

**ANALISIS TREND FREKUENSI GEMPA BUMI PULAU  
SUMATERA SEBAGAI IMPLIKASI SESAR GESER  
SUMATERA DAN SESAR SEGMENT MENTAWAI  
BERDASARKAN DATA TAHUN 1976-2004**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika

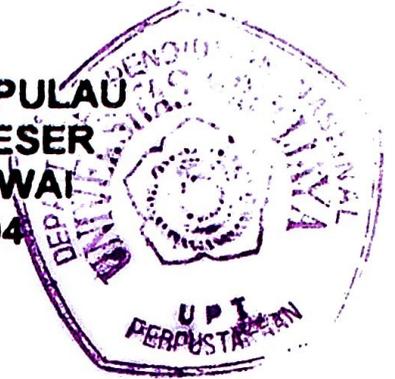


Disusun oleh :

**CIPTO SUDARMO  
NIM. 09003120004**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
INDERALAYA  
2005**

**ANALISIS TREND FREKUENSI GEMPA BUMI PULAU  
SUMATERA SEBAGAI IMPLIKASI SESAR GESER  
SUMATERA DAN SESAR SEGMENT MENTAWAI  
BERDASARKAN DATA TAHUN 1976-2004**



S  
557.2207  
Sud  
a  
C057410  
2005

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika

12908/13190



**Disusun oleh :**

**CIPTO SUDARMO  
NIM. 09003120004**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
INDERALAYA  
2005**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS TREND FREKUENSI GEMPA BUMI PULAU SUMATERA  
SEBAGAI IMPLIKASI SESAR GESER SUMATERA DAN SESAR  
SEGMENT MENTAWAI BERDASARKAN DATA TAHUN 1976 - 2004**

**Skripsi**

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika**

**Oleh :  
CIPTO SUDARMG  
NIM 09003120004**

**Inderalaya, 8 Juli 2005**

**Pembimbing II**

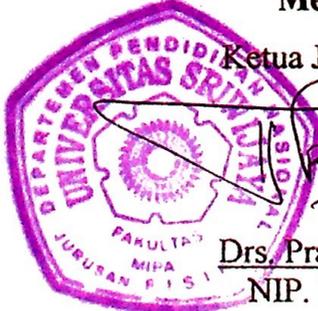
  
**Drs. M. Irfan, MT**  
**NIP. 131 585 885**

**Pembimbing I,**

  
**Sutopo, S.Si, M.Si**  
**NIP. 132 206 323**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Fisika,**

  
  
**Drs. Pradanto P, DEA**  
**NIP. 131 476 147**

## KATA PENGANTAR

Segala pujian penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat, kasih sayang dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad Sholallahu 'alaihi Wasalam, beserta keluarga, shahabat, dan para mujahid yang selalu istiqomah menegakkan kalimah Allah hingga hari akhir.

Skripsi yang berjudul "Analisis Trend Frekuensi Gempa Bumi Pulau Sumatera Sebagai Implikasi Sesar Geser Sumatera dan Sesar Segmen Mentawai Berdasarkan Data Tahun 1976 - 2004" ini merupakan prasyarat akhir untuk memperoleh gelar sarjana untuk Bidang Studi Fisika.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penyelesaian skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan dorongan motivasi yang sangat berarti demi keberhasilan penulis menyelesaikan studinya di Jurusan Fisika. Untuk itu, dalam kesempatan yang sangat terbatas ini penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Ummi dan Abi tercinta yang telah mendidik dan memberikan dorongan yang besar berupa do'a yang tiada hentinya demi keberhasilan penulis menyelesaikan studi di bangku kuliah.
2. Wanita yang selalu memberikan perhatian, semangat, motivasi serta do'anya kepada penulis selama menempuh bangku perkuliahan. *My...Semoga Allah senantiasa mempersatukan hati kita dalam naungan dan ridho-Nya...*

3. Ustadz-ustadz yang telah menyuarakan kebenaran hingga memantapkan langkah penulis dalam hidup dan kehidupan.
4. Bapak Pradanto, selaku Ketua Jurusan Fisika dan Tim Penguji yang telah memberikan bimbingan kepada penulis.
5. Bapak Sutopo dan Bapak M. Irfan selaku dosen pembimbing yang dengan keseriusannya membimbing penulis menyelesaikan tugas akhir ini dan memberikan kemudahan penulis dalam urusan akademik
6. Bapak Zulkifli Dahlan, selaku Dekan Fakultas MIPA yang telah memberikan banyak nasehat dan bimbingannya kepada penulis
7. Bapak Dedi Setiabudidaya dan Ibu Siti Sailah , selaku dosen penguji.
8. Rekan kerja dan saudaraku, Erwin Alparis, dan teman-teman angkatan 2000, semoga persahabatan kita tetap terbina hingga kita menyelesaikan kuliah nanti. Insya Allah...
9. Orang yang selalu membangunkan penulis untuk sholat malam dan memberikan perhatian dan do'anya kepada penulis. Mbak Wiwik, syukron atas perhatiannya!
10. Saudara-saudaraku di Badan Eksekutif Mahasiswa FMIPA (Ichsan, Risma, Yeni, Pipit, Nita, Doko, Maman, Herizal, Novit, Nyayu, Indry, Desi, Juniarti, Aulia, Gustia, Daya, Ivan, dll).
11. Kak Addy Rachmad, dosen Kimia, yang telah memberikan fasilitas printer untuk penulis.
12. Adik-adikku Fisika 2003 (Sandi, Rony, Rahma, Atina, Nia, Anti, Henny, May, Mis, Rahmi, Amel, dll). Kakak sayang sama kalian !

13. Keluarga 2000 (Qalbu). Bangun ukhuwah yang berlandaskan iman dalam hati kita.
14. Fery, Anto, Andi, Patriot (Fisika 2004). Jadilah pejuang-pejuang di masa yang kini dan masa yang akan datang.
15. Saudara-saudaraku di Lembaga Kerohanian Islam (Aromzi, Luthfi, Soco, Engga, dll). Keep istiqomah, Allahu Akbar!
16. Dan semua orang yang telah memberikan saran, kritik dan *spirit* kepada penulis yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Terima kasih atas bantuannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari nilai sempurna, karena kesempurnaan itu hanyalah milik Allah. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kemajuan dan pengembangan laporan ini di masa yang akan datang.

Akhirnya, semoga skripsi sederhana ini dapat menunjang dan memberikan kontribusi positif untuk perkembangan keilmuan di Jurusan Fisika. Terima kasih.

Palembang, Juli 2005

Penulis

**TREND ANALYSIS OF SUMATERA ISLAND EARTHQUAKE  
FREQUENCY AS IMPLICATION OF THE GREAT SUMATERA  
FAULT AND THE SEGMENT MENTAWAI FAULT  
BASED ON DATA OF YEAR 1976 – 2004**

**CIPTO SUDARMO  
NIM : 09003120004**

**ABSTRACT**

Sumatera Island is earthquake occur anxious area. To finding the cause factor and trend pattern of earthquake occur at Sumatera Island can be representated by direct interpretation using epicenter plot method and analysis of trend frequency. The research study field it self reaches area border of 5° LS - 10° LU and 90° BT - 105° BT. based on data of earthquake history since 1976 until 2004 obtained line of earthquake frequency to each deepness 0 – 60 km and 60 – 300 km. Generally, the tendency of earthquake occur at Sumatera Island experience was increased every year which's caused by tectonic activity of Mentawai Fault.

