kobe, Jepang tahun 1995 (gambar kiri) dan di Mexico city tahun 1985 (gambar kanan). Contoh kasus dari getaran gempa yang merusak kota San Francisco pada tahun 1906 adalah gempa yang epicenter-nya berada di sepanjang jalur patahan (sesar) San Andreas dan bagian dari segmen lepas pantai yang terletak disisi luar Golden Gate merupakan segmen yang bertanggung jawab terhadap kerusakan kota San Francisco.



**Gambar 4.17** Dampak dari getaran gempa (Ground shaking yang menyebabkan runtuhnya bangunan. Tampak dalam gambar bangunan di Mexico city yang diakibatkan oleh gempa bumi tahun 1985.

### 3. Longsor Tanah (*Mass Movement*)



Gambar 4.18 Gempa California tahun 1995 yang menyebabkan longsor tanah /mass-movement.

Berbagai tipe dan jenis luncuran dan longsor tanah umumnya dapat terjadi bersamaan dengan terjadinya gempa. Hampir semua longsor tanah dapat terjadi pada radius 40 km dari pusat gempa (epicenter) dan untuk gempa yang sangat besar dapat mencapai radius 160 km dan salah satu contoh adalah gempa bumi Alaska tahun 1964 yang memicu terjadinya longsor-longsor tanah yang terletak jauh dari epicenter gempa. Pada dasarnya getaran gempa lebih bersifat sebagai pemicu terjadinya longsor atau gerakan tanah. Dalam hal ini gempa bersifat meng-induksi terjadinya gerakan tanah, sedangkan longsor dan gerakan tanah baru akan terjadi apabila daya ikat antar butiran lemah, kejenuhan batuan/sedimen, porositas dan permeabilitas batuan/tanah tinggi.

### 4. Kebakaran

Kerusakan yang utama dan sering terjadi pada saat terjadinya gempa bumi adalah bahaya kebakaran. Hampir sembilan puluh persen kerusakan yang terjadi di kota San Francisco pada tahun 1906 adalah disebabkan oleh kebakaran yang berasal dari material bahan bangunan yang mudah terbakar, kerusakan peralatan yang berkaitan dengan listrik serta pecah dan patahnya saluran pipa gas, listrik, dan air. Pada umumnya gempa meng-induksi api yang berasal dari putusnya saluran listrik, gas, dan pembangkit listrik yang sedang beroperasi yang pada akhirnya menyebabkan kebakaran.

## 5. Perubahan Pengaliran (*Drainage Modifications*)

Terbentuknya danau yang cukup luas akibat amblesnya (subsidence) permukaan daratan seperti dataran banjir (*floodplain*), delta, rawa, yang diakibatkan oleh gempa bumi merupakan suatu permasalahan yang cukup serius. Perubahan pengaliran akibat penurunan permukaan daratan yang disebabkan oleh gempa memungkinkan terbentuknya danau-danau buatan dan reservoir baru serta rusaknya bendungan. Contoh kasus terjadinya perubahan pengaliran (*drainage*) adalah gempa yang terjadi pada tahun 1971 di San Fernando, California telah menyebabkan hancurnya bendungan Van Norman Dam, sedangkan gempa Alaska yang terjadi pada tahun 1864 meruntuhkan 2 Bendungan tipe earth-fill yang berada di selatan kota Anchorage. Kedua bendungan tersebut dilalui oleh suatu rekahan dan patahan yang memotong badan bendungan dan telah merubah pengaliran (*drainase*) yang ada di wilayah tersebut.

