

# Memahami GEOLOGI DAN SEJARAH BENCANA GEOLOGI DI INDONESIA

Oleh:

**Subagyo Pramumijoyo dan Dwikorita Karnawati**

Jurusan Teknik Geologi FT UGM

E-mail: bagyo@ugm.ac.id

## 1. Pendahuluan

Setiap orang mendambakan tempat tinggal yang aman dan nyaman. Tempat tinggal yang aman adalah tempat tinggal yang antara lain tidak akan terganggu oleh peristiwa alam seperti longsor, banjir, dan gempa bumi. Oleh karena itu isu tentang kehadiran tanda-tanda, baik sebagai hasil atau pun gejala peristiwa alam tersebut; termasuk struktur geologi; bisa meresahkan masyarakat.

Struktur geologi yang dimaksud di sini adalah struktur yang terbentuk setelah batuan terbentuk dan merupakan hasil deformasi akibat gaya yang bekerja pada batuan dalam waktu yang panjang. Deformasi pada batuan dan kulit bumi dapat berlangsung baik secara rapuh (*brittle*) ataupun secara menerus (*ductil*). Struktur-struktur yang dihasilkan dapat berupa kekar (*joint*), sesar (*fault*), lipatan (*fold*), foliasi (*foliation*), dan liniasi (*lineation*). Kehadiran kekar, sesar dan foliasi pada batuan bisa memperlemah kekuatan (*strength*) batuan, sedangkan pergeseran sesar (tektonik) dapat menimbulkan gempa bumi, tsunami, ataupun perubahan topografi sehingga suatu daerah pantai bisa tenggelam ataupun di tempat lain terjadi tanah longsor yang bisa membentuk bendung alam suatu aliran sungai sehingga mengakibatkan banjir. Itu semua boleh dikatakan merupakan proses alam biasa, tetapi jika sudah ada unsur manusia di dalamnya, termasuk infrastruktur, maka barulah hal tersebut disebut bencana. Di dalam manajemen bencana, usaha untuk meminimalkan dampak negatif suatu peristiwa dimasukkan sebagai usaha mitigasi.

Di dalam tulisan ini akan ditinjau proses yang ada di permukaan bumi, setelah itu akan dibahas struktur geologi kekar dan sesar yang merupakan bagian dari proses asal dalam, serta kaitannya dengan bencana alam gempa bumi dan tsunami, gerakan tanah, banjir, serta letusan gunung api yang merupakan bencana geologi.

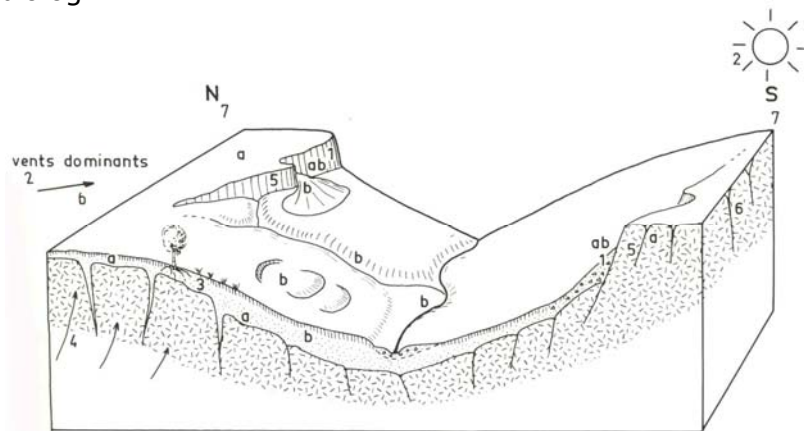
## 2. Proses di Permukaan Bumi

Permukaan bumi merupakan wilayah interaksi antara proses yang berasal dari dalam bumi (proses pembentukan batuan dan struktur geologi) dengan proses asal luar (siklus hidrologi, angin, dan iklim). Hasil dari interaksi tersebut di permukaan bumi dijumpai kenampakan gunung, bukit, lembah, tebing yang curam, dataran luas, *plateau*, yang biasa disebut sebagai bentang alam. Klasifikasi bentang alam secara umum didasarkan kepada kelerengan dan letak ketinggiannya (diukur dari muka laut). Muka air laut dianggap sebagai batas ekuilibrium; jika berada di atas muka air laut cenderung akan terjadi erosi, sedangkan di bawah muka air laut akan terjadi sedimentasi.

Lereng sebagai salah satu kenampakan penting di dalam bentang alam, di dalam waktu yang panjang akan berevolusi dan material permukaan pada lereng akan bergerak turun karena gaya gravitasi. Faktor-faktor dinamik proses pembentukan bentang alam dapat dibedakan menjadi faktor pasif dan faktor aktif (gambar 1).

Faktor pasif berkaitan erat dengan keadaan lapisan bawah permukaan dan produknya di bagian permukaan. Hal ini sangat dipengaruhi oleh jenis litologi (batuan), kemiringan per lapisannya (perlapisan tegak, miring ataupun mendatar), strukturnya (banyak terdapat rekahan), dan posisinya di dalam bentang alam (pada lembah, tebing ataupun puncak).

Faktor aktif berkaitan erat dengan agen erosi, yaitu: iklim, tektonika aktif (gempa bumi), dan perubahan sudut kelerengan, serta proses biologi.

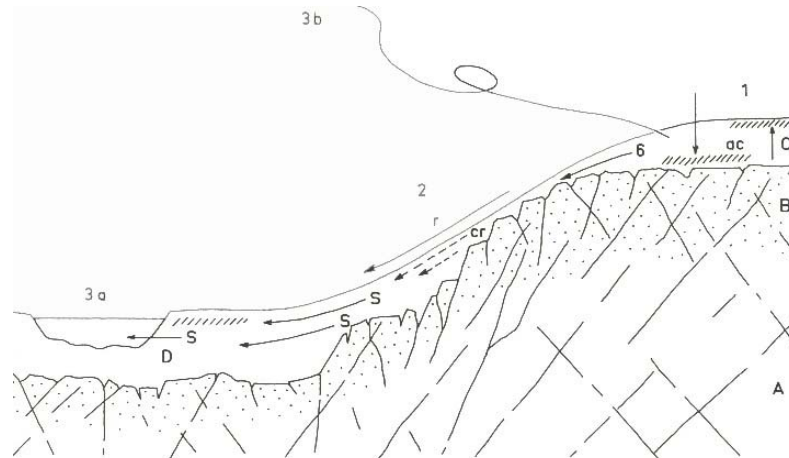


**Gambar 1. Dinamika proses di permukaan bumi (Campy & Macaire, 1989)**  
Faktor aktif: 1. Gravitasi, 2. Iklim, 3. Aksi biologi, 4. Tektonika aktif.

