

DINAMIKA



REKAYASA GEMPA

Fakultas Teknik
Jurusan Teknik Sipil
Universitas Brawijaya



GEMPA

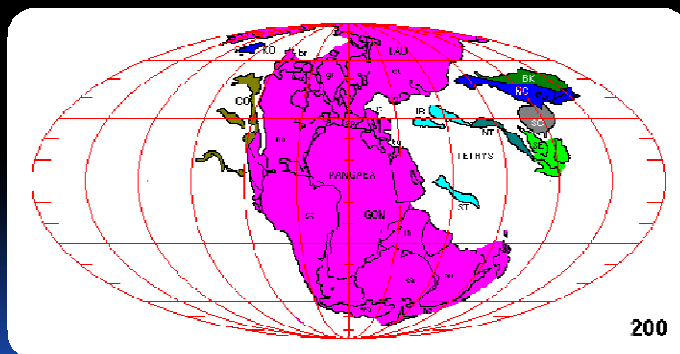
Gempa adalah getaran pada lempeng bumi yang menimbulkan guncangan pada permukaan bumi.



```
graph TD; Gempa --> Tektonik; Gempa --> Vulkanik;
```

GEMPA TEKTONIK

Gempa yang disebabkan oleh pergeseran lempeng tektonik. Lempeng tektonik bumi kita ini terus bergerak, ada yang saling mendorong, saling menjauh, atau saling menggelangsar. Karena tepian lempeng tektonik ini tidak rata, jika bergesekan maka timbullah *friksi*. Friksi inilah yang kemudian melepaskan energi guncangan.

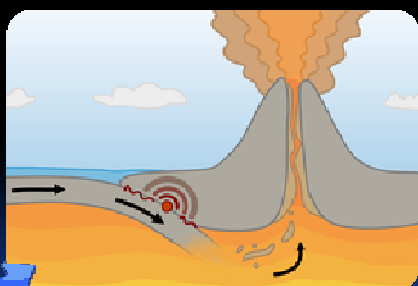


200

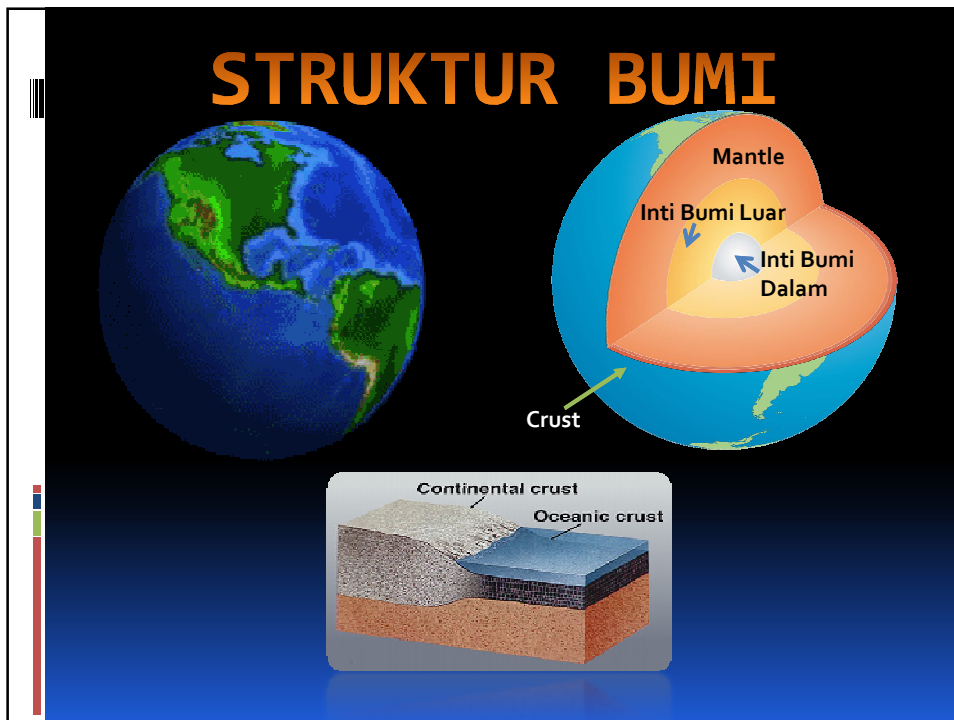
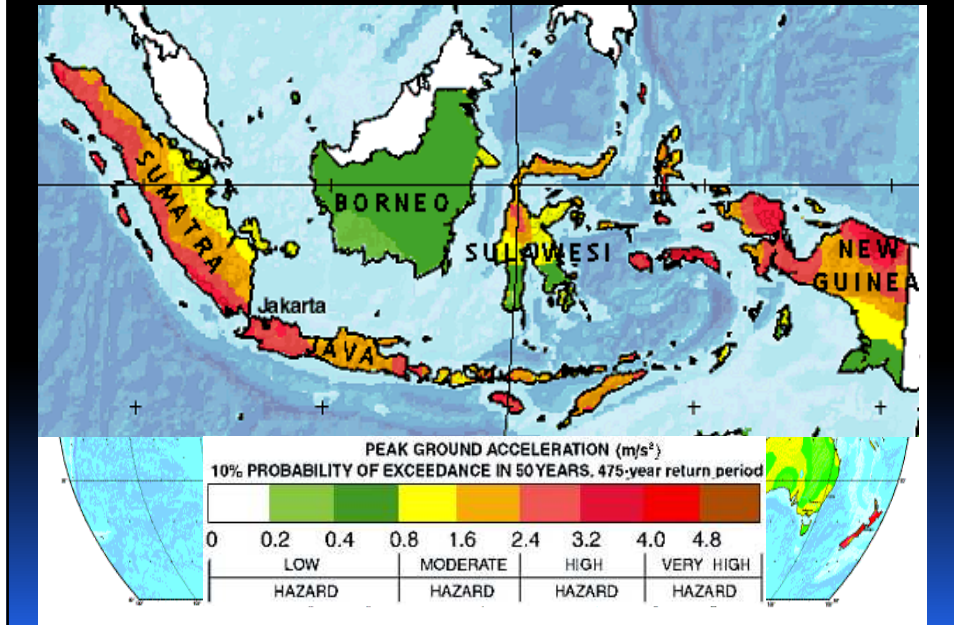
500

GEMPA VULKANIK

terjadi akibat meningkatnya aktivitas gunung berapi, yang disebabkan oleh naiknya magma dari bawah gunung tersebut ke permukaan. Cairan magma ini mendesak batuan-batuan di atasnya, sehingga menyebabkan guncangan dan apabila tekanannya cukup besar berpotensi menimbulkan letusan.