## 6. Perubahan Air Bawah Tanah (*Ground Water Modifications*)

Regim air bawah tanah dapat mengalami perubahan oleh perpindahan yang disebabkan oleh sesar atau oleh guncangan. Contoh kasus dari perubahan air bawah tanah adalah gempa yang terjadi disepanjang suatu patahan yang mengakibatkan terjadinya offset batuan di kedua sisi permukaan tanah dan aliran air bawah tanah di wilayah Santa Clara County, California, yaitu suatu wilayah yang terletak di bagian selatan teluk San Francisco. Dalam kasus ini kipas aluvial yang sangat luas yang terletak di Alameda Creek mengalami *offset*/perpindahan sejauh 2 km ke arah barat perbukitan. Gawir yang terbentuk oleh sesar setinggi 8 meter menutup saluran-saluran sungai yang menuju ke teluk San Francisco sehingga membentuk kolam-kolam yang sangat luas. Patahan ini juga berimbas pada air yang berada dibawah tanah, *offset* yang terjadi pada batuan yang berada di bawah tanah telah menyebabkan

lapisan batuan yang permeabel tertutup oleh lapisan batuan impermeabel sehingga mengakibatkan daerah yang berada diantara gawir dan perbukitan mendapat air bawah tanah yang melimpah sebaliknya daerah yang lain sedikit menerima air bawah tanah.

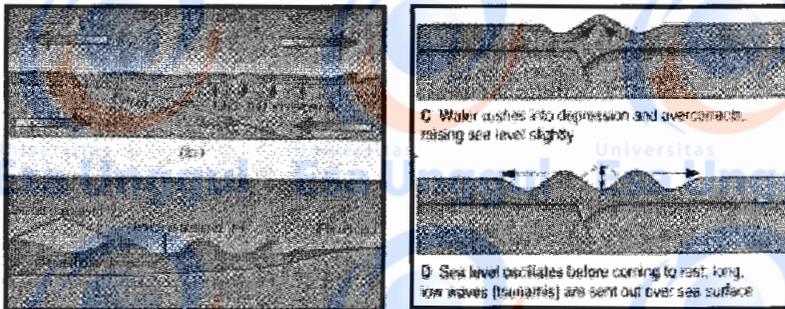
## 7. Tsunami

Tsunami adalah suatu pergeseran naik atau turun yang terjadi secara tiba-tiba pada dasar samudra pada saat terjadi gempa bumi bawah laut, akan menimbulkan gelombang laut pasang yang sangat besar yang lazim disebut "*tidal waves*". Istilah tsunami berasal dari bahasa Jepang yang telah digunakan secara luas, baik untuk gelombang pasang ("*tidal waves*") maupun gelombang yang disebabkan oleh gempa bumi atau yang lebih dikenal dengan istilah "*seismic sea waves*".

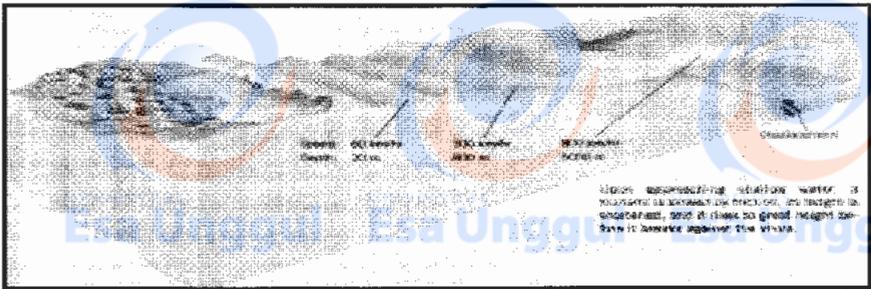
Mekanisme terjadinya tsunami (gambar 4. 19):

- 1) Diawali dengan terjadinya gempa yang disertai oleh pengangkatan sebagai akibat kompresi.
- 2) Gelombang bergerak keluar ke segala arah dari daerah yang terangkat