ANALISIS TREND FREKUENSI GEMPA BUMI PULAU SUMATERA  
SEBAGAI IMPLIKASI SESAR GESER SUMATERA DAN SESAR  
SEGMENT MENTAWAI BERDASARKAN DATA TAHUN 1976 – 2004

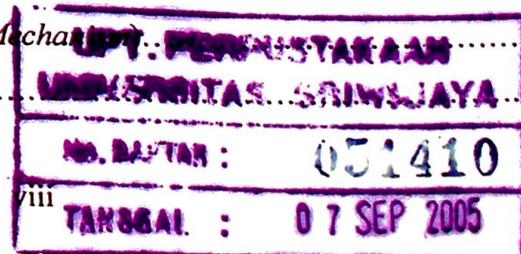
CIPTO SUDARMO  
NIM : 09003120004

ABSTRAK

Pulau Sumatera merupakan daerah yang rawan terjadi gempa bumi. Untuk mengetahui faktor penyebab dan pola kecenderungan terjadinya gempa bumi di Pulau Sumatera dapat digambarkan dengan interpretasi langsung melalui metode plot episenter dan analisis trend frekuensinya. Daerah studi penelitian ini sendiri meliputi batasan wilayah  $5^{\circ}$  LS -  $10^{\circ}$  LU dan  $90^{\circ}$  BT -  $105^{\circ}$  BT. Berdasarkan data historis gempa bumi sejak tahun 1976 sampai dengan tahun 2004 diperoleh garis trend frekuensi gempa bumi untuk masing-masing kedalaman 0 – 60 km dan 60 – 300 km. Secara umum pola kecenderungan terjadinya gempa bumi di Pulau Sumatera mengalami peningkatan dari tahun ke tahun akibat aktivitas tektonik Sesar Mentawai.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRACT.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
<b>BAB I      PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusaan Permasalahan.....	1
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	2
<b>BAB II     TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Deformasi Kerak Bumi.....	3
2.2. Tektonik Regional Sumatera.....	5
2.3. Jenis dan Sifat Penjalaran Gelombang.....	8
2.4. Gempa Tektonik.....	11
2.4.1. Patahan atau Sesar.....	11
2.4.2. Zona Subduksi.....	14
2.4.3. Sesar Geser ( <i>Transform Fault</i> ).....	16
2.5. Parameter Gempa Bumi.....	17
2.6. Mekanisme Fokus ( <i>Focal Mechanism</i> ).....	20
2.7. Pengertian Trend.....	22



<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	
	3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
	3.2. Metoda Penelitian.....	23
	3.2.1. Pengumpulan Data.....	23
	3.2.2. Analisis Data.....	24
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
	5.1. Kesimpulan.....	34
	5.2. Saran.....	35

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1. Deformasi pada batuan.....	4
Gambar 2.2. Kurva stress-strain memperlihatkan.....	5
Gambar 2.3. Empat lempeng utama yang mempengaruhi aktivitas Tektonik Indonesia.....	6
Gambar 2.4. Skema penampang penunjaman litosfer di bawah Pulau Sumatera.....	8
Gambar 2.5. Gelombang badan ( <i>body wave</i> ).....	9
Gambar 2.6. Gelombang Love.....	10
Gambar 2.7. Gelombang Rayleigh.....	11
Gambar 2.8. Blok patahan <i>normal faults</i> .....	13
Gambar 2.9. Blok patahan <i>reverse faults</i> .....	13
Gambar 2.10. Blok patahan <i>strike slip faults</i> .....	14
Gambar 2.11. Penunjaman lempeng kerak samudera di bawah kerak benua .....	15
Gambar 2.12. Mekanisme sesar geser ( <i>transform fault</i> ).....	16
Gambar 2.13. Diagram mekanisme fokus sumber gempa bumi.....	21
Gambar 2.14. Skema pergerakan patahan dan diagram <i>focal mechanismnya</i> .....	21
Gambar 3.1. Diagram alir penentuan trend frekuensi.....	26
Gambar 4.1. Distribusi episenter gempa bumi Pulau Sumatera.....	28
Gambar 4.2. Distribusi gempa bumi Pulau Sumatera untuk kedalaman 0 – 60 km.....	29
Gambar 4.3. Distribusi gempa bumi Pulau Sumatera untuk kedalaman 60 – 300 km.....	30
Gambar 1. Trend frekuensi gempa bumi Pulau Sumatera tahun 1976 – 2004 .....	G <sub>1</sub>
Gambar 2. Pola distribusi episenter gempa bumi di Pulau Enggano.....	G <sub>2</sub>

Gambar 3.	Peta kejadian gempa bumi di Pulau Sumatera.....	G <sub>3</sub>
Gambar 4.	Peta tektonik <i>setting</i> dan zonasi Indonesia.....	G <sub>4</sub>
Gambar 5.	<i>Focal Mechanism</i> dan data gempa bumi di Pulau Sumatera.....	G <sub>5</sub>

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 3.1. Tabel hasil data historis gempa bumi.....	23
Tabel 1. Tabel data gempa bumi dangkal Pulau Sumatera tahun 1976 – 2004.....	L <sub>1</sub>
Tabel 2. Tabel data gempa bumi menengah Pulau Sumatera tahun 1976 – 2004.....	L <sub>2</sub>
Tabel 3. Tabel frekuensi gempa bumi per tahun Pulau Sumatera tahun 1976 – 2004.....	L <sub>3</sub>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pulau Sumatera yang memiliki pegunungan memanjang dari arah Utara hingga ke Selatan, atau yang lebih dikenal sebagai pegunungan Bukit Barisan, merupakan daerah yang rawan terjadi peristiwa gempa bumi. Hal ini disebabkan karena pada daerah tersebut selain dilalui oleh sederetan lempengan patahan (sesar) Sumatera atau sesar Semangko, juga pada bagian Barat terdapat kawasan sesar segmen Mentawai, yaitu pada wilayah Samudera Indonesia. Selain itu, terdapat kawasan *Zona Subduksi* yang merupakan hasil tumbukan antara lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia sehingga menyebabkan terjadinya gempa bumi tektonik di Sumatera.

Tulisan ini mencoba menggambarkan trend frekuensi gempa bumi di wilayah Pulau Sumatera dengan memanfaatkan data historis gempa bumi yang diperoleh dari *Harvard Centroid Moment Tensor (CMT) Catalog*, sejak tahun 1976 sampai dengan tahun 2004.

Data historis tersebut berupa posisi geografis episenter (*latitude dan longitude*), magnitudo, kedalaman sumber gempa (hiposenter) serta mekanisme fokusnya.