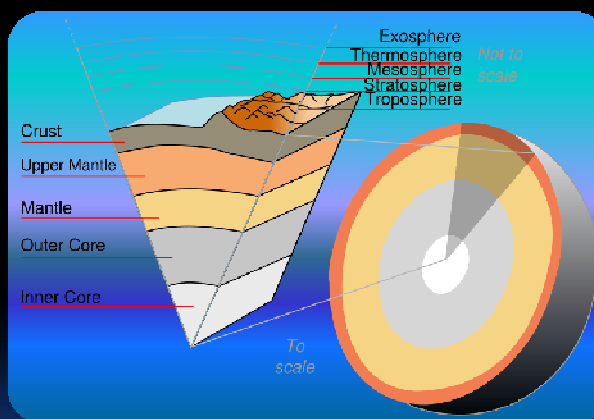


Gempa bumi tidak terjadi pada semua wilayah di dunia. Distribusi kerusakan gempa di dunia dapat dilihat pada gambar berikut.

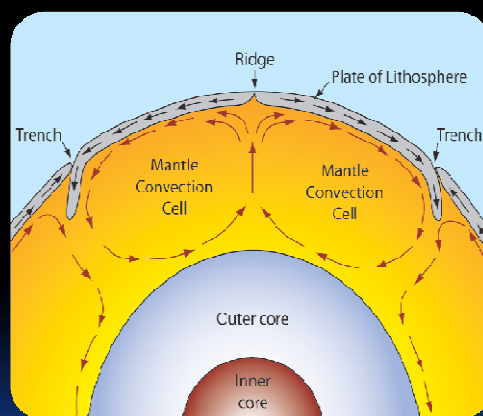


LEMPENG TEKTONIK

Lempeng tektonik yang berada didalam bumi, terbentuk oleh suatu lapisan keras yang disebut lithosphere. Lithosphere ini tersusun atas kerak bumi (crust) dan selimut bumi bagian atas (upper mantle).

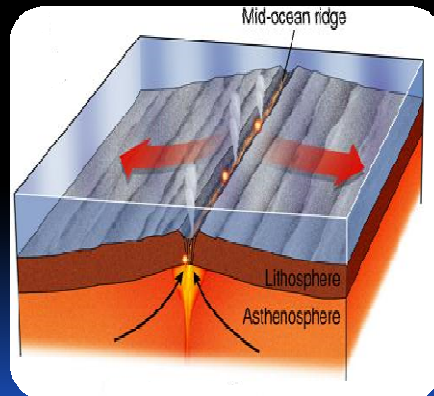


lempeng tektonik yang berada didalam bumi ini sebenarnya adalah terus bergerak. Hal ini disebabkan adanya pergerakan lempeng lithosphere didalam selimut bumi (hot mantle) yang dapat dilihat pad gambar berikut.



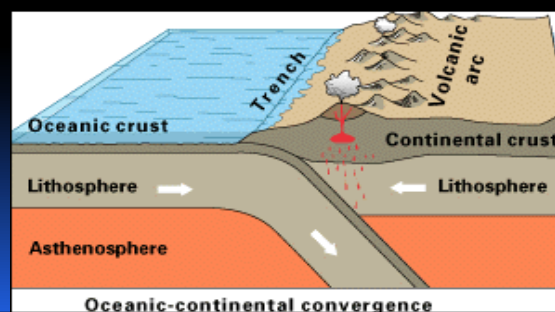
Berdasarkan arah pergerakan dari lempeng, terdapat tiga jenis batas lempeng (plate boundaries) :

1. **Divergent Boundary.** Hal ini terjadi ketika pergerakan relatif dari dua lempeng adalah saling menjahui.

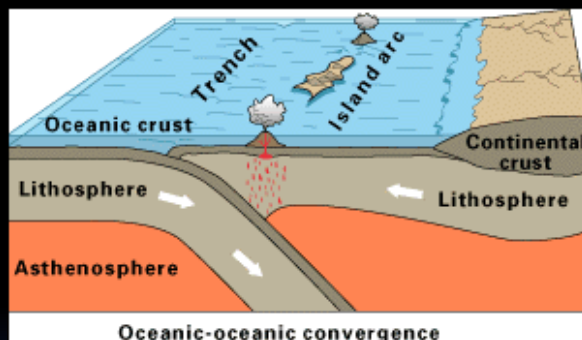


2. **Convergent Boundary.** Hal ini terjadi ketika pergerakan relatif dari dua lempeng adalah saling mendekati. Batas lempeng-lempeng yang saling mendekat dan menyebabkan tumbukan dimana salah satu dari lempeng akan mengalami penunjaman (menyusup) ke bawah lempeng yang lain masuk ke selubung. Daerah penunjaman lempeng membentuk suatu palung yang dalam, yang biasanya merupakan jalur gempa bumi yang kuat. .