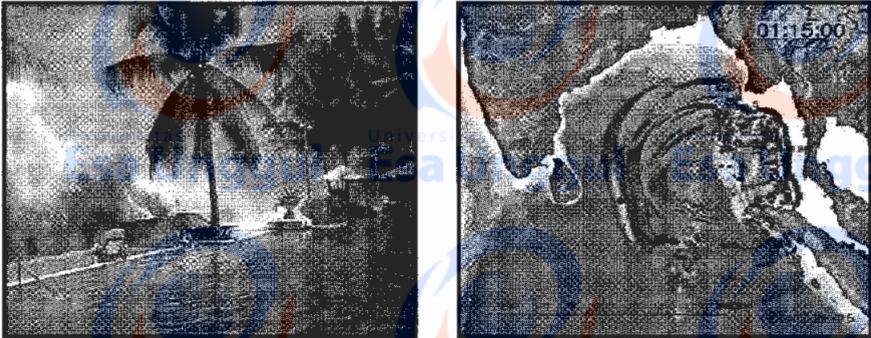
Panjang gelombang berkurang tetapi tingginya meningkat saat mencapai bagian yang dangkal, kemudian melaju ke arah darat dengan kecepatan +/-100 km/jam setelah sebelumnya surut dulu untuk beberapa saat (gambar 4.20).



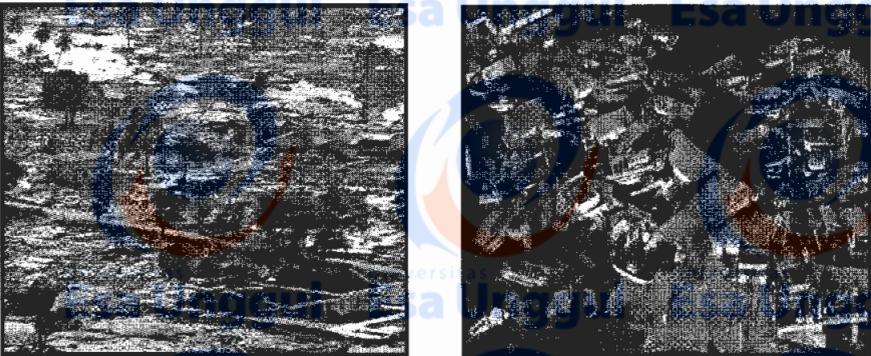
Gambar 4.19 Mekanisme terjadinya tsunami.



Gambar 4.20 Pergerakan kecepatan gelombang tsunami ke arah pantai / daratan.



Gambar 4.21 Gelombang tsunami yang menghantam pantai (kiri) dan simulasi model rambatan gelombang tsunami (kanan).



Gambar 4.22 Dampak bencana gelombang tsunami tanggal 26 Desember 2004 yang melanda Nangroe Aceh Darusalam (kiri) dan India (kanan).

#### 4.5.4 Penanggulangan Bencana Gempa Bumi

Bencana gempa bumi merupakan bahaya geologi yang sampai saat ini belum dapat diprediksi, para ahli gempa (seismologist) telah mencoba beberapa metoda untuk memprediksi gempa bumi, yaitu antara lain dengan cara:

- a. Mengukur getaran-getaran mikro melalui alat seismograf dan dapat mengetahui gelombang awal (*frontschock*) dari suatu gempa.
- b. Mengukur kedalaman air dan perubahan kedalaman muka air tanah pada pada sumur-sumur bor
- c. Mengukur miringnya permukaan tanah.
- d. Melakukan pengukuran kemagnetan (*magnetisme*) bumi
- e. Pengukuran unsur-unsur Radon di dalam sumur bor dan
- f. Mengukur sifat-sifat konduktivitas listrik

Dari keenam cara yang telah dilakukan oleh para ahli seismologist ternyata tingkat keberhasilannya sangat rendah. Usaha pencegahan terhadap bencana gempa bumi sangat sulit dan bahkan lebih sulit jika dibandingkan dengan memprediksi gempa bumi. Pencegahan terhadap gempa bumi tidak mungkin dilakukan dan mungkin tidak bisa.