### 1.2. Rumusan Permasalahan

Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data yang diambil dari tahun 1976 sampai dengan tahun 2004, dimana data tersebut dikualifikasikan lagi untuk memperoleh data yang mewakili. Karena Pulau Sumatera termasuk daerah yang rawan

terhadap terjadinya peristiwa gempa tektonik, maka permasalahan yang diambil adalah bagaimana menggambarkan pola kecenderungan (trend) frekuensi terjadinya gempa bumi di Pulau Sumatera serta faktor utama penyebab terjadinya gempa bumi di Pulau Sumatera .

### **1.3. Tujuan**

Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan pola kecenderungan (trend) kejadian gempa bumi di Pulau Sumatera berdasarkan data historis gempa bumi dari tahun 1976 sampai dengan tahun 2004 serta faktor utama penyebab terjadinya gempa bumi di Pulau Sumatera.

### **1.4. Manfaat**

Adapun manfaat dari penelitian dan penulisan ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui dan memahami penyebab terjadinya gempa bumi tektonik di Sumatera.
- b. Mengetahui kecenderungan (trend) gempa bumi di Sumatera berdasarkan frekuensi gempa bumi yang terjadi sejak tahun 1976 sampai dengan tahun 2004.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Deformasi Kerak Bumi

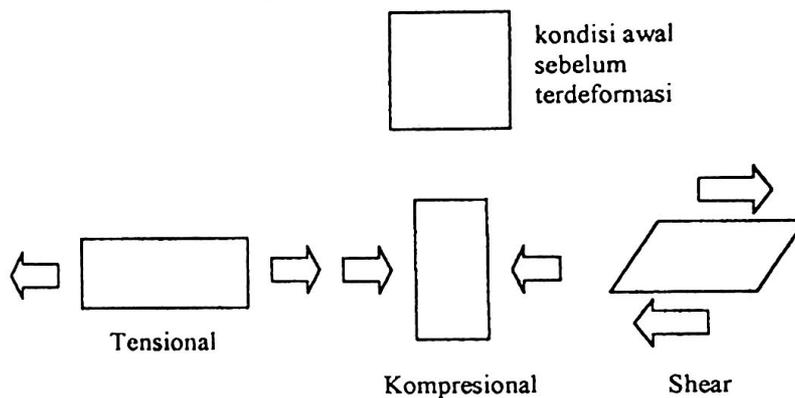
Gaya tektonik secara kontinu menekan, menarik, membengkokkan dan mematahkan batuan di *lithosphere*. Sumber gempa tektonik berasal dari energi panas bumi yang diubah menjadi energi mekanik oleh konveksi. Pengaruh aliran konveksi yang sangat besar dan panas dalam *mesosphere* dan *asthenosphere* perlahan-lahan menyeret dan membengkokkan *lithosphere* secara kontinu, yang akhirnya menyebabkan batuan terdeformasi seperti yang kita lihat saat ini. (Magetsari, 1990)

Kekuatan yang menyebabkan terjadinya deformasi pada batuan ditunjukkan sebagai *stress* (Force/unit area). Stress adalah gaya atau kekuatan yang digunakan terhadap material, sehingga cenderung untuk mengubah dimensinya baik bentuk maupun volumenya.

Apabila stress menekan tidak dari semua arah, maka stress ini disebut sebagai *differential stress*. Ada tiga jenis *differential stress* yang terjadi, yaitu :

1. *Tensional stress* atau *extensional stress*, dimana stress akan menarik batuan. Tarikan stress ini cenderung untuk meningkatkan volume dari sebuah material.
2. *Compressional stress*, dimana stress yang bekerja akan menekan atau memeras batuan, sehingga dapat menyebabkan terjadinya pengurangan volume dari sebuah material.

3. *Shear stress*, yang menghasilkan *slippage* (pergeseran) dan translasi batuan. Gaya yang bekerja pada stress ini bergerak secara paralel, tetapi berlawanan arah. Merupakan hasil perpindahan atau pergeseran lapisan yang berdekatan di sepanjang ruang datar (bidang horizontal).

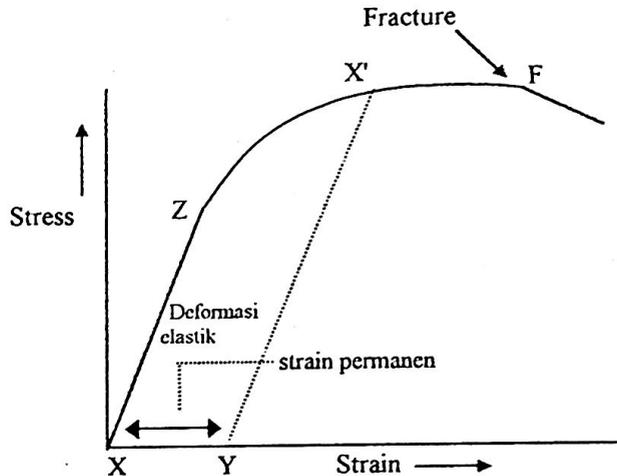


Gambar 2.1. Deformasi pada batuan. (Magetsari, 1990)

Batuan yang terkena stress akan mengalami perubahan bentuk, ukuran dan atau volume pada sebuah material dalam keadaan padat. Perubahan bentuk, ukuran dan atau volume tersebut disebut dengan *strain*. Apabila batuan mengalami penambahan stress, maka batuan akan terdeformasi melalui tiga tahap berurutan, yaitu :

- a. *Elastic deformation*, adalah deformasi sementara atau tidak permanen. Begitu stress hilang, batuan akan kembali ke bentuk dan volume semula. Elastisitas ini ada batasnya yang disebut *elastic limit*, yang apabila dilampaui batuan tidak akan kembali pada kondisi awal.
- b. *Ductile deformation*, merupakan deformasi dimana limit elastis dilampaui dan perubahan bentuk serta volume batuan tidak kembali.

- c. *Fracture*, terjadi apabila batas atau limit elastis dan *ductile deformation* dilampaui.

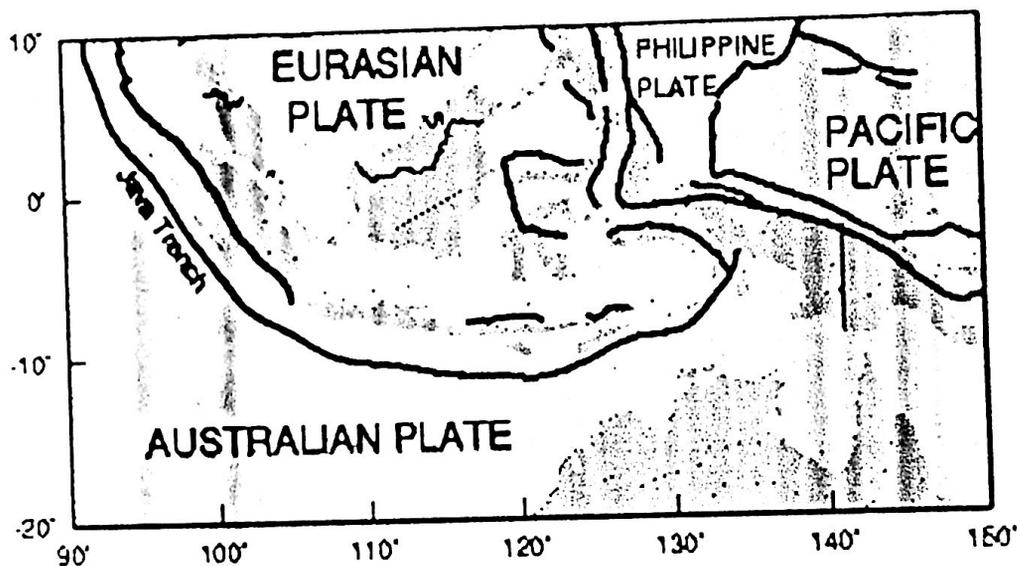


Gambar 2.2. Kurva stress-strain memperlihatkan deformasi elastik (X ke Z), limit elastik (Z) menandai dimulainya deformasi ductile. Bila stress dihentikan pada X' maka benda akan kembali dalam keadaan tidak tertekan di Y melalui lintasan X'Y. Jarak XY merupakan strain akibat deformasi ductile. Apabila stress dilanjutkan maka benda akan patah/pecah di titik fracture F. (Magetsari,1990)