**Faktor pasif:** 5. Batuan/litologi, 6. Struktur yang telah ada, 7. Posisi di permukaan.

a: Pelapukan, b: transport sedimen.

Akibat kombinasi unsur-unsur di kedua faktor tersebut, batuan akan mengalami degradasi menjadi tanah. Peristiwa ini biasa disebut sebagai pelapukan (*weathering*). Pelapukan dapat berlangsung secara fisis maupun kimiawi. Akibat pelapukan daya kohesi batuan menjadi berkurang dan jika tanah tersebut berada pada suatu lereng, dan akibat gaya gravitasi, maka akan bergerak ke bawah, baik secara perlahan (*creeping*) ataupun cepat (*sliding*). Selanjutnya oleh agen transport (air ataupun angin) tanah tersebut diangkut ke tempat yang lebih jauh sebagai sedimen (gambar 2).

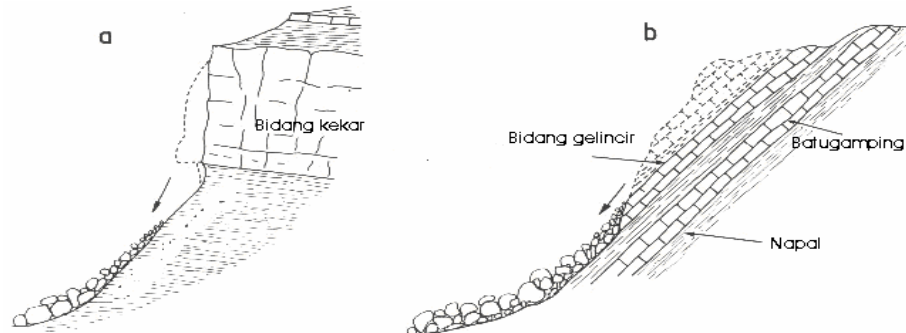


**Gambar 2. Pembentukan tanah dan transport sedimen (Campy & Macaire, 1989)**

1. Pelapukan/pembentukan tanah, ac: zona akumulasi. 2. Daerah gerakan tanah, S: material larutan, Cr: *creeping*, r: gerakan tanah di permukaan. 3. Transport sedimen 3a: oleh air, 3b: oleh angin. A: batuan induk, B: batuan mengalami alterasi, C: regolit, D: kompleks dasar lembah.

Secara umum, setiap daerah memiliki kondisi geologi yang unik, yaitu: sejarah, struktur atau kehadiran bidang diskontinyu, dan heterogenitas pada batuan atau tanah yang berbeda-beda sehingga ekstrapolasi jarang dapat dilakukan secara umum. Menurut Campy & Macaire (1989), sebagian longsoran berada di daerah longsoran purba yang mengalami reaktivasi secara periodik akibat kondisi eksternal yang luar biasa. Dimensi unsur geologi juga mempengaruhi dimensi longsoran, semakin besar dimensi unsur geologi yang terlibat akan cenderung semakin besar cakupan gerakan tanah.

Dari tinjauan di atas tampak bahwa struktur geologi hanyalah salah satu unsur geologi yang berperan di dalam kejadian bencana tersebut.



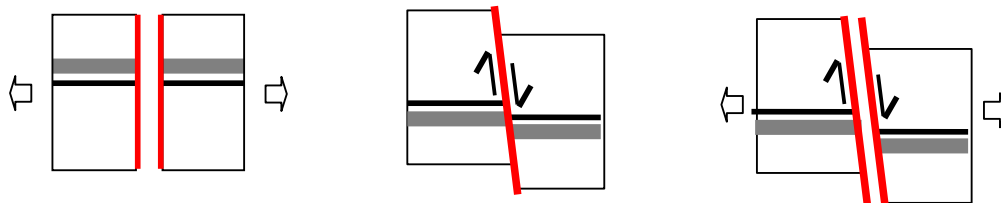
**Gambar 3. Gerakan tanah akibat keadaan geologi dan struktur geologinya (Campy & Macaire, 1989)**

- a. Batuan sedimen berlapis, runtuhannya dikontrol oleh kehadiran struktur kekar
- b. Longsor dikontrol oleh kemiringan bidang perlapisan

**3. Struktur Geologi Kekar dan Sesar.**

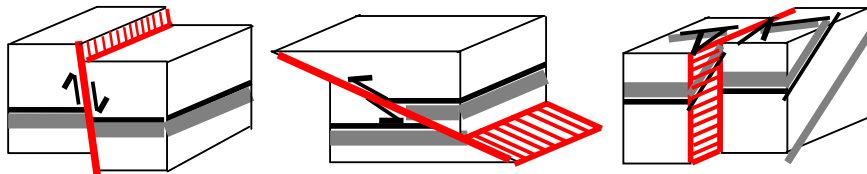
Struktur geologi yang banyak diungkap berperan pada bencana geologi adalah kekar dan sesar.

**Kekar** (*joint*) secara sederhana dikatakan sebagai rekahan berbentuk teratur pada masa batuan yang tidak menampakkan (dilihat dengan mata telanjang) telah terjadi pergeseran pada kedua sisi-sisinya. Secara umum dibedakan menjadi empat (McClay, 1987), yaitu kekar tarik (rekahan yang membuka akibat gaya ekstensi yang berarah tegak lurus terhadap arah rekahan), kekar gerus (biasanya berpasangan merupakan suatu set dan lurus, terdapat pergeseran yang diakibatkan oleh gaya kompresi), kekar hibrid (berkenampakan sebagai kekar gerus yang membuka, kombinasi antara kekar gerus dan kekar tarik), dan kekar tarik tak beraturan (arah kekar tak beraturan, sering merupakan akibat *hydraulic fracturing*). Kehadiran kekar pada batuan dapat meningkatkan porositas batuan, sehingga mampu menyimpan air (sebagai aquifer) ataupun hidrokarbon (sebagai reservoir), sebaliknya juga memperlemah kekuatan batuan. Kehadiran kekar di dekat permukaan juga dapat mempercepat proses pelapukan batuan.



**Gambar 4. Kekar tarik (kiri), kekar gerus (tengah), dan kekar hibrid (kanan).**

**Sesar** / patahan (*fault*) yang dikenal juga sebagai patahan adalah rekahan pada masa batuan yang telah memperlihatkan gejala pergeseran pada ke dua belah sisi bidang rekahan (Simpson, 1968). Berdasar kinematikanya, secara garis besar, dibedakan menjadi sesar turun, sesar naik, dan sesar geser (gambar 5). Sesar yang dimaksud adalah pergeseran yang disebabkan oleh gaya tektonik.