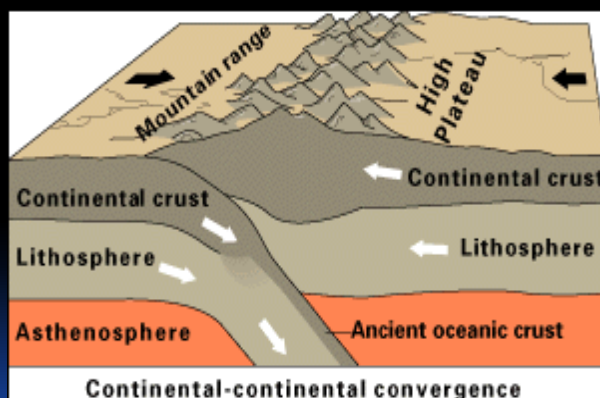
- **Oceanic-continental subduction zone**, jika terjadi tumbukan satu lempeng tektonik dipaksa dibawah lempeng yang lain.



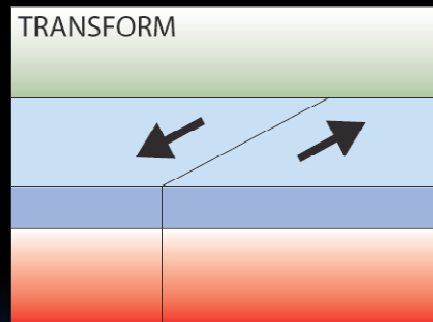
- **Oceanic-oceanic subduction zone**, bila dua lempeng saling bertumbukan, maka salah satu akan menyusup di bawah yang lain dan menghasilkan aktivitas vulkanik.



- **Continental-continental subduction zone**, pada tumbukan ini, terjadi penyusupan lempeng ke bawah benua sehingga menyebabkan massa benua dan sedimen lantai samudra tertekan, terlipat, dan terdeformasi. Akibatnya adalah terbentuknya formasi pegunungan baru.

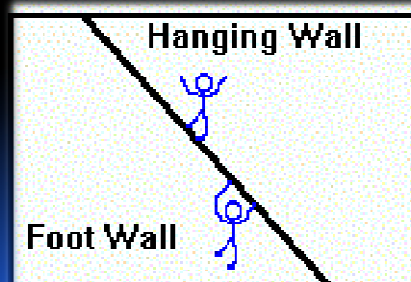


3. Transform Boundary. terjadi jika lempeng bergerak dan mengalami gesekan satu sama lain secara menyamping di sepanjang sesar transform



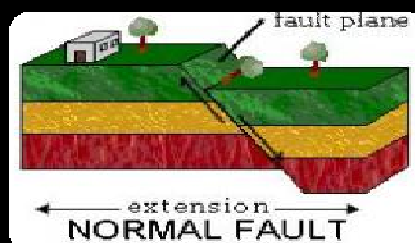
SESAR BUMI (FAULTING)

- Sesar (faulting) adalah suatu rekahan pada batuan dimana bagian yang dipisahkan oleh rekahan itu bergerak satu terhadap lainnya.
- Terdapat dua bagian yang harus dipahami yaitu footwall dan hangingwall. Footwall adalah bagian yang terletak dibawah bidang sesar, sedangkan bagian yang diatas sesar disebut hangingwall.



Berdasarkan gaya penyebabnya, sesar dibagi menjadi :

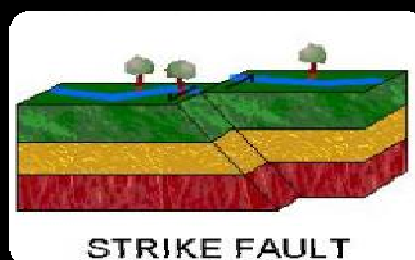
Normal fault yaitu sesar dimana hanging wall pada sesar relatif turun terhadap footwall.



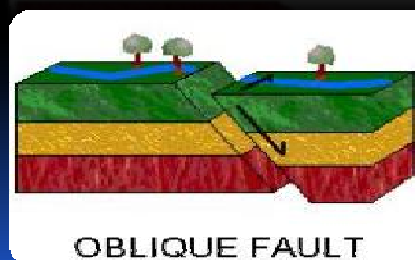
Thrust fault yaitu sesar dimana hanging wall pada sesar bergerak relatif naik terhadap footwall.



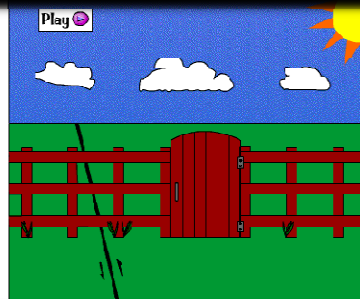
Strike slip fault yaitu sesar dengan arah gerakan relatif mendatar satu sama lainnya.



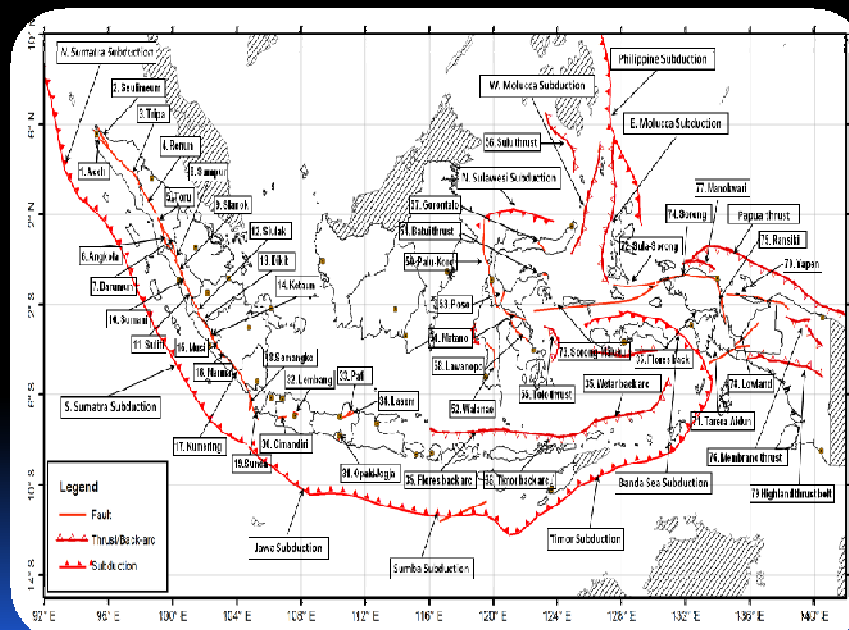
Oblique fault, gerakan kombinasi antara sesar mendatar dengan sesar naik atau turun.