## 2.2. Tektonik Regional Sumatera

Wilayah Indonesia merupakan wilayah yang cukup rawan terhadap peristiwa gempa bumi. Ini terlihat dari peta tektonik wilayah Indonesia yang dilalui oleh 2 sabuk seismik, yaitu Sabuk seismik Mediteran (*Mediteran Belt*) dan Sabuk seismik Lingkar Pasifik (*The Circum-pasifik Belt*). Sebagaimana kita ketahui bahwa wilayah Indonesia merupakan daerah konvergensi dari tiga lempeng utama dunia, yaitu lempeng Indo-Australia yang bergerak relatif ke arah utara, lempeng Eurasia yang bergerak relatif ke arah timur dan selatan, serta lempeng Pasifik yang bergerak relatif ke arah barat dan

selatan. Selain itu, ada satu lempeng lagi yang bergerak ke arah barat daya, yaitu lempeng kecil Filipina. Sejumlah lempeng kecil lainnya bergerak beraneka ragam. Di antara zona interaksi lempeng-lempeng utama tersebut menghasilkan berbagai zona Subduksi dengan bentuk beraneka ragam.



Gambar 2.3. Empat lempeng utama yang mempengaruhi aktivitas tektonik di Indonesia. (PGN)

Pergerakan ketiga lempeng besar tektonik inilah yang banyak menyebabkan timbulnya sesar atau patahan lokal, dan merupakan salah satu generator utama penyebab aktivitas gempa bumi. Palung-palung laut (*trench*), zona Benioff, busur vulkanik dan ciri aktivitas tektonik lainnya di wilayah Indonesia merupakan tanggapan (*respon*) dari pergerakan yang rumit lempeng-lempeng lithosphere yang besar maupun yang kecil.

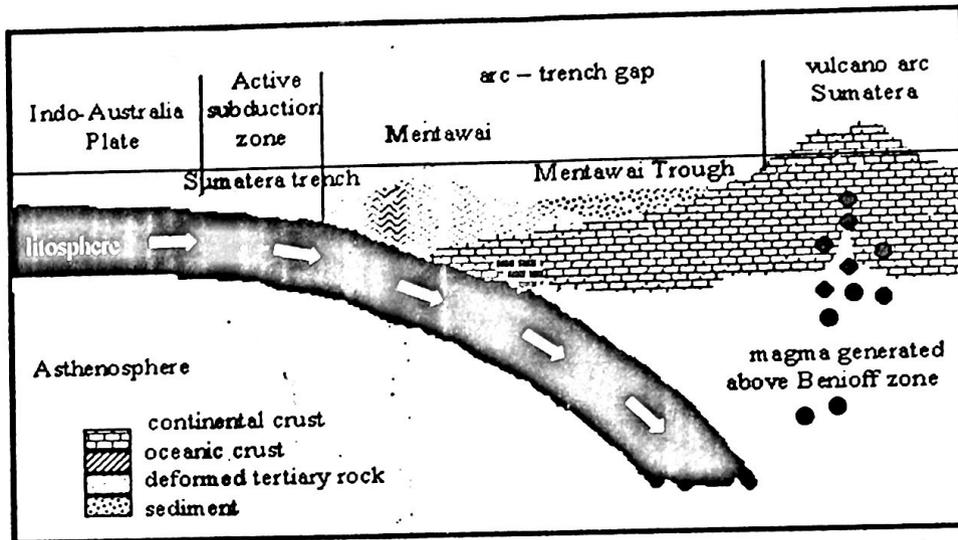
Dari data historis kegempaan dan berdasarkan peta Seismo tektonik W.Hamilton, penyebab aktivitas gempa bumi di Sumatera yang terletak antara 5° LS – 10° LU dan 90° BT – 105° BT, didominasi oleh aktivitas subduksi (penyusupan) lempeng Indo-

Australia terhadap lempeng Eurasia, sesar Mentawai yang terletak di bagian barat Samudera Indonesia, serta sesar geser Sumatera atau dikenal sebagai Sesar Semangko.

Sesar Semangko memanjang dari Aceh sampai teluk Semangko di Lampung dan sedikitnya terdiri dari 11 segmen menyusuri di sepanjang Bukit Barisan. Sebagai contoh, di sekitar daerah Bengkulu terdapat beberapa sub segmen patahan aktif, antara lain patahan Musikeruh, patahan Mentaun dan patahan Kepahiang. Sedangkan sesar Mentawai diperkirakan sebagai patahan aktif di laut yang terletak di sebelah barat Pulau Sumatera dan sejajar dengan sesar Semangko melalui Kepulauan Mentawai. Sesar Mentawai dan sesar Semangko mempunyai ciri-ciri sebagai penghasil gempa dangkal. (Subardjo, 2001)

Salah satu penyebab aktivitas tektonik lainnya di Sumatera adalah adanya parit-parit atau palung (*trench*) di Samudera Indonesia yang merupakan batas pertemuan lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia, atau dikenal sebagai *zona Subduksi*. Zona subduksi ini mempunyai ciri-ciri antara lain merupakan sumber gempa dangkal sampai dengan gempa dalam.

Gambar 2.4. memperlihatkan penampang zona subduksi Pulau Sumatera, dimana busur ini terbentuk oleh subduksi kerak samudera yang menunjam di bawah kerak benua yang lebih tebal dan tua, termasuk busur pegunungan pada umur Permian, Cretaceous dan Tersier. Sedimen Abisal klastik yang sangat tebal menunjam ke Palung Sumatera dan lapisan sedimen yang tebal mendorong ke jajaran kepulauan.