Gambar 5. Sesar turun (kiri), sesar naik (tengah), dan sesar geser (kanan).

### 3.1. Jenis sesar berdasarkan aktivitasnya

Berkaitan dengan dinamika kerak bumi dan rentang waktu geologi yang panjang, kehadiran sesar dapat dibedakan menjadi **sesar mati** dan **sesar aktif**. Sesar mati adalah sesar yang sudah tidak (akan) bergerak lagi, sedangkan sesar aktif adalah sesar yang pernah bergeser selama 11.000 tahun terakhir dan berpotensi akan bergerak di waktu yang akan datang (Yeats, Sieh & Allen, 1997). Sesar aktif dikenal pula sebagai bagian dari peristiwa gempa bumi. Peristiwa gempa bumi bisa menimbulkan sesar di permukaan (*surface faulting*) sebagai kemenerusan apa yang terjadi di dalam kerak bumi (Scholz, 1990) ataupun tidak menghasilkan sesar di permukaan. Hal ini tampak jelas seperti apa yang terjadi pada gempa bumi di Liwa pada tahun 1994 yang memberikan sesar di permukaan (Pramumijoyo & Natawidjaja, 1994) dan di Yogyakarta tahun 2006 yang tidak jelas kenampakannya di permukaan, yang keduanya merupakan sesar geser. Demikian juga peristiwa gempa bumi di Aceh tahun 2004, telah terjadi pensesaran naik di dasar laut, sehingga mampu membangkitkan gelombang pasang tsunami yang mengakibatkan ratusan ribu korban jiwa dan kehancuran pemukiman di beberapa kota.

Panjang, lebar dan pergeseran suatu sesar tektonik saat gempa bumi sangat bervariasi. Di Amerika dilaporkan bahwa pergeseran sesar bisa mencapai lebih dari 20 kaki, panjang pensesaran bisa mencapai lebih dari 200 mil dengan lebar zona pensesaran bervariasi dari 6 sampai dengan 1000 kaki dan zona pensesaran ini bisa mencapai jarak 3 mil dari sesar utamanya (Hays, 1981).

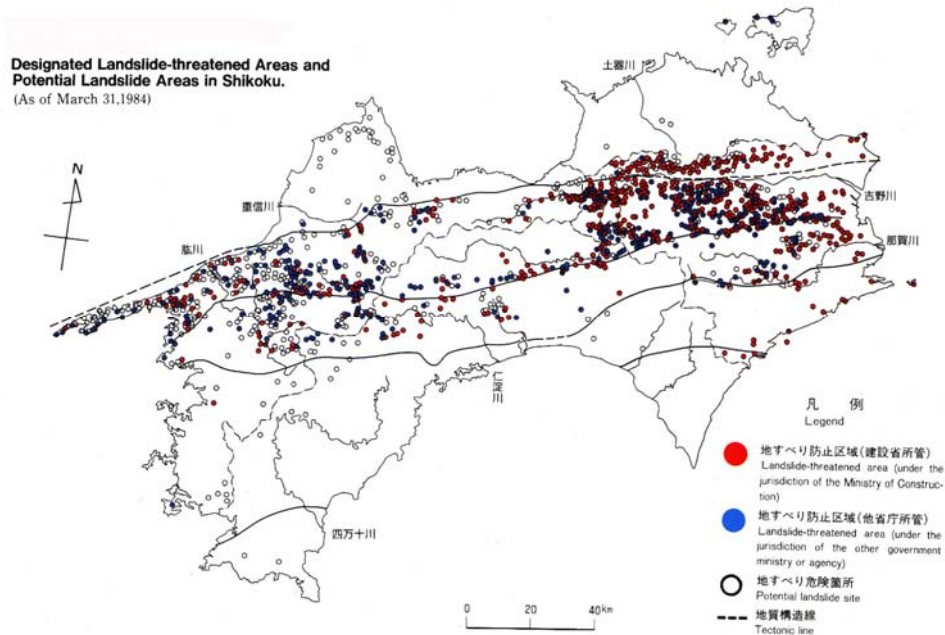
Saat gempa bumi Liwa 1994, ditemui beberapa kerusakan rumah akibat tanah longsor sebagai peristiwa penyerta gempa bumi. Di samping itu dilaporkan bahwa sebuah rumah yang dilewati suatu rekahan/sesar sepanjang 300 m dengan pergeseran kurang dari 5 cm, telah roboh, sedangkan bangunan di sampingnya dengan bahan dan konstruksi serupa yang tidak dilewati rekahan tidak mengalami kerusakan sama sekali (Pramumijoyo & Natawidjaja, 1994).

### 3.2. Studi Sesar Aktif

Meramal kapan sesar bergeser sama dengan meramal kapan gempa bumi akan terjadi, suatu hal yang sampai saat ini masih tidak mudah dilakukan. Hal ini disebabkan bahwa proses ini merupakan bagian proses geodinamik yang membutuhkan waktu panjang, sehingga siklus pensesaran itu sendiri berlangsung cukup panjang antara puluhan sampai ratusan tahun.

Penelitian sesar aktif merupakan bagian dari penelitian geologi gempa bumi (*earthquake geology*) dengan tujuan untuk memahami potensi gempanya di masa datang (Pantosti, Schwartz & Okumura, 2000). Dari studi geologi gempa bumi dapat diperoleh gambaran siklus gempa bumi pada suatu sesar. Di satu pihak bisa memberikan kontribusi pemahaman proses/genesa gempa bumi dan waktu ulang gempa bumi besar di suatu daerah; di lain pihak studi geologi gempa bumi akan memberikan dampak sosial berkaitan dengan aplikasinya di dalam mitigasi bencana gempa bumi beserta potensi bencana yang menyertainya, termasuk longsor ataupun banjir.

Seperti yang terjadi di Jepang, pada skala peta yang kecil, tampak jalur longsor berimpit dengan jalur gempa bumi atau tektonika aktif (gambar 6).



Gambar 6. Peta longsor (bulatan) dan sesar (garis) di P. Shikoku, Jepang (Editorial Supervision, 2000).

### 4. Kehadiran Sesar dan Kekar di Kawasan Permukiman

Kehadiran suatu sesar ataupun kekar di kawasan permukiman tidak selalu merisaukan. Untuk sesar mati, di dalam proses geologi masa

lampau sering terisi oleh mineralisasi yang dapat menjadi perekat bidang rekahan, sehingga sifat mekanik batuan tidak mengalami perubahan yang besar. Kehadiran kekar, sesar atau zona sesar perlu diwaspadai jika rekahan-rekahannya tampak terbuka (tanpa perekat) dan berada pada daerah yang berrelief besar, karena berpotensi terjadi longsor.