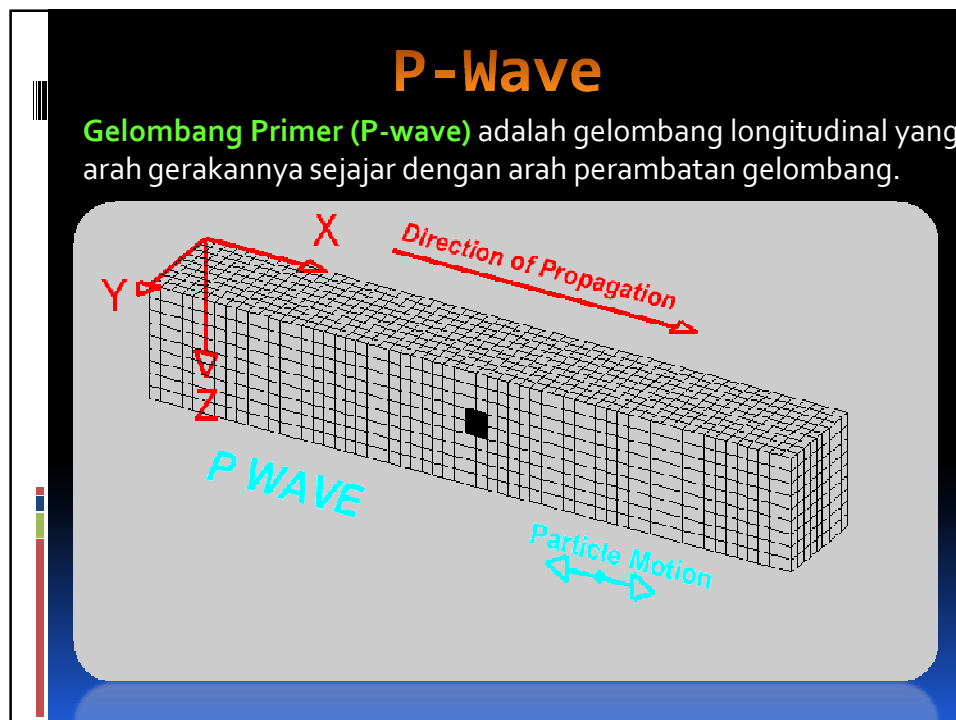


Perhatikan ilustrasi berikut:



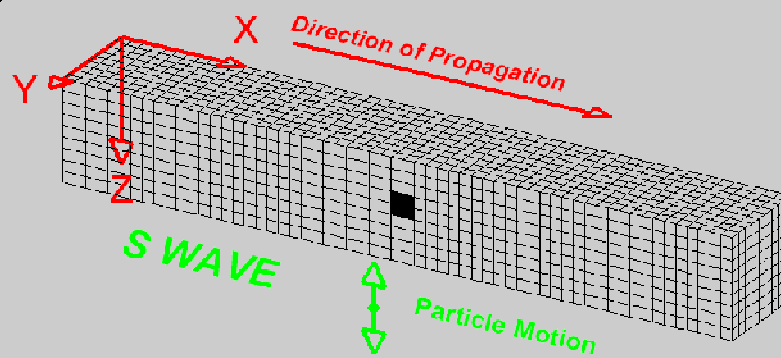
Peta Tektonik dan Sesar di Indonesia:





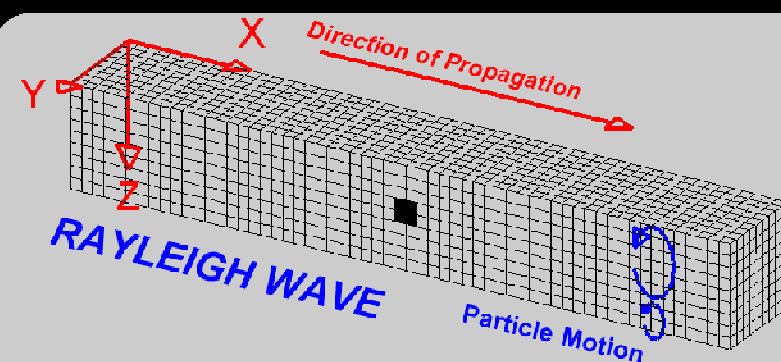
S-Wave

Gelombang Sekunder (S-wave) adalah gelombang transversal yang arah gerakanya tegak lurus dengan arah perambatan gelombang.