Gambar 2.4. Skema penampang penunjaman litosfer di bawah Sumatera (modifikasi Katili)

### 2.3. Jenis dan Sifat Penjalaran Gelombang

Energi elastik akan dipancarkan ke segala arah dari pusat gempa bumi dalam bentuk gelombang. Ada dua jenis gelombang elastik yang dipancarkan dari pusat gempa bumi, yaitu :

#### 1. Gelombang badan (*body wave*)

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar melalui bagian dalam bumi. Gelombang ini lebih cepat menjalar dibandingkan dengan gelombang permukaan. Gelombang badan dibagi dalam dua jenis, yaitu :

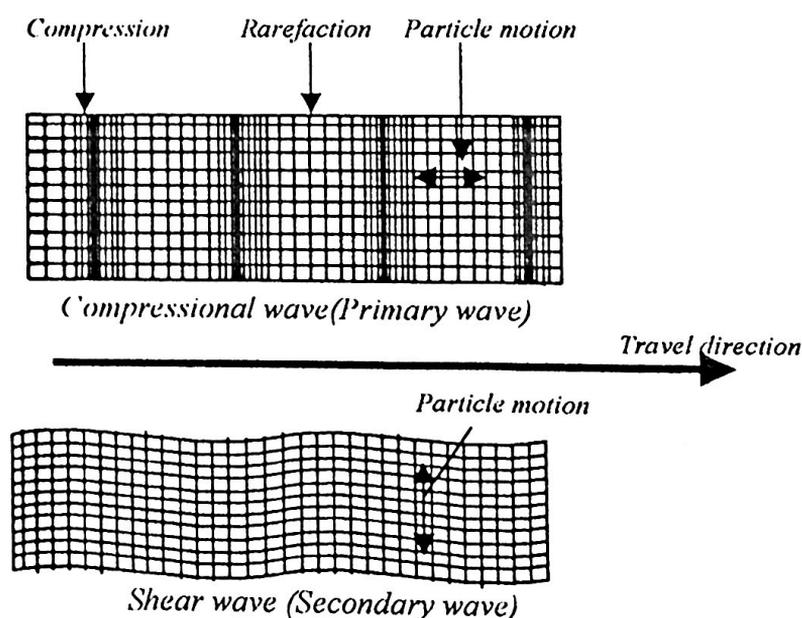
##### a. Gelombang Primer (*primary wave*)

Gelombang Primer sering disebut juga sebagai gelombang longitudinal karena arah getar (osilasi) partikel-partikel mediumnya searah dengan arah penjarannya. Gelombang primer juga merupakan jenis gelombang kompresi karena gelombang ini mendeformasi batuan dengan mengubah volumenya. Gelombang kompresi dapat merambat melalui medium cair, padat dan gas, karena ketiganya dapat menanggung perubahan densitas.

Gelombang ini memiliki kecepatan tertinggi diantara gelombang-gelombang seismik dan merupakan gelombang pertama yang tercatat pada stasiun gempa saat terjadi gempa.

b. Gelombang Sekunder (*secondary wave*)

Gelombang ini juga disebut sebagai gelombang transversal karena arah getar (osilasi) partikel-partikel mediumnya tegak lurus terhadap arah penjalarannya. Gelombang sekunder juga merupakan jenis gelombang *shear wave* dimana gelombang ini mendeformasi material atau batuan dengan mengubah bentuknya. *Shear wave* hanya dapat merambat pada medium padat karena cairan dan gas tidak mempunyai daya elastisitas untuk kembali ke bentuk asal. Kecepatan rambatnya lebih rendah dibandingkan dengan gelombang Primer sehingga gelombang ini terekam pada stasiun gempa setelah gelombang P.



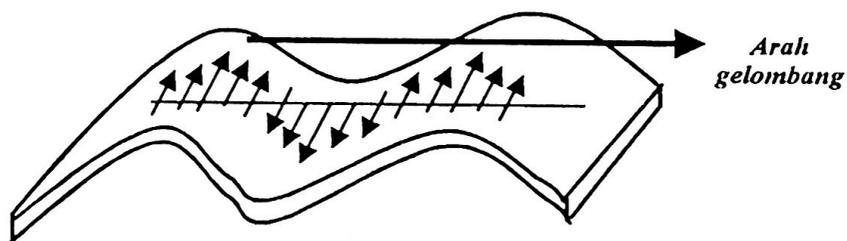
Gambar 2.5. Gelombang badan (*body wave*). a. Gelombang Primer, b. Gelombang Sekunder (Modifikasi dari Kearey)

## 2. Gelombang Permukaan (*surface wave*)

Gelombang permukaan adalah gelombang yang merambat di sepanjang lapisan permukaan. Gelombang jenis ini membawa sejumlah besar energi dari gempa dangkal dan biasanya sebagai penyebab utama kerusakan yang diakibatkan oleh peristiwa gempa bumi. Gelombang jenis ini dibagi menjadi dua, yaitu :

### a. Gelombang Love (*love wave*)

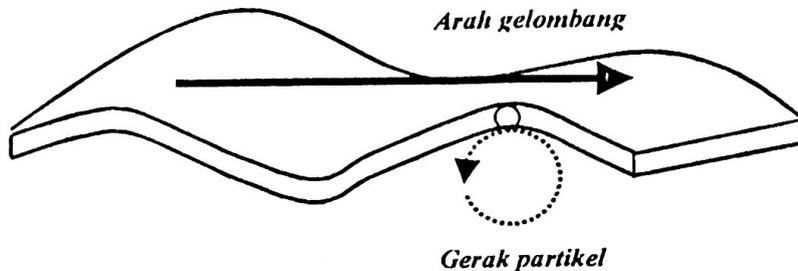
Gelombang ini mirip dengan gelombang S, hanya saja gerakan partikelnya selalu melintang pada permukaan atau bidang di sepanjang lintasan gelombang.



Gambar 2.6. Gelombang Love. Partikel-partikel bergerak mengikuti pola elips pada bidang horizontal, sementara penjarannya ke arah lateral

### b. Gelombang Rayleigh (*rayleigh wave*)

Merupakan gelombang dimana gerakan partikel-partikel yang terlibat tidak bergerak lurus, melainkan melingkar (*circular orbit*), seperti partikel air dalam gelombang laut, tetapi arahnya berlawanan. Cepat rambat gelombang Rayleigh dalam medium homogen tidak bergantung pada frekuensi, melainkan hanya bergantung pada kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) dan gelombang S ( $V_s$ ).



**Gambar 2.7. Gelombang Rayleigh. Partikel medium bergerak pada bidang vertikal mengikuti pola elips, sementara penjalarannya ke arah lateral.**

## 2.4. Gempa Tektonik

Gempa tektonik adalah suatu fenomena alam berupa getaran bumi atau getaran kerak bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba yang dirambatkan ke permukaan sebagai akibat adanya perpindahan batuan atau perubahan letak lapisan batuan pada kerak bumi di sepanjang patahan (*fault*). Gempa bumi utama (*mainshock*) pada umumnya diawali oleh rentetan gempa awal (*foreshocks*) dan selalu diikuti oleh serentetan gempa susulan (*aftershocks*) untuk membentuk kesetimbangan yang baru.

### 2.4.1. Patahan atau Sesar

Secara geologi bumi terdiri dari tiga lapisan, yaitu kerak bumi (*crust*), selubung atau mantel (*mantle*), dan inti bumi (*core*). Kondisi lapisan batuan pada bagian inti bumi bervariasi antara cair dan padat. Di dalam kerak bumi sering terjadi perubahan letak atau deformasi lapisan batuan sebagai akibat adanya gaya yang berasal dari dalam bumi (*endogen*) yang menyebabkan terjadinya pergeseran lempeng-lempeng lithosphere.