Untuk zona sesar yang dikategorikan aktif sedapat mungkin dihindari mengembangkan kawasan permukiman atau pun industri kimia/nuklir, karena faktor ketidakpastian waktu kejadian di masa yang akan datang cukup tinggi.

Di California yang sering terjadi pensesaran (bersamaan dengan gempa bumi) telah disusun aturan bahwa untuk membangun suatu bangunan permukiman harus melalui penelitian geologi terlebih dulu. Jika terdapat jejak sesar aktif maka bangunan harus berjarak tidak boleh kurang dari 50 kaki dari jejak sesar tersebut; bahkan mulai 1 Juni 1998 dengan diberlakukannya *Natural Hazards Disclosure Act* di negara bagian ini, para pengembang wajib memberikan informasi kepada calon pembelinya tentang lokasi permukiman yang dibangun terhadap peta bencana alam yang dikeluarkan oleh negara bagian (Anonim, 1999).

## 5. Bencana Geologi

**Bencana geologi** adalah unsur geologi yang **merugikan** manusia. Yang termasuk bencana geologi antara lain adalah gempa bumi dan tsunami, gerakan tanah dan banjir, letusan gunung api yang merugikan manusia.

### Gempa bumi dan tsunami

Gempa bumi adalah getaran di permukaan bumi / tanah yang terjadi karena pelepasan energi secara tiba-tiba oleh batuan yang berada di bawah permukaan atau seperti diterangkan di atas karena batuan mengalami pematahan atau pensesaran. Gempa bumi dengan magnitudo cukup besar ( $m_b \geq 5,9$  skala Richter) mampu merusakkan bangunan. Gempa bumi bisa merusak melalui dua cara, yaitu langsung dari getarannya yang memberikan efek gaya horisontal, dan secara tidak langsung melalui *liquefaction* (Chandler, 1977).

**Magnitudo/besaran gempa bumi** adalah energi yang dilepaskan saat gempa bumi, biasanya diukur dari rekaman gelombang seismik. Skala Richter dipergunakan untuk menentukan besaran gempa menengah yang episentrumnya kurang/sama dengan 100 km dari seismograf ( $M_s$ ). Semakin besar magnitudo gempa bumi, semakin luas dan semakin lama orang merasakannya. Gempa bumi adalah suatu peristiwa yang kompleks, sehingga untuk menilainya pun diperlukan cara lain yaitu:  $m_b$  (*body wave*) menggunakan gelombang P yang berperiode 1-10 detik;  $M_s$  (*surface wave*) menggunakan gelombang Rayleigh yang berperiode 18-22 detik. Jika dibandingkan dengan sesar yang terbentuk maka yang dipakai adalah moment seismik ( $M_o$ ) dan masih ada lagi untuk gempa bumi berskala besar yaitu  $M_w$  (*moment magnitude scale*) =  $2/3 \log_{10} (M_o) - 6$ . Gempa bumi di Alaska tahun 1964 memiliki  $M_s = 8,5$ ,  $M_w = 9,2$  dan untuk gempa Chili tahun 1960 memiliki  $M_s = 8,5$ ,  $M_w = 9,5$ .

Adapaun Skala Richter untuk magnitudo gempa bumi adalah sebagai berikut.

< 2	Secara umum getaran tak terasa tetapi terekam oleh seismograf
2 - 2,9	Getaran hampir terasa oleh sebagian kecil orang
3 - 3,9	Getaran terasa oleh sebagian kecil orang
4 - 4,9	Getaran terasa oleh hampir semua orang
5 - 5,9	Getaran mulai menimbulkan kerusakan bangunan
6 - 6,9	Getaran menimbulkan kerusakan
7 - 7,9	Gempa skala besar, getaran kuat, menimbulkan kerusakan besar
8 - 9	Gempa dahsyat, getaran sangat kuat dan meluluh lantakkan bangunan

**Intensitas gempa bumi** adalah suatu skala yang berdasarkan pengalaman pribadi yang pertamakali ditemukan oleh Giuseppe Mercalli pada tahun 1902 kemudian dimodifikasi oleh Charles Richter pada tahun 1956. Skala ini terdiri dari 12 pembagian intensitas gempa bumi dan ditulis memakai huruf romawi.

Skala intensitas gempa bumi (*Modified Mercalli scale of earthquake Intensity / MMI*) :

- I Tidak terasa kecuali oleh sangat sedikit orang pada lingkungan yang sangat memungkinkan untuk merasakan.
- II Terasa oleh sedikit orang yang sedang istirahat diatas lantai dan benda yang tergantung tampak bergoyang.
- III Terasa terutama bagi mereka yang berada di lantai atas tetapi tidak dirasakan sebagai gempa bumi. Getarannya seperti jika terdapat mobil/truk lewat.
- IV Dirasakan oleh beberapa orang terutama di dalam rumah. Mereka yang sedang tidur-tidur akan terbangun dan getarannya seperti kalau ada truk berat yang lewat di samping kita. Mobil yang diam mengalami getaran. Jendela, pintu dan piring-piring bergetar.
- V Terasa oleh semua orang yang berada di dalam rumah dan di luar dirasakan oleh banyak orang. Beberapa orang berhamburan ke luar rumah dan beberapa memecahkan piring, benda-benda terbuat dari gelas, dan juga jendela bergetar hebat. Pada dinding terdapat beberapa rekahan kecil pada plesternya. Menggerakkan benda-benda kecil, cairan mulai bergoyang dan bandul jam terganggu sehingga jam mati.
- VI Terasakan oleh semua orang dan membuat ketakutan sehingga berhamburan ke luar rumah. Beberapa rumah retak dindingnya. Piring, gelas dan kaca jendela banyak yang pecah. Buku-buku dan gambar di dinding berjatuhan, meja-meja bergerak, rak-rak terguling. Kerusakan ringan.
- VII Menakutkan semua orang, susah untuk berdiri. Kerusakan terdapat pada bangunan yang kurang baik konstruksinya, dan akan rusak erat bagi bangunan yang tua atau tidak baik konstruksinya. Beberapa cerobong asap runtuh. Terjadi tanah longsor kecil, menyebabkan air mengalami tubulensi.
- VIII Ketakutan dan panik bagi sebagian orang. Mengganggu para pengendara mobil. Lemari pakaian yang berat roboh. Rumah yang baik perencanaannya pun mengalami kerusakan kecil, tetapi bangunan yang kurang baik perencanaannya akan runtuh. Sebagian besar tembok, cerobong asap, tower dan monumen berjatuhan. Air sumur terguncang dan rekahan muncul pada tanah basah.

- IX Panik bagi semua orang. Rusak bagi bangunan yang sudah direncanakan untuk tahan gempa bumi. Rekahan pada tanah sangat jelas. Pipa-pipa bawah tanah mengalami kerusakan. Pada endapan yang lunak, pasir dan lumpur dilemparkan ke luar.
- X Sebagian rumah hancur, bangunan kayu dan jembatan rusak. Rekahan pada tanah menyebabkan kerusakan pada dam. Longsoran besar terjadi pada dinding yang curam dan pada tepi-tepi sungai. Rel kereta api meliuk ringan.
- XI Rumah-rumah hancur. Kerusakan besar pada dam. Tiang penyangga jembatan runtuh. Beberapa tanah longsor terjadi. Pipa-pipa bawah tanah tak berfungsi sama sekali. Rel kereta api meliuk berat.
- XII Kerusakan mendekati keseluruhan. Permukaan tanah tampak bergerak seperti gelombang. Benda-benda berhamburan ke udara.

**Tsunami**, kata ini berasal dari Jepang, tsu berarti pelabuhan, nami berarti gelombang. Tsunami dipergunakan untuk gelombang pasang yang memasuki pelabuhan. Pada laut lepas, misal terjadi gelombang pasang sebesar 8 m tetapi begitu memasuki daerah pelabuhan yang menyempit tinggi gelombang pasang menjadi 30 m. Tsunami biasa terjadi jika gempa bumi berada di dasar laut dengan pergerakan/pensesaran vertikal yang cukup besar. Tsunami juga bisa terjadi jika terjadi letusan gunung api di laut atau terjadi longsor di laut.

Korban gempa bumi pada umumnya diakibatkan oleh kejatuhan reruntuhan tempat tinggal mereka, sehingga kebanyakan korban menderita patah tulang ataupun tergecet.

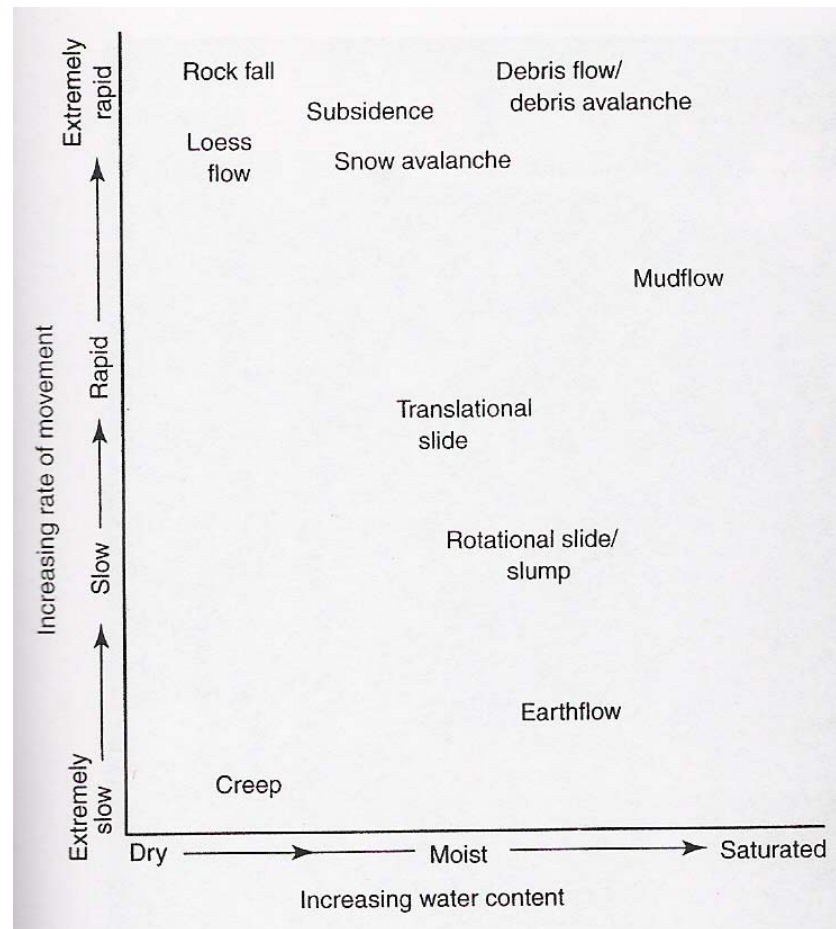
### **Gerakan tanah dan banjir**

Bencana alam seperti gerakan tanah, terutama longsor, dapat terjadi pada berbagai skala dan kecepatan. Di alam, banjir dan longsor sering terjadi hampir bersamaan dan disebabkan oleh hujan yang sangat lebat yang di dalam gerakan tanah disebut sebagai unsur pemicu. Pemicu gerakan tanah yang lain adalah gempa bumi dan semakin umum adalah akibat ulah manusia.

Ada dua faktor penting di dalam menentukan tipe-tipe gerakan tanah, yaitu: kecepatan gerakannya dan kandungan air di dalam materi yang mengalami gerakan tanah. Tipe-tipe gerakan tanah tersebut adalah **jatuhan** (*falls*), **aliran** (*flows*), **longsoran** (*slides*), dan **amblesan** (*subsidence*).

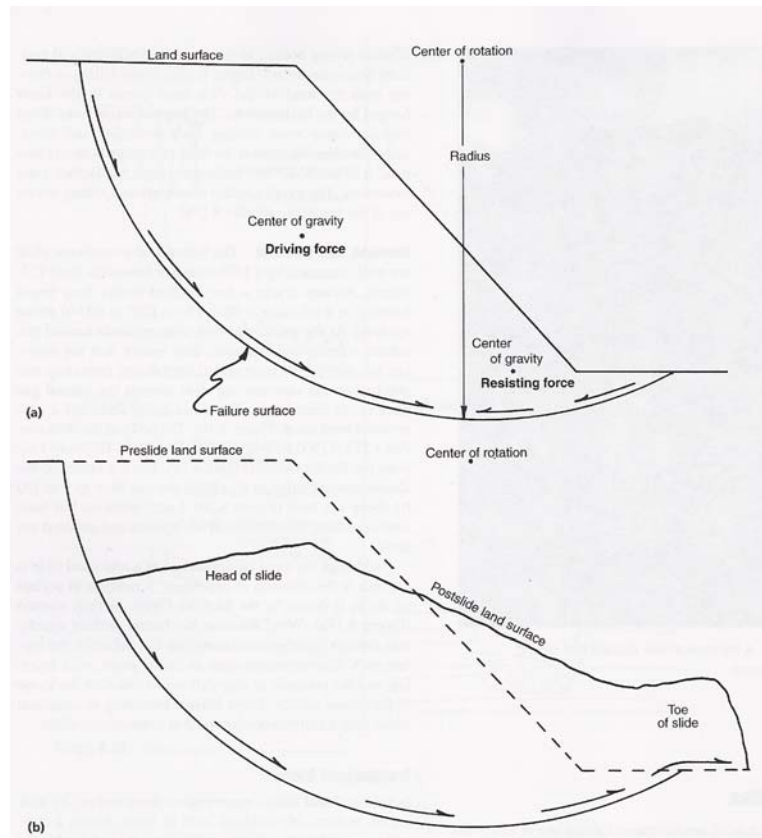
Jatuhan terjadi bila suatu masa batuan pada suatu ketinggian terpisah dari batuan induknya, bisa oleh karena kekar (*joint*), bidang perlapisan, jatuh bebas dan setelah mengenai tanah masa batuan tersebut kemudian menggelinding. Pemicu jatuhan bisa karena hujan lebat, gempa bumi dan beberapa penyebab lain.