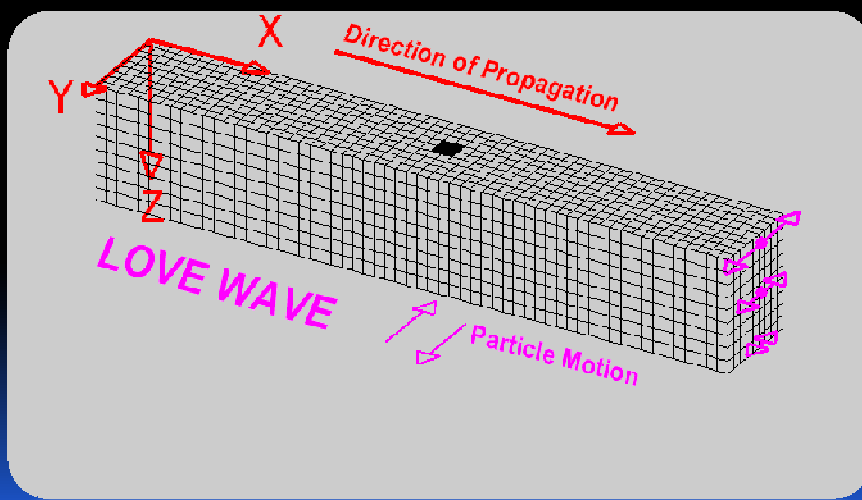
Rayleigh Wave

Gelombang Rayleigh, gelombang permukaan dimana gelombang longitudinal dan gelombang transversal merambat pada kecepatan yang sama.



Love Wave

Love Wave, gelombang S-wave yang terpolarisasi secara horizontal (SH).



Geologists cannot observe Earth's mantle and core directly. They use indirect evidence from seismic waves to infer the characteristics of the interior of Earth (Figure 7).

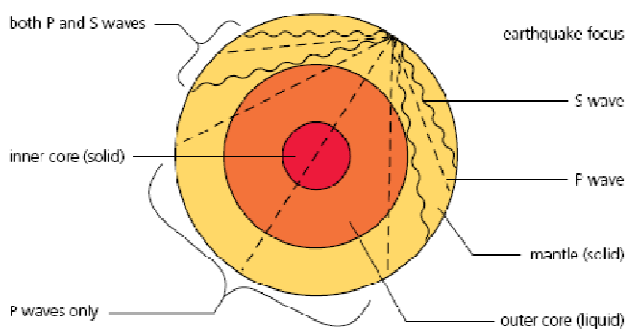


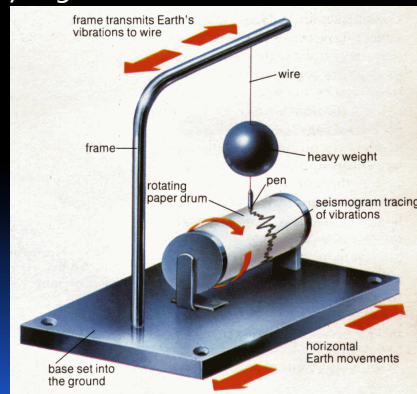
Figure 7

When an earthquake starts at the focus, the P waves can be detected anywhere. The S waves can be detected only at the locations shown. Since S waves cannot travel in liquid, scientists assume that part of Earth's interior must be liquid. This liquid part is called the outer core.

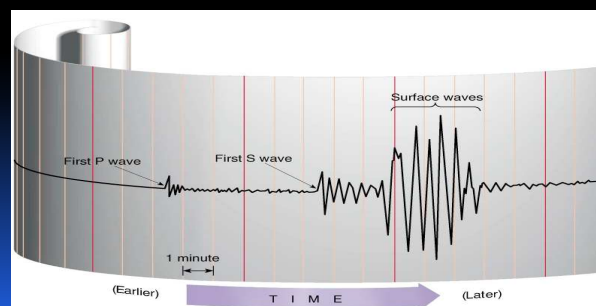
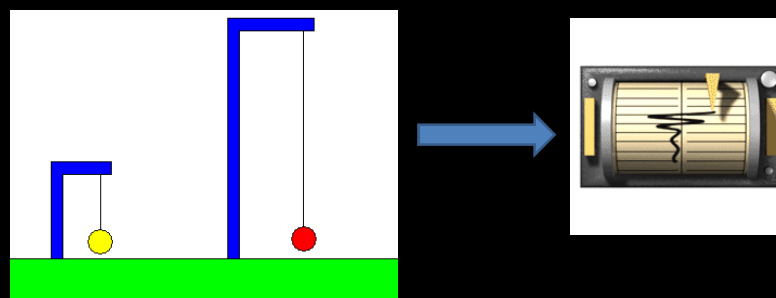


SEISMOGRAF

Seismograf adalah sebuah perangkat yang mengukur dan mencatat gempa. Pada prinsipnya, seismograf terdiri dari gantungan pemberat dan ujung lancip seperti pensil. Dengan begitu, dapat diketahui kekuatan dan arah gempa lewat gambaran gerakan bumi yang dicatat dalam bentuk **seismogram**.



SEISMOGRAF

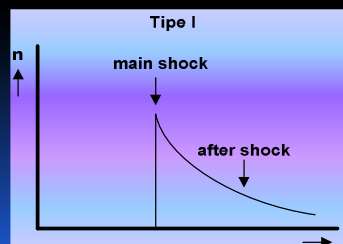


Tipe Gempa Bumi

Ditinjau dari keadaan struktural mineral dan distribusi ruang stress yang bekerja, membagi gempa bumi dalam tiga tipe yaitu

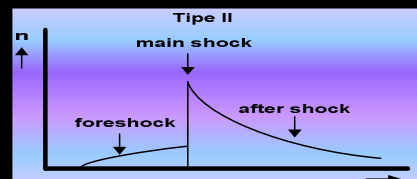
Tipe I

Tipe ini berkaitan dengan gempa besar tanpa didahului gempa kecil (foreshock) tetapi masih diikuti gempa susulan (after shock). Gempa bumi tipe ini hanya terjadi pada daerah dengan struktur material yang seragam dan dipengaruhi oleh tegangan luar yang seragam. Tipe ini merupakan tipe awal yang akan berubah secara terus menerus menuju tipe II.