Sesar (patahan) didefinisikan sebagai rekahan pada batuan yang mengalami pergerakan sejajar bidangnya (Magetsari, 1990). Desakan terus menerus lempeng mengakibatkan terjadinya akumulasi energi pada lempeng batuan di sekitar batas pertemuan tersebut. Berkenaan dengan tenggang waktu pembentukan dan kedalaman, bagian-bagian lempeng susunan memiliki kondisi distribusi suhu yang tidak merata, yang mengakibatkan terjadinya perbedaan derajat rigiditas pada lempeng tersebut. Keadaan ini turut mempengaruhi transfer energi pada seluruh bagian lempeng. Hasilnya, pada bagian tertentu yang kekuatannya paling lemah akan mengalami patahan, yaitu pada saat energi subduksi yang terkandung setara dengan harga puncak ketahanan batuan.

Pada kondisi tersebut, seluruh energi yang bekerja di sekitar daerah patahan akan terlepas. Sebagian besar energi lepasan ini berbentuk energi getaran yang kemudian diteruskan ke segala arah melalui medium solid pada kerak bumi dan pada permukaan terasa sebagai gelombang gempa. Semakin besar energi yang dilepaskan, maka akan semakin kuat gempa yang terjadi.

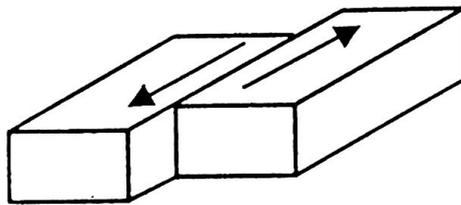
Gempa bumi yang terjadi mengakibatkan terbentuknya patahan. Pada bagian yang terbelah tersebut, lempeng akan bergerak satu sama lainnya. Patahan tersebut dapat berukuran hingga ratusan kilometer.

Dalam klasifikasi patahan digunakan pergeseran relatif, karena kita tidak mengetahui blok mana yang bergerak, satu sisi patahan bergerak ke arah tertentu relatif terhadap sisi yang lainnya.

Berdasarkan genetisnya atau gaya yang bekerja pada lempeng tersebut, patahan diklasifikasikan berdasarkan *dip* bidang patahan dan arah gerak relatifnya, yaitu :

pada sesar tersebut sejajar dengan jurus (*strike*). Patahan ini dibagi lagi menjadi dua jenis :

- *Left lateral strike slip faults* : bila bergerak ke kiri
- *Right lateral strike slip faults* : bila bergerak ke kanan.



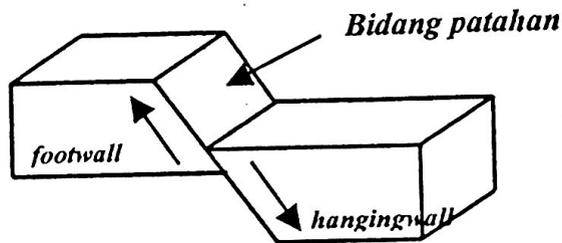
Gambar 2.10 Blok patahan *strike slip faults*

#### 2.4.2. Zona Subduksi

Salah satu aktivitas pergerakan lempeng lithosphere yang menyebabkan terjadinya tumbukan (*collision*) dan penyusupan (*thrusting*) lempeng yang memiliki densitas lebih besar ke bawah lempeng yang memiliki densitas lebih kecil dikenal sebagai proses konvergen. Proses ini mengakibatkan timbulnya stress-stress horizontal di sepanjang batas pertemuan. Zona pertemuan antar lempeng-lempeng ini disebut dengan *zona Benioff* atau *zona Subduksi* yang merupakan tempat dimana sebagian besar peristiwa gempa bumi tektonik terjadi.

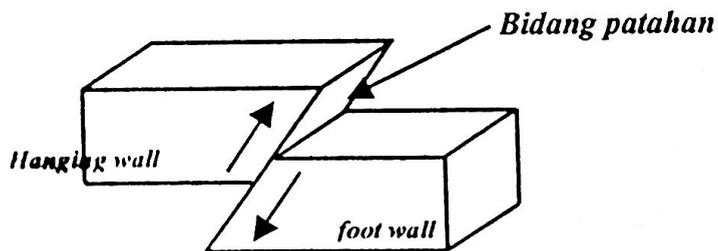
Zona subduksi merupakan daerah utama gempa bumi, dimana tempat terjadinya gempa dangkal, gempa menengah dan gempa dalam, sehingga zona ini disebut zona aktif dan palung laut serta gunung api terdapat di zona ini. Di daerah batas penunjaman lithosphere terbentuk palung-palung (*trench*) yang dalam. Selain itu juga menyebabkan

1. *Normal faults* (sesar turun) : patahan yang disebabkan adanya tarikan (*tensional stresses*) horizontal, dimana blok *hanging wall* relatif bergerak turun terhadap blok *footwall*.



Gambar 2.8. Blok patahan *normal faults*

2. *Reverse faults* (sesar naik) : patahan yang disebabkan adanya tekanan (*compressional stresses*) horizontal pada batuan lapuk, dimana blok *hanging wall* relatif bergerak naik terhadap blok *footwall*.

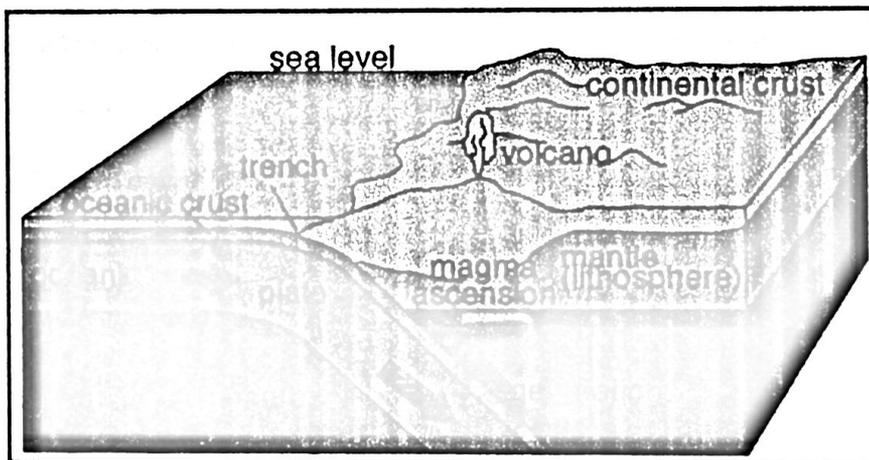


Gambar 2.9. Blok patahan *reverse faults*

3. *Strike slip faults* (sesar mendatar) : patahan dimana gerak patahan relatif terhadap arah horizontal atau bila arah gerakan relatif masing-masing blok

terjadinya deformasi dan kompresi di daerah lempeng benua yang dekat dengan daerah tumbukan, akibatnya terjadi intrusi magma sehingga terbentuk busur vulkanik.

Zona subduksi ditemukan pertama kali oleh seorang ahli dari Jepang pada tahun 1935, kemudian dikembangkan oleh Benioff pada tahun 1964, sehingga zona ini disebut juga zona Benioff. Di daerah ini menyebar titik-titik pusat gempa (*hypocenter*) yang menunjukkan struktur dari penunjaman litosphere, dari batas palung sampai ke dalam bumi.