Aliran adalah gerakan tanah yang berperilaku seperti fluida. Material yang mengalir bisa berukuran bongkah sampai dengan lempung; dengan atau tanpa kandungan air.



**Gambar 7. Klasifikasi gerakan tanah berdasar kecepatan dan kandungan airnya (Abbott, 2004).**

Longsoran dapat dibedakan menjadi dua, yaitu longsoran rotasional dan longsoran planar/translational. Longsoran rotasional inilah yang umum dijumpai, longsoran bergerak melalui bidang rotasional yang sumbunya sejajar dengan lereng batuan. Pada keadaan tidak terjadi longsor (gambar 8a), maka akan terjadi keseimbangan antara *driving force* terhadap *resisting force*. Jika *driving force* lebih besar dari *resisting force* maka terjadilah longsor dan bila longsor terjadi, maka bagian kepala (*head of slide* pada gambar 4b) akan turun dan pada bagian *toe* akan terangkat (gambar 8b). Setelah terjadi longsor pada kepala terbentuk cekungan, air terakumulasi padanya dan air tersebut meresap ke dalamnya sehingga kepala menjadi tidak stabil. Di samping itu, di atas kepala longsoran meninggalkan tebing yang lebih curam dibanding sebelum longsor dan hal inilah yang menyebabkan longsoran berulang kembali di tempat yang sama.



**Gambar 8. Analisis stabilitas lereng pada longsoran rotasional (Abbott, 2004).**

a. Sebelum terjadi longsor b. Setelah terjadi longsor

Longsor translasional terjadi pada bidang yang lemah seperti bidang sesar/patahan, bidang kekar, lapisan yang kaya akan lempung, atau terjadi pada batuan keras berada di atas batuan yang lunak.

Amblesan atau tanah bergerak ke bawah bisa disebabkan oleh kompaksi sedimen di bawahnya, pemompaan air/minyak, ataupun karena rongga di bawah tanah, jadi bukan karena tetonika ataupun vulkanisme.

Gangguan yang merupakan pemicu gerakan tanah merupakan proses alamiah atau non alamiah ataupun kombinasi keduanya, yang secara aktif mempercepat proses hilangnya kestabilan pada suatu lereng. Jadi pemicu ini dapat berperan dalam mempercepat peningkatan gaya penggerak/peluncur/*driving force*, mempercepat pengurangan gaya penahan gerakan/*resisting force*, ataupun sekaligus mengakibatkan keduanya.

Secara umum gangguan yang memicu gerakan tanah dapat berupa :

- a. hujan
- b. getaran
- c. aktivitas manusia.

Hujan merupakan pemicu yang bersifat alamiah, getaran-getaran dapat bersifat alamiah (misalnya gempa bumi) ataupun non alamiah (misalnya ledakan atau getaran lalu lintas). Aktivitas manusia seperti penggalian atau pemotongan pada lereng dan pembebanan merupakan pemicu yang bersifat non alamiah.

Meskipun suatu lahan atau kawasan berdasarkan kondisi alamnya rentan (berpotensi) untuk bergerak atau longsor, potensi terjadi gerakan tanah ini dapat diminimalkan dengan beberapa langkah berikut.

- a. Identifikasi zona yang rentan bergerak
- b. Identifikasi faktor kunci penyebab gerakan tanah
- c. Menerapkan rekayasa untuk :
  - meminimalkan pemicu atau pengaruh pemicu
  - memperkuat lereng

Korban akibat gerakan tanah/batuan biasanya tertimbun yang bisa menyebabkan patah tulang dan sesak napas. Jika korban karena banjir bandang biasanya juga menderita patah tulang ataupun akibat benturan balok-balok kayu ataupun batuan yang bisa berukuran besar.

### **Letusan gunung api**

Letusan gunung api juga merupakan ancaman bagi masyarakat yang tinggal di wilayah sekitarnya. Pengaruhnya secara keruangan bisa dibatasi tergantung jenis dan besar letusannya. Seperti gunung Merapi yang disertai peralatan pemantau yang cukup, aktivitasnya bisa dipantau menit demi menit, sehingga korban jiwa bisa diminimalkan.