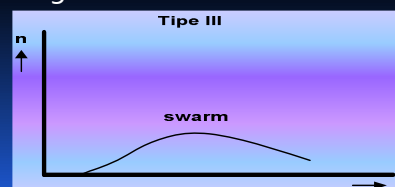
Tipe II

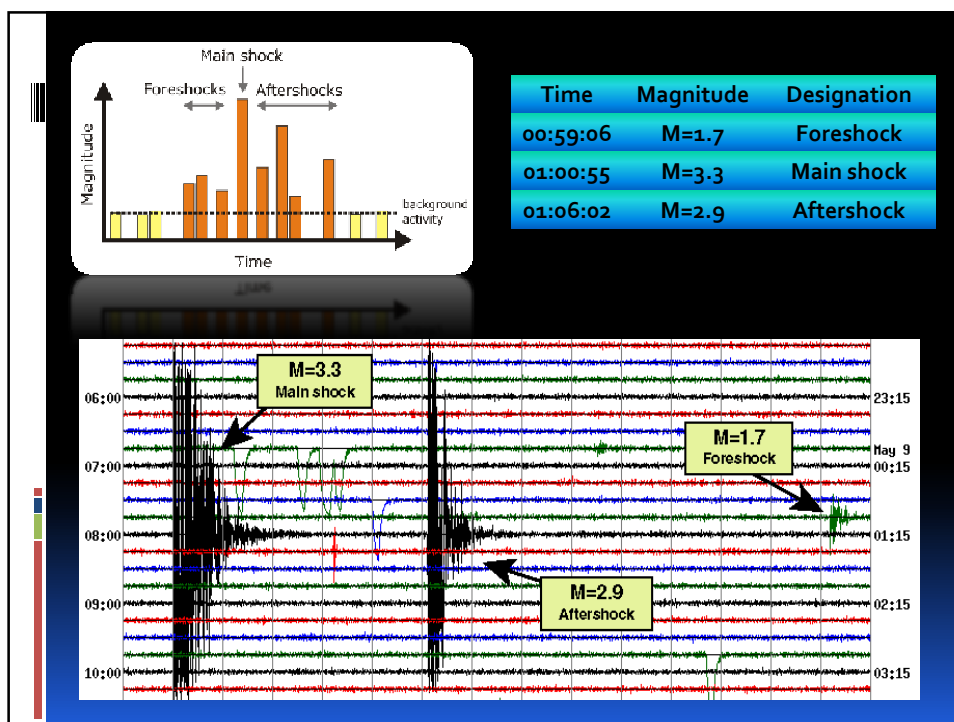
Tipe ini merupakan rangkaian gempa yang terdiri dari foreshock, main shock dan aftershock. Pada umumnya merupakan gempa bumi-gempa bumi dengan kekuatan menengah. Gempa bumi ini terjadi pada daerah dengan struktur material heterogen dan dipengaruhi oleh tegangan luar yang tidak seragam.



Tipe III

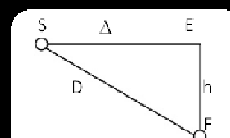
Tipe ini merupakan rangkaian gempa bumi yang tidak memiliki main shock, sering disebut swarm.





HIPOSENTER & EPISENTER

Lokasi sumber gempa bumi tertentu (didalam kerak bumi). Jarak hiposenter R (jarak antara hiposenter ke suatu titik di permukaan bumi, yang terkena gempa bumi).



Keterangan :

S: stasiun

E: Episentrum

F: hiposentrum

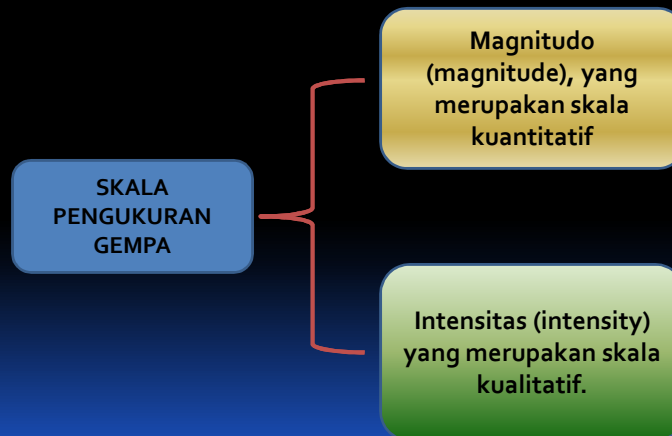
D: jarak hiposentral

h: kedalaman gempa

Δ : jarak episentral

Parameter Gempa

Mengukur kekuatan gempa dapat menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif.



MAGNITUDO GEMPA

Magnitudo adalah suatu harga/skala yang menunjukkan kekuatan sejumlah energi yang dilepaskan oleh pusat gempa bumi tersebut.

Ada bermacam-macam jenis magnitudo gempa, diantaranya adalah:

- Magnitudo lokal ML (local magnitude)
- Magnitudo gelombang permukaan MS (surface-wave magnitude)
- Magnitudo gelombang badan MB (body-wave magnitude)

Magnitudo lokal ML (local magnitude)

- Magnitudo asli yang dikemukakan oleh Richter pada tahun 1935.

$$Ml = \log A - \log A_o$$

dimana, $\log A_o = 5.12 - 2.56 \log \Delta$

Ml = magnitudo lokal

A = amplitudo maksimum (micrometer) yang tercatat dalam seismogram pada seismograph Wood Anderson

A_o = amplitudo maksimum (micrometer) yang tercatat dalam seismometer.

Δ = jarak episenter (kilometer).

Contoh 10.1

Seismogram dari sebuah gempa direkam oleh seismograph pada sebuah stasiun yang berjarak 147 km dari epicenter gempa. Terekam bahwa amplitude puncak atau maksimum adalah 66mm.