**Gambar 2.11. Penunjaman lempeng kerak samudera di bawah kerak benua dan kaitannya dengan palung laut (*trench*), gempa tektonik dan gunung api. (www.USGS.com)**

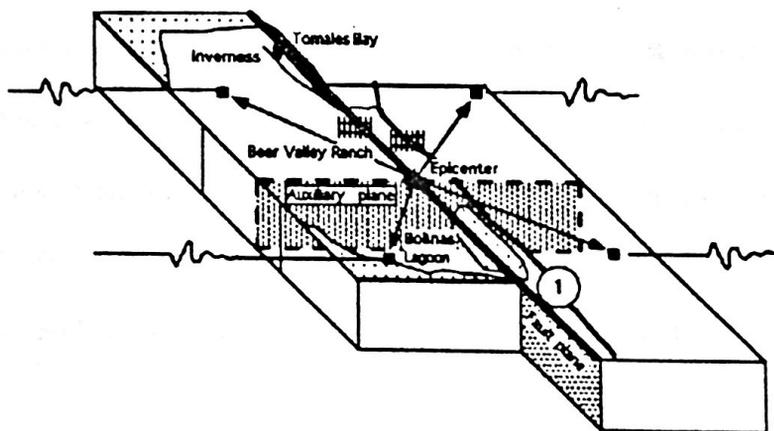
Di Indonesia, zona subduksi dengan kedalaman 180 km terletak di sepanjang Pulau Sumatera sampai Jawa Barat, dan mulai dari Jawa Tengah sampai Flores kedalamannya mencapai 665 km..

Dari kedalaman penunjaman pada zona subduksi di Indonesia dapat dilihat bahwa kedalaman penunjaman di Jawa lebih dalam dibandingkan di wilayah Sumatera.

Hal ini memberikan gambaran bahwa umur penunjaman di Jawa lebih tua dibandingkan umur penunjaman di Sumatera dengan kecepatan penunjaman sekitar 8 cm/tahun.

### 2.4.3. Sesar Geser (*Transform Fault*)

Sesar geser sering disebut juga sebagai sesar mendatar (*strike slip fault*). Gerak utama sesar ini adalah horizontal dan sejajar dengan bidang sesarnya, akibat bekerjanya *shear stress*. Pergerakan lateralnya ditentukan dengan melihat bidang sesarnya. Bila pengamat berdiri di depan blok sesar yang bergerak ke arah kanannya, maka sesar mendatar tersebut dinamakan sesar mendatar menganan atau sesar mendatar dextral (*right lateral slip fault*). Dan sebaliknya bila blok di depan pengamat bergerak ke arah kiri dinamakan sesar mendatar mengiri atau sesar mendatar sinister (*left lateral strike fault*). (Magetsari, 1990)



Gambar 2.12 Mekanisme sesar geser (*transform fault*). (www.USGS.com)

Contoh sesar mendatar di Indonesia adalah sesar Sumatera di sepanjang bagian barat Pulau Sumatera, sesar Palu-Koro di Sulawesi, sesar Sorong di Irian, dan lain-lain.

Pada umumnya sesar mendatar besar merupakan batas lempeng, atau kejadiannya berkaitan dengan aktivitas pergerakan lempeng. Oleh karena itu kebanyakan masih aktif (masih bergerak meskipun sangat lambat) seperti contoh di atas. Meskipun gerakannya tidak teramati, tetapi pengaruhnya jelas, seringnya terjadi gempa bumi di sepanjang sesar dan tanah longsor.

Sesar mendatar yang merupakan batas lempeng dan berkaitan dengan pemekaran lempeng disebut dengan sesar transform, seperti yang terdapat di lantai samudera. Gempa bumi di sepanjang sesar geser ini merupakan gempa bumi dangkal.

## 2.5. Parameter Gempa Bumi

Secara garis besar, parameter gempa bumi yang biasa dan sering digunakan adalah :

### 1. Waktu terjadinya gempa bumi (*origin time*).

Berdasarkan waktu tiba gelombang gempa diperoleh episenter dan hiposenter untuk menentukan waktu kejadian. Selain data waktu kedatangan, juga dapat ditentukan waktu penjalaran yang dikorelasikan dengan kedalaman. Hubungan antara kecepatan gelombang P ( $V_p$ ), kecepatan gelombang S ( $V_s$ ), waktu tiba gelombang P ( $T_p$ ), waktu tiba gelombang S ( $T_s$ ) dan interval waktu antara gelombang S dan P adalah :

$$(T_s - T_p) = \left( \frac{V_p}{V_s} - 1 \right) * T_{po}$$

$$T_{sp} = \left( \frac{V_p}{V_s} - 1 \right) * (T_p - T_o)$$

$$L T_o = L T_p - T_{sp} \dots\dots\dots(2.1)$$

## 2. Episenter

Episenter adalah titik pada permukaan bumi yang terletak vertikal di atas pusat gempa bumi atau fokus, biasanya dinyatakan dalam lintang dan bujur geografis.

## 3. Kedalaman sumber gempa bumi

Kedalaman sumber gempa bumi biasanya dinyatakan dalam satuan kilometer atau jari-jari bumi.

## 4. Hiposenter

Hiposenter adalah titik atau tempat terjadinya gempa di dalam bumi.

## 5. Magnitudo

Magnitudo merupakan kuantisasi gempa yang mengarah pada besarnya energi yang dilepaskan oleh sumber gempa. Beberapa formula penentuan magnitudo pada gempa bumi didasarkan atas perhitungan amplitudo maksimum, durasi atau selisih waktu gelombang terekam, dan faktor kedalaman.

Secara umum magnitudo gempa bumi digolongkan kedalam dua jenis, yaitu :

### a. Magnitudo Gelombang Permukaan ( $M_s$ )

Gunterberg menemukan metoda untuk menghitung besar magnitudo dengan menggunakan log amplitudo maksimum gelombang permukaan yang terekam, yaitu :

$$M_s = \log(A) - \log A_0 \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :  $A$  = amplitudo maksimum Seismograph dalam milimeter, magnifikasi

$V_{maks}$ . 2800 km/s dalam jarak  $\Delta < 600$  km dan  $h < 20$  km

$A_0$  = amplitudo maksimum yang seolah-olah dari Seismograph dengan jarak yang sama dari gempa bumi standar ( $M_L = 0$ ).

## b. Magnitudo Gelombang Badan ( $M_b$ )

Gutenberg memperoleh persamaan umum untuk gelombang badan (*body wave*) pada gelombang Primer maupun gelombang Sekunder.

$$M_b = \log (A/T) - f(\Delta(h)) \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :  $A/T$  = rasio amplitudo dengan periode getaran (mm/s)

$f(\Delta(h))$  = fungsi kalibrasi yang bergantung pada jarak episentrum dengan fokus.

Sedangkan menurut Bath (1973), formula magnitudo gelombang badan adalah :

$$M_b = \log (A/T) + C_1 \log A + C_2 \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana  $C_1$  dan  $C_2$  adalah konstanta yang bergantung pada daerah gempa.