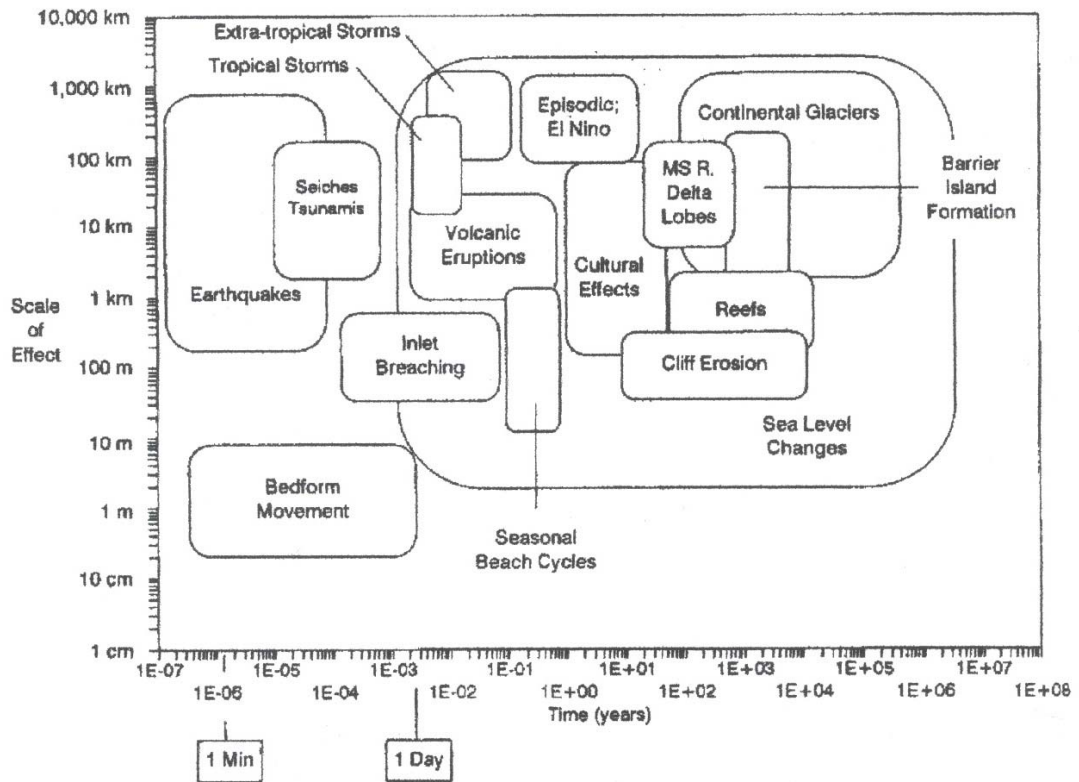
Bahaya gunung api dapat dibagi menjadi dua, yaitu bahaya langsung (primer) dan bahaya ikutan (sekunder). Bahaya langsung dapat terjadi karena lemparan batuan/bom, aliran lava dan hembusan letusan seperti hembusan awan pijar, gas beracun dan hujan abu yang pekat. Bahaya ikutan adalah bahaya yang timbul karena aliran lumpur yang tercampur dengan batuan (Sudrajat, 2000). Aliran ini berupa banjir dan sering kali disebut sebagai lahar, baik yang masih panas ataupun yang sudah mendingin. Aliran lahar mengikuti lereng gunung api. Lahar terbentuk dari batuan yang dilemparkan dari pusat letusan, baik berupa bom, abu ataupun longsor kubah lava. Air hujan yang turun bersamaan dengan letusan ataupun sesudahnya menimbulkan lahar yang dapat menyapu perkampungan, persawahan ataupun jembatan-jembatan.

Melihat berbagai cara gunung api untuk menimbulkan bencana, maka bisa jadi korban diakibatkan oleh luka bakar akibat awan panas, gangguan pernapasan akibat abu, ataupun keracunan oleh gas. Jika lahar yang melanda, maka tidak berbeda dengan korban akibat banjir bandang.

## **6. Skala Ruang dan Waktu**

Berbagai peristiwa yang memiliki kaitan dengan longsor dan banjir, antara lain iklim, termasuk di dalamnya kejadian El Nino yang dapat mengakibatkan kekeringan atau curah hujan berlebihan di suatu daerah. Jika curah hujan berlebihan dari curah hujan biasa maka bisa memicu longsor ataupun banjir (gambar 9). El Nino mempunyai siklus 4-10 tahunan dengan pengaruh keruangan/spasial sampai dengan ribuan kilometer persegi dan kehadirannya bisa dipantau melalui satelit, sehingga bisa diduga kapan El Nino memberikan curah hujan berlebihan di suatu daerah. Saat itulah merupakan saat waspada gerakan tanah/longsor maupun banjir.

Wilayah Indonesia bagian selatan dan timur merupakan jalur gempa bumi yang juga bisa memicu longsor. Siklus suatu gempa bumi bisa puluhan sampai ratusan tahun, namun saat terjadi hanya berlangsung beberapa detik saja dan akibatnya bisa mencakup daerah seluas ratusan kilometer persegi (gambar 9).



Gambar 9. Skala waktu dan waktu beberapa peristiwa (John, 1995)

Oleh karena itu dalam rangka upaya mitigasi bencana, perlu kiranya dipertimbangkan arti perbedaan dimensi dari setiap peristiwa tersebut untuk diletakkan di dalam kerangka skala waktu maupun skala ruang pemicunya.

## 7. Beberapa Sejarah Bencana Geologi di Indonesia

Dari catatan sejarah, gempa bumi dan tsunami yang pernah terjadi di Indonesia meliputi:

- 1943, Gempa bumi Yogyakarta : 2800 rumah hancur, 213 orang meninggal, 2096 orang luka-luka.
- 24 Januari 1965: Kep. Seram; kekuatan 7,6 SR dan tinggi gelombang 4 m; 71 orang meninggal dunia.
- 11 April 1967: Selat Makasar; kekuatan 5,5 SR dan tinggi gelombang 3 m; 58/13 orang meninggal.
- 14 Agustus 1968: Sulawesi Utara; kekuatan 7,7-7,8 SR dan tinggi gelombang 10 m; 200/392 orang meninggal.
- 19 Agustus 1977: Kepulauan Sunda; kekuatan 8 SR dan tinggi gelombang 15 m; 189 orang meninggal.
- 18 Juli 1979: Kepulauan Lombok; tinggi gelombang 10 m; 539-540 orang meninggal dunia.
- 12 September 1979: Irian Barat; kekuatan 8.1 SR dan tinggi gelombang 2 m; 100/15 orang meninggal.
- 12 Des 1992: Flores; kekuatan 7,5 SR dan tinggi gelombang 26 m merupakan akibat gempa bumi dan longsoan; 2.080 orang meninggal dunia.
- 15 Feb 1994: Gempa bumi Liwa; kekuatan 7 SR; 7 orang meninggal dunia.
- 2 Juni 1994: Jawa Timur; kekuatan 7,2 SR dan tinggi gelombang 12 m; sekitar 200 orang meninggal dunia.
- 1 Jan 1996: Sulawesi; kekuatan 7,6 SR dan tinggi gelombang 5/3,43 m; 9/24 meninggal dunia.
- 17 Feb 1996: Irian Jaya; kekuatan 8,1 SR dan tinggi gelombang 7,7 m; 127 orang meninggal dunia.
- 24 Des 2004: Aceh; kekuatan 9,1 SR dan tinggi gelombang mencapai 40 m; sekitar >100.000 orang meninggal.
- 27 Maret 2006 Gempa bumi Yogyakarta, 6.234 orang meninggal, > 50.000 luka-luka, >70.000 bangunan rusak/ambruk.

Beberapa bencana gerakan tanah dan banjir bandang di tahun 2000an, antara lain:

- Gerakan masa tanah/batuan di desa Windusakti, Kab. Brebes (23 Februari 2000) telah menelan korban jiwa 34 orang dan 103 rumah rusak/roboh;
- Gerakan tanah tipe nendatan di Kab. Purworejo (9 November 2000) telah memakan korban jiwa 46 orang, hilang 43 orang, sekitar 582 rusak total, dan 246 rumah rusak berat-ringan;
- Longsor dan banjir bandang di Pacet, Mojokerto, Jawa Timur (Desember 2002);
- Gerakan tanah di Puri Bukit Indah Regency, Semarang (9 Februari 2000) mengakibatkan 3 rumah dan jalan di perumahan rusak berat, dan 30 rumah mengalami retak-retak;

- Banjir bandang di S. Bohorok, Sumatra Utara (November 2003);
- Longsor di Bukit Bawakaraeng, Sulawesi Selatan (26 Maret 2004) mengakibatkan 32 orang meninggal, 12 rumah tertimbun, dan 3000 m jalan tertimbun;
- Tanah longsor di Palu;
- Di awal tahun 2006 telah terjadi longsor di Banjarnegara dan longsor / banjir bandang Jember yang mengakibatkan kerugian puluhan miliar rupiah.

Dari sekian banyak gerakan tanah terjadi oleh karena kondisi geologi dan dipicu oleh curah hujan yang besar.

Beberapa bencana gunung api, antara lain: pada sabuk gunung api Sumatera yang meletus dengan intensitas kecil (Katili dan Siswamidjojo, 1994), yaitu Gn. Bur Ni Telong (1919), Gn. Peut Sague (1920), Gn. Kerinci dan Gn. Sumbing (1930), Gn. Kaba (1956), Gn. Dempo (1974), Gn. Sorik Marapi (1978, 1990), Gn. Talang (1967, 2005). Pada segmen sabuk gunung api Jawa antara lain: Gn. Krakatau (1883) mengakibatkan juga gelombang tsunami dan menimbulkan korban jiwa sebanyak 36.417 orang. Setelah itu berkali-kali terjadi letusan di dalam kompleks Gn. Krakatau; Gn. Galunggung (1822, 1894, 1918, dan 1983), di kompleks gunung api Dieng selama 200 tahun telah terjadi letusan gunung api sejumlah 15 kali dan yang terakhir adalah 20 Pebruari 1979 terjadi pada Kawah Sinila dan Sigludug; Gn. Merapi telah berkali-kali meletus dengan siklus 4-5 tahunan dan terakhir terjadi pada tahun 2006; Gn. Kelud telah meletus pada tanggal 10 Februari 1990 yang menyebarkan aliran piroklastik dan lahar letusan, sedangkan sebaran bahan letusan jatuhnya sangat tergantung pada arah angin saat letusan berlangsung; Gn. Semeru (1989, 1994, 2006). Pada segmen sabuk gunung api Nusatenggara antara lain: Gn. Batur dan Gn. Agung di Bali, Gn. Rinjani di Lombok dan Gn. Anak Ranakah di Flores. Pada sabuk Gunung api Banda antara lain Gn. Banda Api. Pada sabuk gunung api Halmahera antara lain: Gn. Gamalama di pulau Ternate, Gn. Kie Besi di pulau Makian. Pada sabuk gunung api Minahasa-Sangihe yang antara lain: Gn. Soputan, Gn. Lokon, Gn. Karangetang, Gn. Awu di pulau Sangir Besar. Terakhir adalah pada gugus gunung api Sulawesi Tengah, yaitu Gn. Colo di pulau Una-Una.

## 8. Penutup

Indonesia yang berada di pertemuan antar lempeng-lempeng Indoaustralia, Eurasia dan Pasifik merupakan daerah yang rawan gempa bumi dan gunung api beserta ikutannya. Karena wilayah Indonesia juga berbukit-bukit maka di sana terdapat gerakan tanah yang biasa diikuti pula oleh peristiwa banjir. Untuk itu diperlukan tingkat kewaspadaan yang tinggi yang mestinya tercermin di dalam RT RW suatu daerah. Di samping itu perlu pemahaman tentang tahapan di dalam manajemen bencana seperti yang tercermin di dalam siklusnya yang terdiri dari: keadaan darurat, rehabilitasi, mitigasi dan kesiapsiagaan. Di berbagai tahap, terutama pada tahap mitigasi, pemahaman proses geologi beserta

skalanya sangat penting, oleh karena itu memanfaatkan informasi geologi untuk kebahagiaan umat manusia.

### Daftar Pustaka

- Abbott, P. L., 2004, *Natural Disaster*. Fourth Edition. McGraw Hill, Higher Education, New York, 460 pp.
- Anonim, 1999, *Alquist - Priolo Earthquake Fault Zoning Act*. Leaflet Department of Conservation, Division of Mines and Geology, California
- Campy M. & Macaire J.J. 1989. *Géologie des Formations Superficielles: Géodynamique, faciès, utilisation*, Masson, Paris, 433 p.
- Chandler R. J. 1977. The application of Soil Mechanics Methods to the Study of Slopes, in *Applied Geomorphology*, edited by Hails J. R., Elsevier, Amsterdam, pp 157-181.
- Editorial Supervision. 2000. *Landslides in Japan*, Sabo Publicity Center, 17 p.
- Hays, W.W., ed. 1981, *Facing Geologic and Hydrologic Hazards -- Earth Science Considerations*: U.S. Geological Survey Professional Paper 1240B, 108 p.
- John R. C. 1995. *Coastal Geology*, Manual # 1110-2-1810, Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Washington DC, 297 p.
- Katili, J.A. dan S.S. Siswamidjojo. 1994. *Pemantauan Gunung api di Filipina dan Indonesia*, Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Karnawati, D. 2005. *Bencana Alam Gerakan Massa anah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- McClay, K. R. 1987. *The Mapping of Geological Structures*, John Wiley & Sons, 161 p.
- Pantosti, Schwartz & Okumura, 2000, Introduction, *Active Fault Research for the New Millenium*. Proceeding of the Hokudan International Symposium and School on Active Faulting, January 17<sup>th</sup> - 26<sup>th</sup>, 2000, Hokudan-cho, Awaji Island, Hyogo, Japan, pp. i.

Scholz, C. H., 1990, *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge University Press, Cambridge, 439 p.

Simpson, B. 1968. *Geological Maps*. Pergamon Press, 98 p.

Sudradjat, A. 2000. *Seputar Gunung api dan Gempa bumi*, Adjat Sudradjat, Jakarta.

Yeats, R.S., K. Sieh, & C.R.Allen 1997, *The Geology of Earthquakes*, Oxford University Press, New York, 568 p.