SOLUSI:

$$\begin{aligned} \log A_o &= 5.12 - 2.56 \log \Delta \\ &= 5.12 - 2.56 \log(147) = -0.43 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai $A_o = 0.37 \mu\text{m}$ dan magnitudo gempa tersebut adalah

$$Ml = \log A - \log A_o = \log 66000 - \log 0.37 = 5.3$$

Magnitudo M_s (surface-wave magnitude)

- Magnitude yang didasarkan pada gelombang permukaan (surface wave magnitude).

$$M_s = \log a - 1.66 \log \Delta + 2.0$$

a = amplitudo gerakan tanah (dalam micron)

Δ = jarak episenter (derajat)

Contoh 10.2

Amplitudo puncak dari gelombang Rayleigh yang tercatat di seismogram pada sebuah stasiun yang berjarak 28° dari episenter gempa adalah $4.3\mu\text{m}$. tentukan magnitude dari data gelombang permukaan tersebut.

SOLUSI:

Magnitude gempa tersebut adalah

$$M_s = \log(4.3) - 1.66 \log(28) + 2.0 = 5.0$$

Magnitudo MB (body-wave magnitude)

- Magnitudo yang didasarkan pada gelombang didalam bumi (body wave magnitude).

$$M_b = 0.56M_s + 2.9$$

M_s = magnitudo berdasarkan gelombang permukaan

INTENSITAS GEMPA

Intensitas gempa adalah besarnya gempa yang ditentukan melalui observasi dan melukiskan besarnya guncangan gempa bumi secara kualitatif. Jadi intensitas gempa dapat dilihat pada derajat kerusakan yang terjadi di lokasi tempat observasi. Berdasarkan derajat kerusakan kita dapat menyusun suatu skala kerusakan yang sekarang disebut "**Skala Intensitas Modified Mercalli**".

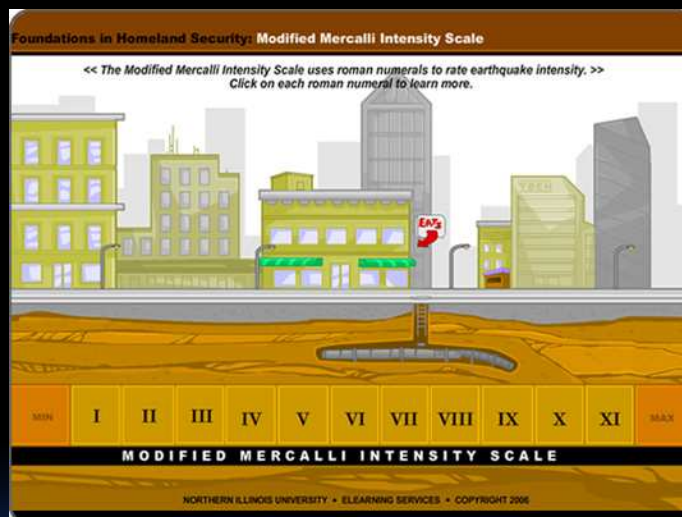
Skala Intensitas Modified Mercalli

- Tingkat I : Tidak terasa
- Tingkat II : Terasa oleh orang yang sedang istirahat
- Tingkat III : Terasa orang didalam gedung
- Tingkat IV : Alat yang tergantung bergoyang, jendela kaca berbunyi
- Tingkat V : Terasa diluar bangunan
Alat kecil lebih didalam rumah bisa berpindah tempat
- Tingkat VI : Terasa semua orang
Orang tidak bisa berjalan tetap
Kaca jendela bisa pecah
Tembok tipe D retak
- Tingkat VII : Sulit untuk berdiri
Terasa oleh sopir yang mengendarai mobil
Tembok tipe D rusak, tipe C retak
- Tingkat VIII : Sulit untuk mengendarai mobil
Tembok C rusak, B retak
Pondasi mutu jelek terpisah
- Tingkat IX : Kegugupan umum
Tembok D hancur, C rusak berat sampai runtuh, tembok B rusak
Pondasi pada umumnya rusak, rangka struktur bangunan terpuntir
- Tingkat X : Banyak bangunan tembok dan rangka hancur termasuk pondasinya.
- Tingkat XI : Rel KA melentur cukup besar
Pipa/saluran tak dapat digunakan
- Tingkat XII : Kerusakan hamper menyeluruh
Pengelihatan bisa kabur

Tipe Tembok:

- A. Pengerjaan baik, mutu spesie baik, memakai penulangan
- B. Pengerjaan baik, mutu spesie baik, tanpa penulangan, tapi memakai pengikat sudut.
- C. Pengerjaan cukup, mutu spesie cukup punya pengikat pada sudut-sudut
- D. Pengerjaan kurang baik, mutu bahan rendah termasuk spesienya.

Intensitas	Richter
I	<3.5
II	3.5
III	4.2
IV	4.5
V	4.8
VI	5.4
VII	6.1
VIII	6.5
IX	6.9
X	7.3
XI	8.1
XII	>8.1



Click Link for Interactive Demo

http://elearning.niu.edu/simulations/images/S_portfolio/Mercalli/Mercalli_Scale.swf

Dari analisa data gempa bumi yang terjadi di seluruh dunia. Diperoleh suatu perumusan yang melukiskan kira-kira hubungan antara 'besar gempa bumi menurut skala Richter' dengan 'Frekuensi' kejadian gempa bumi tersebut dalam persamaan Guttenberg-Richter :

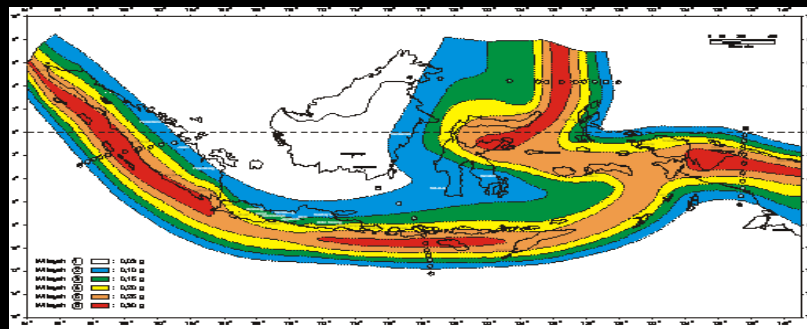
$$\log N = a - bM$$

a dan b = konstanta untuk suatu daerah gempa tertentu
 N = frekuensi kejadian gempa pertahun dengan skala richter M
 M = skala Richter

$$\log N = 7.30 - 0.94M$$

→ Untuk daerah-daerah di Indonesia, menurut para ahli New Zealand.

EVALUASI BAHAYA GEMPA

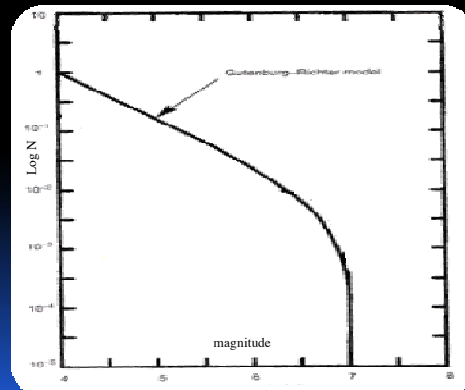


Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dimuat ini adalah hasil analisis probabilistik bahaya gempa (probabilistic seismic hazard analysis) yang telah dilakukan untuk seluruh wilayah Indonesia.

Data masukan untuk analisis ini adalah

- lokasi sumber gempa,
- distribusi magnitudo gempa di daerah sumber gempa,
- jarak dari tempat yang ditinjau sampai sumber gempa,
- frekuensi kejadian gempa per tahun di daerah sumber gempa

Mengenai distribusi magnitudo gempa di daerah gempa, hal ini telah dihitung berdasarkan data kegempaan yang tersedia. Distribusi ini lebih dikenal sebagai diagram frekuensi magnitudo Gutenberg-Richter.



Probabilistik bahaya Gempa dapat dinyatakan sebagai berikut (fungsi Poisson) :

$$P_t = 1 - e^{-\lambda t}$$

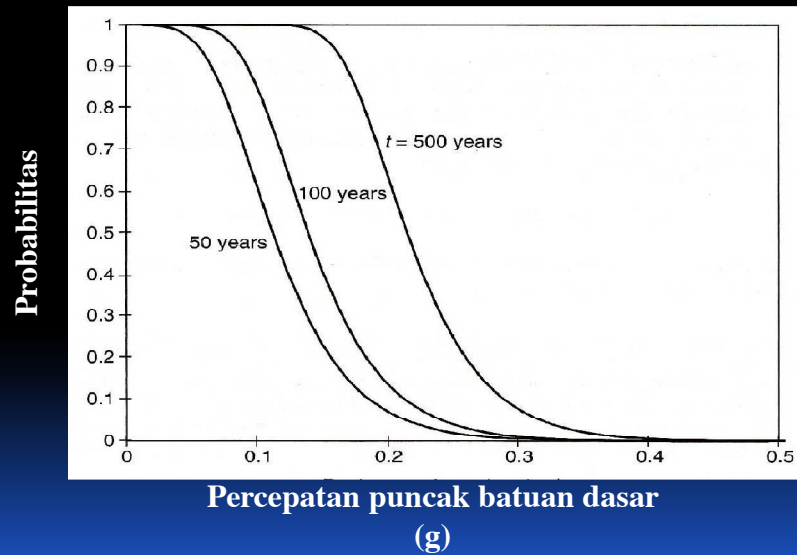
dimana :

λ_t = jumlah rata-rata suatu kejadian dalam interval waktu t

λ = jumlah rata-rata suatu kejadian per unit waktu

$1/\lambda = T_R$ = return period, suatu parameter yang melukiskan suatu Jangka waktu rata-rata pengulangan suatu kejadian tertentu.

Berikut ini adalah kurva hubungan probabilitas dengan percepatan puncak batuan dasar:



Contoh 10.3

Jika setiap 20 tahun dalam interval 100 tahun, jumlah gempa dengan magnitudo >7.0 seperti yang terlihat dalam table dibawah ini,

Waktu/Periode	Jumlah kejadian
1880-1899	1
1900-1919	0
1920-1939	2
1940-1959	1
1960-1979	0

Hitung :

- Jumlah kejadian per unit waktu pada gempa dengan magnitudo >7.0 (λ)
- Periode ulang (T_R)

Solusi:

- a. $\lambda = (1+0+2+1+0)/100=0.04$ kejadian/tahun
- b. $T_R = 1/\lambda = 1/0.04 = 25$ tahun

Contoh 10.4

Dari analisa data statistik gempa pada 100 tahun terakhir, ditemukan bahwa percepatan puncak 0.01g adalah terjadi **lima tahun** dalam 100 tahun. Tentukan probabilitas terlampauinya percepatan puncak batuan dasar 0.01g dalam interval waktu 45 tahun?

Solusi:

Dari data statistik yang diberikan, rata-rata kejadian ulang tahunan untuk percepatan puncak batuan dasar 0.01g atau lebih besar adalah:

$$\lambda = \frac{5}{100} = 0.05 \text{ kejadian / tahun}$$

$$\text{Periode ulang} = \frac{1}{0.05} = 20 \text{ tahun}$$

Sehingga probabilitas terlampauinya percepatan puncak 0.01g dalam 45 tahun adalah

$$P_t = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$P_{45} = 1 - e^{-0.05(45)} = 0.895$$

Contoh 10.5

Dengan menggunakan kurva hubungan probabilitas dengan percepatan puncak batuan dasar, tentukan desain percepatan puncak batuan dasar, untuk probabilitas terlampaui 30% dalam 50 tahun

Solusi:

Dari kurva, untuk $t=50$ tahun dan probabilitas terlampaui 0.3, maka didapat nilai desain percepatan puncak batuan dasar = 0.15g.