Mitigasi bencana geologi pada hakekatnya adalah mengurangi resiko bencana geologi terhadap harta benda maupun jiwa manusia. Mitigasi merupakan suatu upaya kerjasama antara ahli-ahli teknik dan para pembuat kebijakan dan menghasilkan peraturan-peraturan pembangunan untuk suatu wilayah yang rentan bahaya geologi. Usaha-usaha dalam penanggulangan bencana untuk meminimalkan kerugian, baik kerugian harta benda ataupun jiwa manusia yang disebabkan oleh gempa bumi dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain adalah:

1. Melakukan pemetaan penyebaran lokasi-lokasi gempa yang disajikan dalam bentuk Peta Rawan Bencana Gempa bumi/ Seismik.

2. Membuat peraturan-peraturan yang berkaitan dengan desain struktur bangunan tahan gempa guna mencegah runtuhnya bangunan ketika terjadi gempa.
3. Tidak membangun bangunan di wilayah-wilayah yang rawan bencana gempa.
4. Menghindari lahan-lahan yang rawan gempa untuk areal pemukiman, dan aktivitas manusia.
5. Melakukan penataan ruang baik yang berada di sekitar pantai ataupun di daratan guna mencegah dan menghindari terjadinya korban jiwa dan harta serta dampak yang mungkin timbul ketika bencana itu terjadi.
6. Memasang Sistem Peringatan Dini (*Early Warning System*).

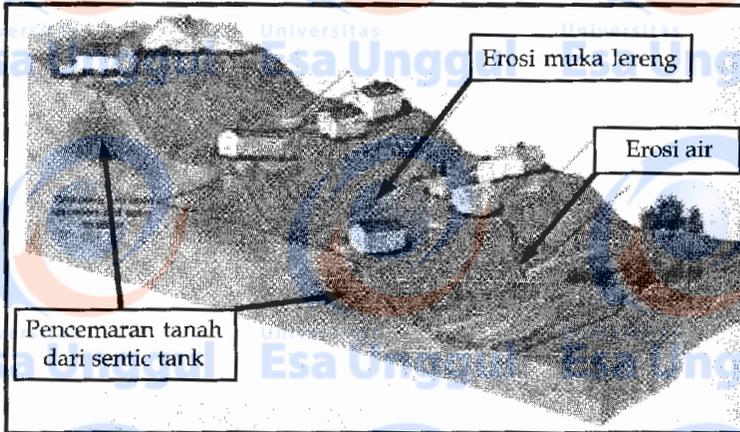
## 4.6 Bahaya Buatan

Bahaya buatan adalah bahaya yang ditimbulkan oleh perbuatan dan aktivitas manusia itu sendiri. Kegiatan pembangunan yang dilakukan manusia selain dapat menimbulkan dampak positif, dapat pula menimbulkan dampak negatif dan membahayakan kehidupan manusia (gambar 4.23). Keadaan yang membahayakan ini disebut sebagai bahaya buatan (*man made hazards*). Bahaya buatan antara lain terwujud dan terpicu atau meningkatkan bahaya geologi serta kerusakan lingkungan termasuk pencemaran.

Beberapa contoh bahaya geologi buatan yang kemungkinan dapat ditimbulkan oleh kegiatan pembangunan dan pemanfaatan lahan:

- a. Tekanan yang besar terhadap sumberdaya air, utamanya air tanah
- b. Pencemaran air permukaan dan air tanah dari tempat pembuangan sampah, limbah rumah tangga, limbah industri, dan limbah fasilitas perkotaan lainnya
- c. Perubahan bentang alam
- d. Perubahan neraca air
- e. Tekanan yang besar terhadap sumberdaya bahan bangunan
- f. Amblesan dan perusakan air

- g. Penyusupan (*intrusi*) air laut untuk daerah pantai
- h. Longsor dan erosi tanah di daerah perbukitan dan longsor karena kurang tepatnya pembangunan.



**Gambar 4.23** Aktivitas manusia dalam pemanfaatan lahan pada tanah berlereng yang dapat berakibat pada ketidak stabilan lereng dan membahayakan bagi manusia yang menghuni di kawasan tersebut.