Pada tahun 1956, Gutenberg dan Richter menemukan formula yang lebih sederhana untuk menentukan magnitudo gelombang badan berdasarkan hubungannya dengan magnitudo gelombang permukaan ( $M_s$ ). Formula tersebut adalah :

$$M_b = 0.63 M_s + 2.5 \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Sementara Bath (1966), menemukan bahwa hubungan antara dua parameter tersebut adalah :

$$M_b = 0.56 M_s + 2.9 \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

## 6. Momen Seismik

Konsep perhitungan kuantisasi gempa bumi yang dapat membantu perhitungan laju pergeseran blok sesar dan yang menyebabkan proses terakumulasinya energi strain disebut momen seismik ( $M_0$ ).

$$\text{Log } M_0 = 1.5 M_s + 16.1 \text{ (dyne.cm)} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Rumusan yang memperhitungkan hubungan momen seismik dengan luas daerah yang mengalami stress geser dan rigiditas setempat hingga diperoleh laju pergeseran dapat ditulis sebagai berikut :

$$M_0 = \mu \cdot D_0 \cdot S \text{ (dyne.cm) } \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :  $\mu$  = rigiditas daerah sumber

$D_0$  = rata-rata dislokasi (pegeseran)

$S$  = luas total daerah sesar



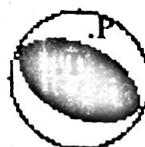
## 2.6. Mekanisme Fokus (*Focal Mechanism*)

Ahli seismologi menunjukkan bahwa arah slip dalam gempa bumi dan orientasi patahan pada peristiwa gempa memiliki hubungan yang sama seperti pada mekanisme fokus (*focal mechanism*). Mereka menggunakan informasi dari seismogram untuk menentukan mekanisme fokus dan menggambarannya dalam bentuk simbol berupa bola volly pantai (*beach ball*). Simbol ini merupakan proyeksi dari patahan ataupun pergerakan lempeng tektonik yang menyebabkan terjadinya gempa.

Pada gambar 2.10, bagian yang berwarna merah pada beach ball adalah *Tension axis (T)* yang merupakan kompresi minimum dari suatu stress, dan bagian yang berwarna putih adalah *Pressure axis (P)* yang merupakan kompresi maksimum dari suatu stress.

Diagram of a focal mechanism

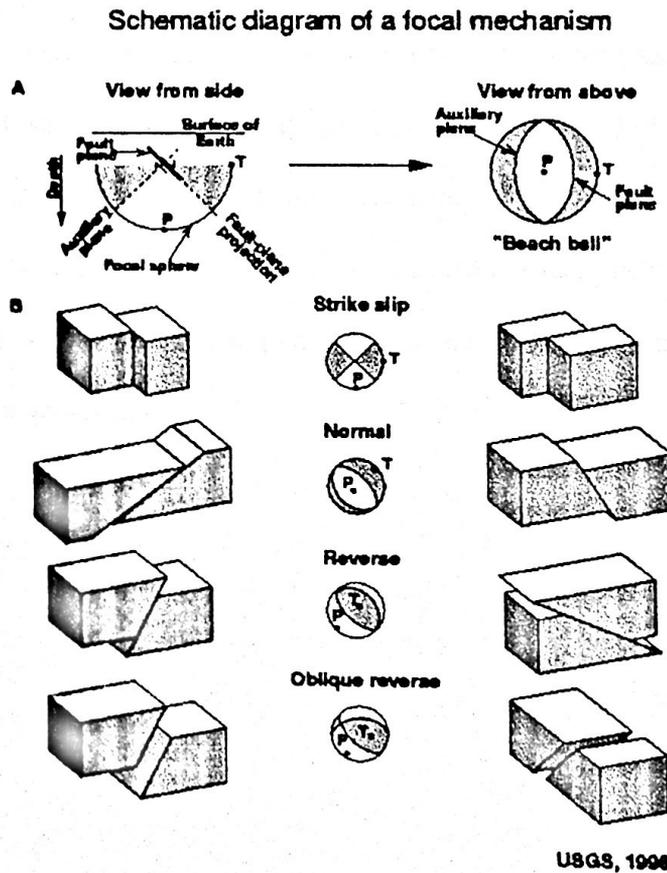
*P* is a pressure axis  
*T* is a tension axis





Gambar 2.13. Diagram mekanisme fokus sumber gempa bumi.

Focal mechanism adalah suatu model komputasi yang mencoba menemukan hasil terbaik dengan petunjuk berupa gerakan pertama gelombang P (*P-first motion*). Pada gambar 2.11. menggambarkan skema pergerakan patahan secara horizontal (*strike slip*) dan vertical (*normal* atau *reverse*). Sedangkan untuk gambar terakhir menunjukkan mekanisme *oblique reverse*.



Gambar 2.14. Skema pergerakan patahan dan diagram focal mechanismnya.(www.USGS.com)

## 2.7. Pengertian Trend

Trend pada dasarnya akan menjelaskan data berkala (*Time Series*) secara menyeluruh atau rata-ratanya. Trend biasanya digunakan untuk mengetahui sampai seberapa jauh pengaruh gerakan terhadap berbagai macam fluktuasi yang mempengaruhinya. Garis trend adalah suatu garis yang menunjukkan arah perkembangan secara umum. Dengan adanya garis trend kita dapat meramalkan gambaran keadaan masa yang akan datang, karena tafsiran garis trend menunjukkan hubungan secara umum misalnya :

- a. Keadaan yang bertambah secara konstan
- b. Keadaan yang bertambah dengan penambahan yang menaik
- c. Keadaan yang bertambah dengan penambahan yang menurun
- d. Keadaan yang menurun dengan penurunan yang tidak tetap.

Data berkala yang pendek dimungkinkan untuk mendapatkan trend yang linear. Sebaliknya, untuk data berkala yang panjang akan cenderung membentuk trend yang non linear, karena trend yang linear pada jangka yang panjang akan mengarah pada gejala perubahan yang mendatar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ardi, 2003, Tugas Akhir, *Pola Tektonik Zona Subduksi Wilayah Kepulauan Talaud*, Jurusan Fisika, FMIPA UNSRI, Inderalaya
- Armien Paimin, 2000, Jurnal Gempa Bengkulu, Stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika, Kepahiang, Bengkulu
- Bahan Kuliah Seismologi, 2003, *Magnitudo Gempa Bumi*, Jurusan Fisika, FMIPA UNSRI, Inderalaya
- Diktat Pelatihan Meteorologi dan Geofisika, 2001, Diklat Meteorologi dan Geofisika, Departemen Perhubungan
- Katili, Jhon, 1980, *Geotectonics of Indonesia*, Departemen Geologi, ITB, Bandung
- Magetsari, N.A, 1990, *Geologi Fisik, Deformasi Kerak Bumi*, ITB, Bandung
- Nelson, Stephen, 2001, *Deformation of Rock*, Physical Geology, Tulane University
- Subarjo, M. Riyandi,dkk, 2001, Jurnal Meteorologi dan Geofisika, *Gempabumi Bengkulu 4 Juni 2000*, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta