

**PENGGUNAAN DATA GEMPA DAN DATA GEOLOGI
UNTUK MENGANALISA POLA-POLA SESAR
DI DARATAN PULAU SUMATRA**

SKRIPSI

Oleh :
BADRUL MUNIR
NIM. 10640057



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAIN DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK
IBRAHIM MALANG
2015**

**PENGGUNAAN DATA GEMPA DAN DATA GEOLOGI
UNTUK MENGANALISA POLA-POLA SESAR
DI DARATAN PULAU SUMATRA**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
BADRUL MUNIR
NIM. 10640057**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2015**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGGUNAAN DATA GEMPA DAN DATA GEOLOGI
UNTUK MENGANALISA POLA-POLA SESAR
DI DARATAN PULAU SUMATRA

SKRIPSI

Oleh:
BADRUL MUNIR
NIM. 10640057

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 10 November 2015

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

DR. H. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes
NIP. 19750808 199903 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

HALAMAN PENGESAHAN

PENGUNAAN DATA GEMPA DAN DATA GEOLOGI UNTUK MENGANALISA POLA-POLA SESAR DI DARATAN PULAU SUMATRA

SKRIPSI

Oleh:

BADRUL MUNIR
NIM. 10640057

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 10 November 2015

Penguji Utama:	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji:	<u>Novi Avisena, M.Si</u> NIP. 19761109 200604 1 004	
Sekretaris Penguji:	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota Penguji:	<u>DR. H. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN TULISAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Badrul Munir

NIM : 10640057

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil-alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil contekan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 10 November 2015

Yang membuat pernyataan,

Badrul Munir
NIM. 10640007

MOTTO

فَمَنْ يَعْمَلْ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ خَيْرًا يَرَهُ ﴿٧﴾ وَمَنْ يَعْمَلْ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ شَرًّا يَرَهُ ﴿٨﴾

Barangsiapa yang mengerjakan kebaikan seberat biji dzarrahpun, niscaya Dia akan melihat (balasan)nya (7).

dan Barangsiapa yang mengerjakan kejahatan sebesar biji dzarrahpun, niscaya Dia akan melihat (balasan)nya pula (8).

(QS. Al Zalzalah : 7-8)

**“SEBAIK-BAIK MANUSIA ADALAH YANG BERMANFAAT BAGI
MANUSIA LAINNYA” (AL HADIST)**

HALAMAN PERSEMBAHAN

Untuk sepasang malaikat di seberang daerah (ayah dan ibu tersayang yang penuh kasih) yang tiada lelah menyuntikan semangat dan motivasi

Untuk keluarga serta bangsa dan negara tercinta

aku persembahkan ini untuk kalian

semoga bermanfaat...

^_^



KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat Sehat wal'afiyat sehingga penulis dapat menyumbangkan hasil karya ilmiah dan pemikiran melalui sebuah tulisan kecil yang diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dengan judul “PENGGUNAAN DATA GEMPA DAN DATA GEOLOGI UNTUK MENGANALISA POLA-POLA SESAR DI DARATAN PULAU SUMATRA”.

Tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan motivasi dan inspirasi hingga skripsi ini dapat diselesaikan, semoga Allah SWT membalas dengan segala kebaikan yang telah membantu dengan tulus dan ikhlas kepada:

1. Prof. DR. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. DR. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN)Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberikan petunjuk, pengarahan dengan sabar dan teliti serta waktu yang diluangkan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

5. DR. H. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes selaku dosen pembimbing Integrasi Sains dan Islam yang telah membantu, memberikan masukan dan arahan terhadap permasalahan integrasi dalam skripsi ini.
6. Sugiharto selaku kepala Stasiun Geofisika, bapak Tri Deni Rachman beserta staf BMKG kelas II Tretes. Ilmu dan pengalamannya sangat bermanfaat.
7. Seluruh Dosen Fisika, Dosen Agama, Ustadz-Ustadzah PKPBA dan Ma'had Sunan Ampel al-Aly yang telah mengamalkan ilmunya kepada penulis selama menimba ilmu di UIN Maliki Malang.
8. Kedua Orang tua, Bapak Zainuddin dan Ibu Sawiyah serta saudaraku tercinta Istianah dan Inayatul maghfiroh yang tiada lelah memberikan motivasi dan mendukung penulis menyelesaikan skripsi.
9. Pemilik rumah Villa Bukit Tidar Abdul Hamid, terima kasih atas semua kepercayaan dan kesempatan sehingga bisa bertempat tinggal di rumah pemilik, beserta penghuni Helmi dan Ilyas, semoga kalian sukses disana.
10. Teman-teman tercinta Fendi, Iqbal, Taufiq, Faisol, Aji, Bahar, Nasich, Dhani, Dina, Nita, Sofi, Salama, Fika, Icha, Zahroh, Siti, Isna, Mas Ari, Aziz, Qomar terimakasih atas pertememanan yang kita lalui selama di bangku kuliah.
11. Seluruh Teman-Teman GEOPHYSICS '10 dan '11, seluruh Fisika Angkatan 2010 yang tidak disebutkan satu persatu. Terimakasih atas semangat dan dukungannya karena tanpa adanya kalian penulis tidak akan bisa mengerjakan skripsi.

12. Teman-teman Formasi (Forum Mahasiswa Fisika) Jawa Timur Bang Wafi, Mas Habibi, Risal, Dedi, Neng Cimoy, Mbak Nia, dan seluruh anggota yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih atas kebersamaannya.

13. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, kami ucapkan terimakasih banyak atas bantuan, dan motifasinya.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan semua amal ibadah atas bantuan dan bimbingan semua pihak-pihak selama penulisan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis pada khususnya.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam tulisan-tulisan kecil ini, oleh karena itu, penulis masih membutuhkan kritik dan saran sebagai pengembangan ilmu pengetahuan agar dapat bermanfaat untuk kita semua.

Malang, 10 November 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGAJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	6
1.4 Manfaat	6
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8
2.1 Gempa Bumi	8
2.1.1 Terjadinya Gempa Bumi	8
2.2 Parameter Gempa	12
2.2.1 Energi Gempa	12
2.2.2 Magnitudo	13
2.3 Sesar	13
2.4 Mekanisme Fokus	18
2.4.1 Pengertian Mekanisme Sumber	18
2.4.2 Penentuan Mekanisme Sumber dengan Gelombang P.	21
2.4.3 Bola Fokal (<i>Beach Ball</i>)	22
2.5 Geologi Pulau Sumatra	23
2.5.1 Terbentuknya Jalur Gempa Bumi Di Sumatra	23
2.5.2 Proses Gempa Bumi Bawah Laut Perairan Barat Sumatra	24
2.5.3 Proses Gempa Bumi Daratan Sumatra	27
2.5.4 Sesar Semangko	28
2.5.5 Tektonostatigrafi Sumatra	33
BAB III METODOLOGI	39
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	39
3.2 Alat dan Bahan	39
3.3 Pelaksanaan	40
3.3.1 Pengambilan Data	40
3.3.2 Pengolahan Data	40
3.4 Analisa Data	40
3.5 Diagram Alir	41

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Proses Pengolahan Data	42
4.2 Hasil Pengolahan Data	42
4.2.1 Pengolahan Data Seismisitas dengan Magnitude	42
4.2.2 Hasil Pengolahan Data Fokal	46
4.2.3 Hasil Hubungan Data Fokal dengan Data Geologi	50
4.2.3.1 Region 1	50
4.2.3.2 Region 2	53
4.2.3.3 Region 3	55
4.2.3.4 Regoin 4	57
4.3 Analisa Data dan Pembahasan	65
4.4 Hasil Penelitian Dalam Pandangan Al-Qur'an	78
BAB V PENUTUP	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Lapisan bagian dalam bumi kita	8
Gambar 2.2	Arus konveksi di dalam mantel menggerakkan kerak bumi	9
Gambar 2.3	Batas-Batas lempeng di dunia	9
Gambar 2.4	Tunjaman pada lempeng konvergen	9
Gambar 2.5	Pegunungan hasil dari tumbukan lempeng	10
Gambar 2.6	Kerak samudra baru proses pada batas lempeng divergen	10
Gambar 2.7	Sesar geser	11
Gambar 2.8	Titik hiposenter dan episenter	11
Gambar 2.9	P wave dan S wave	12
Gambar 2.10	Rayleigh dan Love wave	12
Gambar 2.11	Parameter gempa	14
Gambar 2.12	Sesar turun (<i>normal fault</i>)	17
Gambar 2.13	Sesar naik (<i>reverse fault</i>)	17
Gambar 2.14	Sesar Mendatar (<i>lateral slip fault</i> dan <i>right-aiteral fault</i>)	18
Gambar 2.15	<i>Elastic Rebound Theory</i>	20
Gambar 2.16	Kopel tunggal (<i>single couple</i>), Kopel ganda (<i>doublecouple</i>)	20
Gambar 2.17	Penjalaran gelombang P dari fokus	22
Gambar 2.18	Bentuk bola fokal berdasarkan jenis sesarnya	23
Gambar 2.19	Dinamika umum tektonik Indonesia	24
Gambar 2.20	Tektonik aktif Pulau Sumatra	25
Gambar 2.21	Diagram zona subduksi Sumatra	26
Gambar 2.22	Diagram Jalur Patahan Sumatra di Sumatra barat	28
Gambar 2.23	Peta Jalur Patahan Sumatera	29
Gambar 2.24	Rekonstruksi tektonik lempeng Asia Tenggara	38
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian	39
Gambar 3.2	Diagram Alir	41
Gambar 4.1	Sebaran Seismisitas Sumatra	43
Gambar 4.2	<i>Cross Section</i> pada bidang Seismisitas Sumatra	45
Gambar 4.3	Sebaran <i>Focal Mechanism</i> pada Region I	46
Gambar 4.4	Sebaran <i>Focal Mechanism</i> pada Region II	47
Gambar 4.5	Sebaran <i>Focal Mechanism</i> pada Region III	48
Gambar 4.6	Sebaran <i>Focal Mechanism</i> pada Region IV	49
Gambar 4.7	Lembar Geologi Takengon beserta <i>Moment Tensor</i>	51
Gambar 4.8	Lembar Geologi Sidikalang beserta <i>Moment Tensor</i>	54
Gambar 4.9	Lembar Geologi Pekanbaru beserta <i>Moment Tensor</i>	56
Gambar 4.10	Lembar Geologi Tanjungkarang beserta <i>Moment Tensor</i>	63
Gambar 4.11	Peta Keseluruhan <i>Focal Mechanism</i> Zona Busur Barisan	69
Gambar 4.12	Peta Keseluruhan <i>Focal Mechanism</i> Zona Busur Muka, Zona Busur Barisan dan Zona Busur Belakang	70
Gambar 4.13	Peta Mendala Sumatra	71
Gambar 4.14	Peta Wilayah Administrasi Sumatra	73

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengolahan Data <i>Focal</i> dari CMT Global	46
Tabel 4.2 Pengolahan Data <i>Focal</i> dari USGS Global CMT	48
Tabel 4.3 Pengolahan Data <i>Focal</i> dari USGS Global CMT	49
Tabel 4.4 Pengolahan Data <i>Focal</i> dari Global CMT	50
Tabel 4.5 Hasil Pengolahan Data <i>Focal</i> Zona Barisan	67
Tabel 4.6 Hasil Pengolahan Data <i>Focal</i> Zona Busur Muka Barisan	67



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Gempa Daratan 1960-2000

Lampiran 2 Data Moment Tensor Global CMT 1960-2000

Lampiran 3 Pengolahan Data Dengan Software GMT (General Mapping Tool)

Lampiran 4 Lembar Geologi



مستخلص البحث

بدرول منير. 2015. استخدام زلزال البيانات والبيانات الجيولوجية لتحليل أنماط خطأ في البر الرئيسي للجزيرة سومطرة. كلمات
الزلزالية، وآلية التنسيق والجيولوجيا سومطرة بحث علمي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم
الإسلامية الحكومية مالانق.
المشرف الأول: د. عبد الباسط، ماجستير، مستشار: الدكتورة. أجوس مولونو

كلمات الزلزالية، وآلية التنسيق والجيولوجيا سومطرة

سومطرة، واحدة من أكبر الجزر في إندونيسيا التي لديها الأخطار المحتملة كبيرة بما فيه الكفاية، لأنه يتأثر التقارب التكتونية سومطرة من التفاعل
بين اثنين من لوحات من أنواع مختلفة من اتجاه الحركة. ونتيجة لهذه الحركة لوحة الفرق الناتج الصخور زلزال تصبح كسر أو خطأ. نحن إجراء
الأبحاث، وخاصة في البر الرئيسي سومطرة، هذا البحث بتحليل أنماط من أنماط خطأ (كسر) أحداث مرتبطة جيولوجيا منطقة الزلزال وتوزيعه.
في منطقة 1960-2000 الزلزال يقع في إحداثيات $6^{\circ} N$ و $6^{\circ} S$ ، $109^{\circ} BT$ - 95° مع عمق >60 كم بلغت قوته SR 04/10.
وتنقسم المنطقة الكائن البحوث إلى 3 مناطق التي صممت خصيصا لورقة الجيولوجية الموجودة. البيانات المستخدمة هي البيانات الثانوية التي تم
الحصول عليها من تكاليف الدعم غير المباشر (المركز الدولي لرصد الزلازل) والعالمية CMT. معالجة آلية التنسيق باستخدام برنامج GMT،
وتوزيع الزلزالية باستخدام قوس مشاهدة 3.3 GIS. أظهرت النتائج ويهيمن أنماط من أخطاء قوس في سومطرة جبهه من منطقة خطأ عكس
الموجود في Akraši، ويهيمن على البر الرئيسي سومطرة نمط خطأ من منطقة خطأ القوس تقع في سومطرة النظام خطأ الذي تراجع في جبال
باريسان سومطرة. في حين أن القوس الخلفي لم الباحثين سومطرة ليس لديها بيانات للتحليل

ABSTRAK

Badrul Munir. 2015. **Penggunaan Data Gempa dan Data Geologi Untuk menganalisa Pola-Pola Sesar di Daratan Pulau Sumatra**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Pembimbing I: Drs. Abdul Basid, M.Si., Pembimbing II: DR. H. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes

Kata kunci: Seismisitas, *Focal Mechanism*, Geologi Sumatra

Sumatra salah satu pulau terbesar di Indonesia yang memiliki potensi rawan bencana yang cukup besar, karena tektonik Sumatra dipengaruhi oleh interaksi konvergensi antara dua lempeng yang berbeda jenis arah gerakannya. Akibat dari perbedaan pergerakan lempeng ini terjadilah gempa bumi yang mengakibatkan batuan menjadi pecah atau sesar. Maka dilakukanlah penelitian khususnya di daratan Sumatra, penelitian ini menganalisa pola pola sesar (rekahan) yang dihubungkan kejadian geologi suatu daerah beserta sebaran gempa. Pada kejadian gempa 1960-2000 daerah yang berada pada koordinat 6° LU dan 6° LS, 95° - 109° BT dengan kedalaman < 60 km dengan magnitudo 4-10 SR. Wilayah objek penelitian dibagi menjadi 3 wilayah yang disesuaikan dengan lembar geologi yang ada. Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari ISC (*International Seismological Centre*) dan Global CMT. Pengolahan *Focal Mechanism* menggunakan software GMT, dan sebaran seismisitas menggunakan Arc View GIS 3.3. Dari hasil penelitian menunjukkan pola-pola sesar di Busur Muka Sumatra didominasi oleh sesar naik yang berada di zona Akrasi, pola sesar daratan Sumatra didominasi oleh sesar geser yang berada pada zona Sistem Sesar Sumatra yang menyelinap di Pegunungan Barisan Sumatra. Sedangkan pada Busur Belakang Sumatra peneliti tidak mempunyai data untuk dianalisa

ABSTRACT

Badrul Munir. 2015. **Earthquake Catalog and Geological Data usage To analyze Patterns Mainland Sumatra Fault**. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim of Malang

Promotor: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si, (II) DR. H. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes

Keyword: Seismicity, Focal Mechanism, Geology of Sumatra

Sumatra, one of Indonesia's largest island which has the potential for disaster-prone, tectonic of Sumatra affected by due to convergence of interaction between two different types of plate movement direction. The result of the difference in the movement of the plate, which resulted in a great earthquake rocks being broken or fault. Then the research was undertaken particularly in Sumatra, this research analyzes the patterns fault (breach) that is associated with a region of geological occurrence distribution of earthquake. On the occurrence of the earthquake of 1960-2000 area which is at coordinates 6° N and 6° LS, 95° - 109° BT with a depth of 60 km with < magnitude 4-10 SR. Research object Region is divided into 4 areas which are adapted to the existing geological quadrangle. The data used are secondary data obtained from ISC (*International Seismological Centre*) and the Global CMT. Processing of Focal Mechanism using software GMT, and seismicity distribution using the Arc View GIS 3.3. From the results of the research indicate fault patterns in Force arc Barisan that was reverse fault at Accretionary Complex, Sumatra mainland dominated by strike-slip in the Sumatra Fault system is sneak in Barisan mountains. While in Back arc Barisan, researchers did not have data for analysis.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ilmu pengetahuan modern telah menemukan bahwa bumi ketika berubah menjadi dingin, secara bertahap ia juga mengerut. Pengerutan bumi inilah yang menjadi salah satu penyebab munculnya lipatan-lipatan, sebagaimana Allah berfirman di dalam Al-Qu'an surat Ar-Ra'd ayat 41:

أَوَلَمْ يَرَوْا أَنَّا نَأْتِي الْأَرْضَ نَنْقُصُهَا مِنْ أَطْرَافِهَا ۗ وَاللَّهُ يَحْكُمُ لَا مُعَقَّبَ لِحُكْمِهِ ۗ وَهُوَ سَرِيعُ الْحِسَابِ ﴿٤١﴾

“Dan apakah mereka tidak melihat bahwa Sesungguhnya kami mendatangi daerah-daerah (orang-orang kafir), lalu kami kurangi daerah-daerah itu (sedikit demi sedikit) dari tepi-tepinya? dan Allah menetapkan hukum (menurut kehendak-Nya), tidak ada yang dapat menolak ketetapan-Nya; dan Dia-lah yang Maha cepat hisab-Nya”(Q.S. Ar-Ra'd : 41)

Gempa bumi merupakan produk dari pergerakan lempeng bumi. Salah satunya adalah lipatan, regangan, pergeseran batuan, seperti yang di jelaskan dalam Al-Qur'an surat Al-Zalzalah ayat 1, mengenai gempa bumi:

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا ﴿١﴾

“Apabila bumi digoncangkan dengan goncangan (yang dahsyat)”(Q.S. Alzalzalah : 1)

Ayat diatas menjelaskan mengenai salah satu peristiwa alam yang disebut dengan gempa bumi. Tafsir Jalalain mengatakan maksud dari ayat di atas apabila bumi digoncangkan yang dimaksud adalah mengalami gempa bumi (Imam, 2009: 1366) Sayyid Quthub (1992 : 324) mengatakan bahwa sebelumnya sudah pernah menyaksikan gempa bumi dan gunung meletus. Itupun mereka sudah ketakutan

dan sedih. juga tersaksikan olehnya kerusakan dan kehancuran. Akan tetapi, ketika ia tidak menjumpai kesamaan dengan apa yang terjadi pada waktu gempa bumi dan gunung meletus dalam kehidupan terdahulu.

Peran gunung dalam menjaga keseimbangan permukaan bumi sangat jelas sekali. Khususnya, gunung yang disebut oleh ahli geologi dengan barisan pegunungan (*mountain chain*) lipatan. Pegunungan ini tersebar di beberapa belahan benua di dunia ini (Abdushshamad, 2002).

Sumatra salah satu pulau terbesar di Indonesia yang memiliki beraneka ragam sumber daya alamnya. Dimulai dari batu bara, emas, nikel, besi, timah, minyak dan gas bumi. Di balik kekayaan alamnya, pulau Sumatra menyimpan bencana alam yang besar pula. Dalam peta rawan bencana nasional Indonesia, pulau Sumatra secara keseluruhan merupakan rawan bencana gempa bumi, tsunami, dan aktivitas gunung api. Contoh nyata pada tanggal 26 Desember 2004 ketika kota Banda Aceh diguncang gempa dengan kekuatan 9,6 skala Richter mengakibatkan gelombang Tsunami yang meluluh lantakkan kota Serambi Mekkah. Begitupun gunung Sinabung, gunung ini tidak pernah tercatat meletus sejak tahun 1600, tetapi mendadak aktif kembali dengan meletus pada tahun 2010. Letusan terakhir gunung ini terjadi sejak september 2013 dan berlangsung hari ini. menandakan pulau Sumatra aktif secara tektonik

Tektonik lempeng adalah suatu teori yang menerangkan proses dinamika Bumi tentang pembentukan jalur pegunungan, jalur gunung api, jalur gempa bumi dan cekungan endapan di muka bumi yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng.

Deformasi aktif dan sesar geser ini menyebabkan terbentuknya lempeng-lempeng pada kulit bumi. Ada tujuh lempeng besar utama yaitu lempeng Pasifik, lempeng Antartika, lempeng Amerika Selatan, lempeng Amerika Utara, lempeng Eurasia, lempeng Afrika dan lempeng Indo-Australia. Selain itu terdapat juga lempeng-lempeng kecil yang terbentuk akibat lempeng besar tersebut.

Indonesia merupakan daerah pertemuan 3 lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan Lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatra, Jawa dan Nusa Tenggara, sedangkan dengan Lempeng Pasifik di utara Irian dan Maluku utara. Salah satu hasil pertemuan ketiga ini membentuk pulau Sumatra

Tektonik Sumatra dipengaruhi oleh interaksi konvergen antara dua lempeng yang berbeda jenis. Arah gerak kedua lempeng terhadap jalur subduksi pembentuk sudut lancip sehingga pembentukan struktur geologi, di pulau Sumatra didominasi oleh sesar-sesar mendatar dekstral. Hubungan struktur geologi satu terhadap lainnya selain mengontrol sebaran batuan di permukaan, juga menjadikan daerah ini cukup kompleks secara tektonik. Terbentuknya sejumlah struktur sesar yang cukup rapat ternyata diikuti oleh aktifitas magmatik yang menghasilkan tubuh-tubuh intrusi batuan beku. Aktifitas magmatik inilah yang membawa jebakan mineral bijih.

Seluruh batuan penyusun di daerah penyelidikan telah mengalami deformasi yang kuat. Produk tektonik di daerah penyelidikan berupa struktur lipatan, kekar dan sesar. Pembentukan kedua jenis struktur geologi tersebut tidak terlepas dari pengaruh aktifitas tumbukan lempeng yang menyerong antara Lempeng Eurasia

yang berada di utara dengan Lempeng India-Australia. Akibat tumbukan lempeng ini terbentuk jalur subduksi yang sekarang posisinya berada di lepas pantai barat Sumatra, sedangkan di daratan Sumatra terbentuk daerah tinggian yang menyebabkan batuan tua tersingkap di permukaan. Pola struktur lipatan dan umumnya berarah barat laut-tenggara yang terbentuk sejak Pra-Tersier hingga Kuartar. Jenis dan kedudukan struktur geologi ini selanjutnya mempengaruhi pola sebaran batuan atau formasi di permukaan (Natawidjaja, 2007).

Peta Geologi memberikan informasi geologi suatu daerah dengan tingkat kualitas yang tergantung pada skala peta, yang digunakan dan menggambarkan informasi sebaran, jenis, sifat batuan, umur batuan, stratigrafi, struktur dan tektonik. Sehingga peta geologi sangat membantu dalam penelitian ini karena menyangkut tentang tatanan tektonik regional Sumatra.

Usaha mengembangkan lingkungan hidup tidak hanya bergantung dari proses yang berkaitan dengan aktifitas manusia dan makhluk hidup lainnya tapi juga berkaitan dengan pemahaman dari efek proses alamiah. Pada prinsipnya, efek dari proses alamiah dapat dibagi menjadi dua macam. Yang pertama adalah proses alamiah yang efeknya terjadi secara perlahan-lahan akibat proses yang konsisten terus menerus selama bertahun-tahun, puluhan tahun sampai ratusan tahun atau lebih. Yang kedua adalah proses alamiah yang signifikan dalam waktu yang sangat singkat atau secara tiba-tiba. adalah: peristiwa gempa bumi, tsunami, dan letusan gunung api. Pada umumnya proses dan perubahan alam baik yang terjadi secara perlahan-lahan dan terutama yang datang mendadak dapat menjadi bencana

untuk manusia dan lingkungan hidup apabila kurang diantisipasi sebelumnya (Natawidjaja, 2007).

Geofisika adalah ilmu yang mempelajari tentang bumi dengan menggunakan prinsip fisika. Secara khusus perkembangan ilmu geofisika sebagian mengarah ke teknologi, dibutuhkan teknik mengukur yang menggunakan metode matematika seperti penggunaan metode kuadrat terkecil dalam menentukan parameter seismisitas.

Seismisitas merupakan ukuran untuk membandingkan aktivitas seismik suatu daerah dengan daerah lain. Untuk mengetahui distribusi zona-zona gempa aktif atau pola aktifitas kegempaan, parameter-parameter seismisitas merupakan harga numerik yang dapat digunakan sebagai ukuran dalam kaitannya dengan tingkat kegempaan suatu daerah.

Agar mengembangkan konsep dan pelaksanaan pengembangan lingkungan hidup yang lebih aman dari bencana alam, maka kita perlu pengetahuan dan data yang cukup tentang proses alam ini. Dalam studi ini akan dibahas dasar-dasar pemahaman dan informasi tentang proses gempa bumi dan sesar, khususnya di Sumatra. Kemudian efek bencana terhadap lingkungan hidupnya akan dianalisa secara kuantitatif sehingga kita dapat membuat strategi bagaimana mensiasati dan mengantisipasi efek bencana alam yang dapat terjadi di masa datang.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pola pola sesar berdasarkan sebaran *Focal Mechanism* di daratan Sumatra?
2. Pada daerah mana yang rawan bencana di daratan Sumatra?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian diantaranya:

1. Untuk mengetahui pola pola sesar berdasarkan data gempa dan data geologi di daratan pulau Sumatra.
2. Untuk memetakan rawan bencana di daratan Sumatra.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Dapat memahami proses pengolahan data pola pola sesar dengan data gempa dan data geologi di daratan pulau Sumatra.
2. Dapat merekomendasikan kepada Wilayah yang rawan bencana di daratan pulau Sumatra.
3. Sebagai bahan kajian lanjutan terhadap pola-pola sesar di pulau Sumatra.

1.5 Batasan Masalah

Agar permasalahan lebih terkonsentrasi, maka dilakukan pembatasan-pembatasan dalam penelitian. Batasan masalah yang akan diteliti yaitu:

1. Luas wilayah penelitian 6° LU- 6° LS dan 95° BT- 109° BT .
2. Data gempa pada daratan pulau Sumatra berupa gempa dangkal < 60 Km dengan magnitude dimulai dari 4 SR Sampai 10 SR .

3. Pengolahan data hanya pola pola sesar di pulau Sumatra.
4. Pemetaan Rawan Bencana di daratan Sumatra.



BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

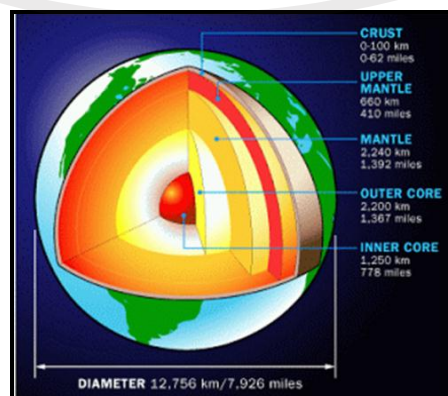
Gempa bumi ialah sentakan asli dari bumi, bersumber di dalam bumi dan yang merambat melalui permukaan bumi dan menembus Bumi (J.A Katili dan Marks, 1963).

Kulit Bumi terdiri dari blok-blok batuan yang bentuknya tidak tentu. Blok-blok batuan ini terdiri dari massa yang ukurannya sampai beratus ribu mil. Batuan ini satu sama lain dipisahkan oleh celah-celah dan retakan. Dalam bidang celah ini kadang-kadang terjadi pergeseran yang menyebabkan gempa bumi (Soetoto, 2013).

2.1.1 Terjadinya Gempa Bumi

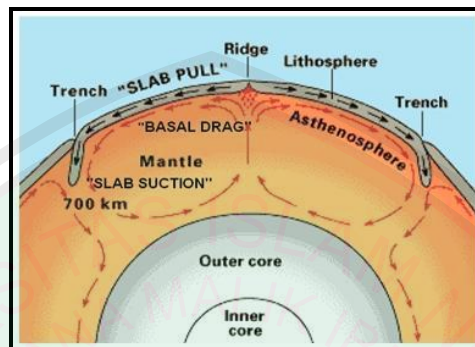
Gempa bumi merupakan peristiwa alam yang sangat dahsyat. Kerusakan yang ditimbulkannya tidak hanya menghancurkan harta benda, tetapi sering pula merenggut ribuan jiwa manusia. Berikut ini adalah gambaran proses terjadinya gempa bumi (Triton, 2009):

1. Lapisan bumi terdiri atas inti dalam dan inti luar, mantel, dan kerak bumi.



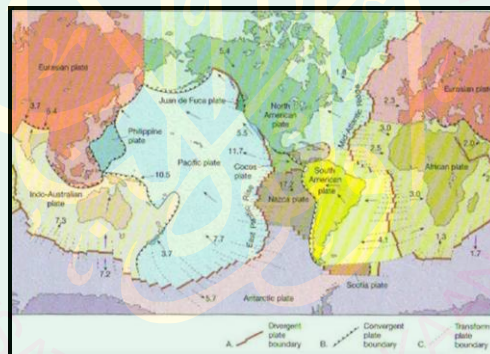
Gambar 2.1 Lapisan bagian dalam bumi kita (google.image.com)

2. Lapisan kerak bumi selanjutnya terpecah menjadi lempeng-lempeng. Arus konveksi di dalam mantel bumi selanjutnya menggerakkan lempeng benua dan lempeng samudera dengan arah yang saling berbeda.



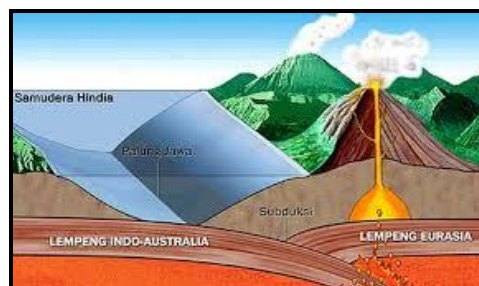
Gambar 2.2 Arus konveksi di dalam mantel menggerakkan kerak bumi (google.image.com)

3. Sebagian besar gempa bumi terjadi di batas pertemuan lempeng.



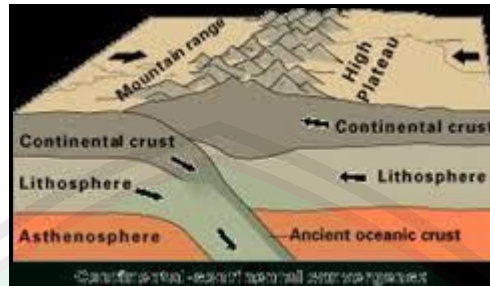
Gambar 2.3 Batas-Batas lempeng di dunia (google.image.com)

4. Pada lempeng yang bertipe konvergen, satu lempeng bergerak perlahan-lahan menunjam lempeng lain. Proses ini berlangsung lebih dari ribuan tahun.



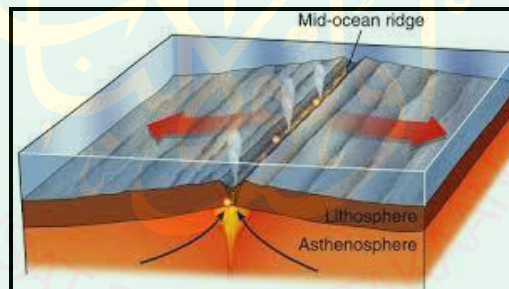
Gambar 2.4 Tunjaman pada lempeng konvergen (google.image.com)

5. Pada lempeng yang saling bertumbukan, lapisan-lapisan lempeng terangkat ke atas hingga tercipta pegunungan



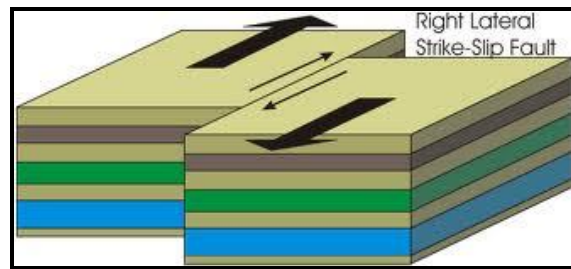
Gambar 2.5 Pegunungan hasil dari tumbukan lempeng (google.image.com)

6. Pada lempeng yang bertipe divergen, lava keluar dari mantel bumi melalui rekahan, dan setelah dingin memadat menjadi bagian kerak samudra yang baru. Batas lempeng bertipe divergen ini sering ditemukan di lantai samudera pematang samudera.



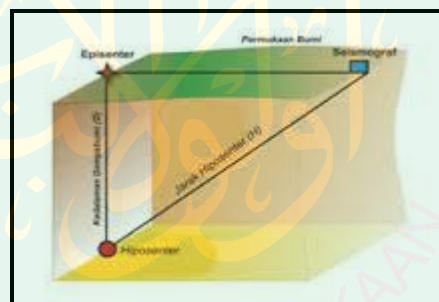
Gambar 2.6 Kerak samudra baru hasil proses pada batas lempeng divergen (google.image.com)

7. Pada lempeng yang lain bergerak perlahan dan bergeseran satu sama lain, patahan-patahan kerap terjadi pada tepi lempeng yang bergesekan satu sama lain dalam arah yang berbeda.



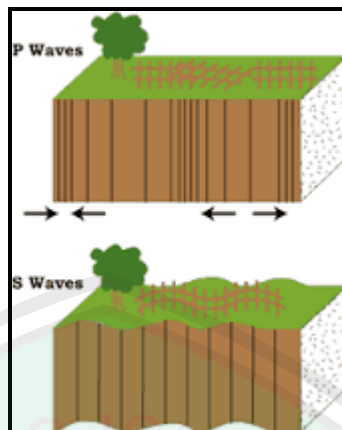
Gambar 2.7. Sesar geser (google.image.com)

8. Pada saat terjadi pergeseran antara dua lempeng, pergerakan kedua lempeng terkunci pada satu atau lebih lokasi. Akibatnya, tenaga yang besar terjebak dan makin besar pada lokasi yang terkunci.
9. Pada saat kedua lempeng kembali bergeser, maka tenaga besar yang terjebak dilokasi kuncian terbebaskan dalam bentuk gempa bumi. Titik pusat asal gempa dibawah permukaan lempeng disebut sebagai hiposenter.



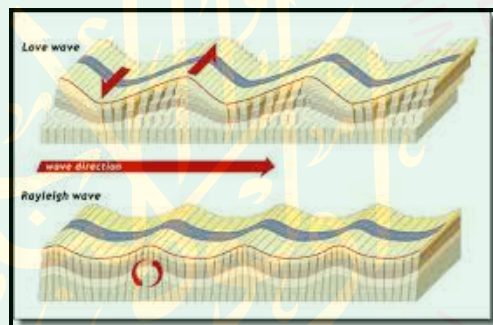
Gambar 2.8 Titik hiposenter dan episenter (google.image.com)

10. Gempa bumi memiliki tenaga yang dapat dirasakan dalam tiga gelombang energi. Gelombang energi primer (p-wave) terasa menyentak secara tiba-tiba, diikuti gelombang sekunder (s-wave) yang datang beberapa detik kemudian, dan gelombang yang datang berkelanjutan dari sisi ke sisi.



Gambar 2.9 P wave dan S wave (google.image.com)

11. Ada dua tipe pergerakan gelombang permukaan. Gelombang Rayleigh berlangsung secara bergulung dengan gerakan ke atas dan ke bawah.



Gambar 2.10 Rayleigh dan Love wave (google.image.com)

12. Gelombang Love menyebabkan tanah berkelok dari satu sisi ke sisi lainnya. Gelombang-gelombang permukaan tersebut menyebabkan kerusakan berat pada bangunan yang ada di atasnya.

2.2 Parameter Gempa

2.2.1 Energi Gempa

Kekuatan gempa di sumbernya dapat juga diukur dari energi total yang dilepaskan oleh gempa tersebut. Energi yang dilepaskan oleh gempa biasanya dihitung dengan mengintegrasikan energi gelombang di sepanjang kereta

gelombang yang dipelajari dan di seluruh luasan yang dilewati gelombang, yang berarti mengintegrasikan energi di seluruh ruang dan waktu.

Berdasarkan perhitungan energi dan magnetudo yang pernah dilakukan, ternyata antara magnetudo dan energi mempunyai relasi yang sederhana. Yaitu (Waluyo, 2013):

$$\text{Log } E = 4,78 + 2,75 m_b \quad (2.1)$$

2.2.2 Magnitudo

Magnitudo gempa adalah besaran yang berhubungan dengan kekuatan gempa di sumbernya. Gempa dengan magnitudo besar belum tentu merusak kalau sumbernya sangat dalam. Pada umumnya magnitudo diukur berdasarkan amplitudo dan periode fase gelombang tertentu, rumus untuk menentukan magnitudo gempa yang umum dipakai pada saat ini adalah (Waluyo, 2013):

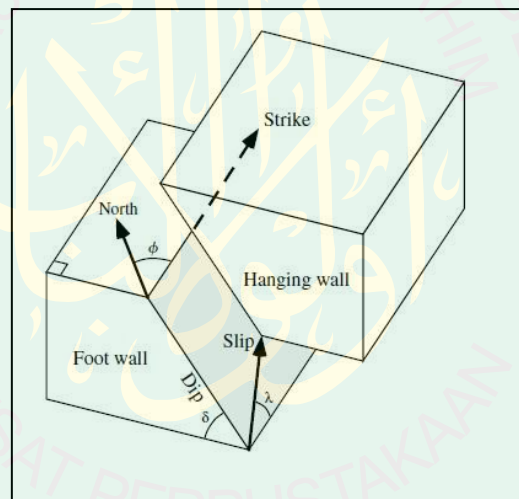
$$M = \text{Log} \frac{a}{T} + f(\Delta, h) + C_S + C_R \quad (2.2)$$

2.3 Sesar

Menurut Tjia (1977), Sesar merupakan rekahan yang mengalami geser-geseran yang jelas. Pergeseran tersebut berkisar dari beberapa milimeter sampai ratusan meter sedangkan panjangnya mulai dari beberapa desimeter sampai hingga ribuan meter. Sesar dapat terjadi pada segala macam batuan dengan tipe yang beragam. Sesar pada struktur batuan dapat mengakibatkan perubahan maupun perkembangan topografi, mengubah aliran air dibawah dan diatas permukaan serta merusak stratigrafi batuan dan sebagainya.

Untuk mengetahui jenis sesar atau patahan, digunakan beberapa parameter yang harus diketahui. Parameter ini biasa disebut parameter bidang sesar yang terdiri atas:

- *Strike*/jurus (ϕ), merupakan arah garis horizontal yang terletak pada bidang sesar yang diukur searah dengan jarum jam dari arah utara, dengan asumsi *hanging wall* berada di sebelah kanan ($0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$)
- *Dip*/kemiringan (δ), merupakan sudut kemiringan dari *foot wall* terhadap bidang horizontal ($0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$)
- *Rake*/sudut pergeseran (λ), merupakan sudut antara *strike* dengan garis pada bidang sesar atau slip yang merupakan arah *hanging wall*. *Rake* berharga positif pada sesar naik dan berharga negatif untuk sesar turun atau normal.



Gambar 2.11 Parameter gempa (Peter, 2009)

Sesar yang terjadi pada batuan secara umum dapat digolongkan kedalam beberapa jenis diantaranya;

A. Berdasarkan gerak relatif *hanging wall* dan *foot wall*

1. Sesar turun (normal), sesar ini terjadi bila *hanging wall* posisinya turun terhadap *foot wall*.
2. Sesar naik, sesar ini terjadi berlawanan dengan sesar turun yakni apabila *hanging wall* posisinya naik terhadap *foot wall*.

B. Berdasarkan ada tidaknya gerakan rotasi

1. Sesar translasi, terjadi bila tidak ada gerak rotasi dari masing-masing block yang berlawanan dan tetap sejajar.
2. Sesar rotasi, bila ada gerak rotasi dari block yang satu terhadap yang lain dimana garis-garis sejajar dari block yang berlawanan menjadi tidak sejajar.

C. Berdasarkan *rake net slip*

1. *Strike slip fault*, sesar yang terjadi bila *rake*-nya 0° dan arah gerakan sejajar dengan jurus bidang sesar.
2. *Dip slip fault*, terjadi dengan *rake*-nya 90° dan arah gerakannya tegak lurus terhadap jurus bidang sesar.
3. *Diagonal fault*, sesar ini terjadi dengan *rake*-nya bukan 0° atau 90° .

D. Berdasarkan keaktifan sesar

1. Menurut Tjia (1976), tingkat keaktifan sesar dibedakan atas:
 - a. Sesar aktif, yakni sesar dengan pergeseran terjadi pada waktu holosen atau selama sejarah geologi.
 - b. Sesar berkeaktifan potensial;
 - Terjadi pada batuan berumur kwarter.
 - Sesar pada daerah gempabumi atau gunung api.
 - c. Sesar berkeaktifan tidak pasti, dimana pergeserannya lebih lama dari kwarter.
 - Sesar pada batu gamping.
 - Sesar pada lereng yang curam.

d. Sesar tidak aktif, sesar ini terjadi pada batuan pra kwarter dengan tektonik stabil.

2. Menurutlesen (1980), tingkat keaktifan sesar digolongkan menjadi:

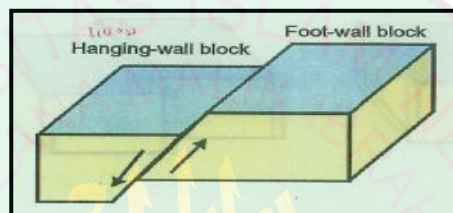
- a) Sesar aktif klas I, sesar ini menunjukkan pengulangan gerakan terakhir pada waktu 5000 tahun atau gerakan tunggal terjadi selama zaman dan terjadi pengulangan gerakan pada 5000 tahun terakhir.
- b) Sesar aktif klas II, sesar ini tergolong kurang aktif karena terjadi pengulangan dalam waktu 50.000 tahun atau gerakan tunggal dalam waktu 5000 tahun pengulangan gerakan antara 5000 – 50.000 tahun.
- c) Sesar aktif klas III, sesar sangat tidak aktif dengan gerakan tunggal terakhir dalam waktu 50.000 tahun serta terjadi pengulangan gerakan 50.000-500.000 tahun.

E. Berdasarkan kumpulan sesar

1. *Consentric fault*, yakni kumpulan sesar yang terkonsentris terhadap satu pusat.
2. *Radial fault*, merupakan kumpulan sesar yang arahnya membentuk pola atau arah.
3. *Rectilinier fault*, yakni kumpulan sesar yang berbentuk pola garis hampir tegak lurus.
4. *Paralel fault*, berupa kumpulan sesar yang berbentuk pola sejajar satu dengan yang lain.

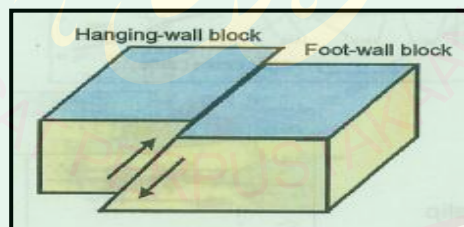
Klasifikasi diatas patahan yang mengakibatkan terjadinya gempa bumi berdasarkan gerak relatif sepanjang batas bidang sesar dibagi menjadi tiga macam yaitu:

- a. Sesar Turun (*normal fault* terjadi jika *hanging wall* pada sesar tersebut relative turun terhadap *foot wall*. Parameter sesar jenis ini akan memenuhi nilai $\delta \neq 0$ atau $\delta \neq \pi/2$ serta λ terletak antara rentang $(-\pi, 0)$.



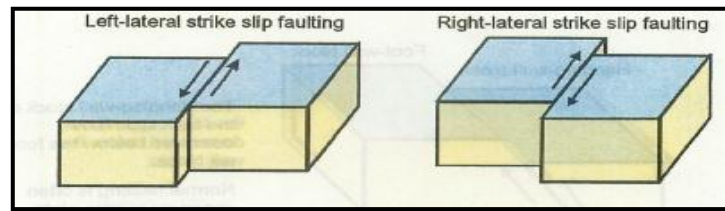
Gambar 2.12 Sesar turun (*normal fault*) (Bormann, 2002)

- b. Sesar Naik (*reverse fault*); terjadi jika *hanging wall* pada sesar tersebut relatif naik terhadap *foot wall*. Parameter sesar jenis ini akan memenuhi nilai $\delta \neq 0$ atau $\delta \neq \pi/2$ serta λ terletak antara rentang $(\pi, 0)$.



Gambar 2.13 Sesar naik (*reverse fault*) (Bormann, 2002)

- c. Sesar Mendatar (*strike slip fault*); sesar jenis ini terjadi apabila gerakan relative masing-masing blok pada sesar tersebut sejajar dengan jurus.
- d. (*strike*). Parameter jenis ini akan memenuhi $\delta = \pi/2$ dan $\lambda = 0$ atau π . Sesar ini dapat dibagi lagi menjadi *left-lateral slip fault* jika nilai $\lambda = 0$ dan *right-lateral fault* jika nilai $\lambda = \pi$.



Gambar 2.14 Sesar Mendatar (*lateral slip fault* dan *right-lateral fault*)
(Bormann, 2002)

Sedangkan untuk mengetahui panjang patahan para ilmuwan telah melakukan penelitian untuk menetapkan rumus empiris yang bisa menerangkan dimensi patahan, diantaranya M. Otsuka (1965) yang memberikan rumusan:

$$\text{Log } L_m = 3.2 + 0.5 M \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan, L_m : panjang patahan (cm)

Selain Otsuka, ilmuwan lain Bath (1974) menjelaskan hubungan antara magnetudo dengan kecepatan retakan (*Rupture*) patahan dengan persamaan:

$$\text{Log } (L_m/V_r) = 0.5m - 1.9 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan, L_m : panjang patahan (km)

V_r : kecepatan penjalaran retakan (km/s)

M : magnetudo gempa utama (SR)

2.4 Mekanisme fokus (*focal mechanism*)

2.4.1 Pengertian Mekanisme Sumber

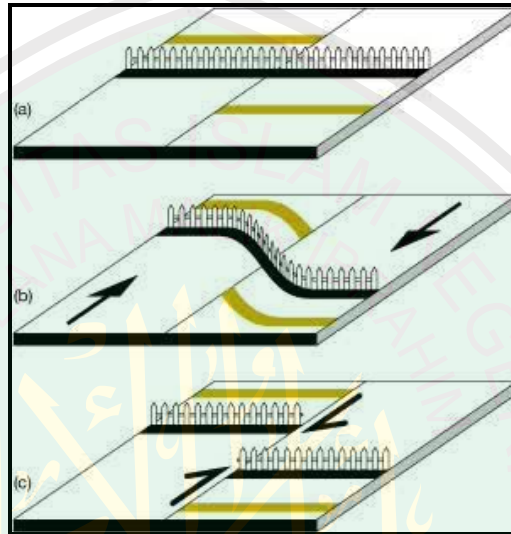
Teori bingkis elastis (*Elastic Rebound Theory*) pada dasarnya menyatakan bahwa gempa bumi dihasilkan atau disebabkan oleh proses penyesaran di dalam kerak bumi sebagai hasil pelepasan mendadak dari strain elastik, yang melampaui kekuatan batu. Strain elastik ini terakumulasi bila batuan mengalami deformasi yang menerus dan semakin besar. Bila sesar terjadi, bagian yang berseberangan

dengan sesar meloncat ke posisi kesetimbangan yang baru, dan energi yang dilepaskan akan berbentuk panas atau vibrasi gelombang elastik, yang menjalar dalam bumi dan dirasakan gempa bumi. Jadi, dalam teori ini proses penyesaranlah yang mengakibatkan gempa bumi, bukan gempa bumi yang menyebabkan terjadinya sesar (Waluyo, 2013).

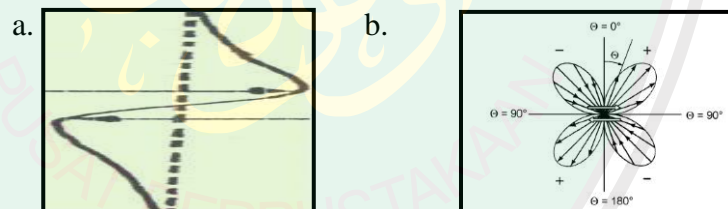
Proses terjadinya penyesaran berdasarkan teori bingkis elastik dapat di ilustrasikan oleh gambar 2.15. Andaikan permukaan batuan yang mengalami stress geser yang terus menerus dibuat garis-garis sejajar yang tegak lurus terhadap arah stress seperti gambar (2.15a) adanya stress yang menerus akan mengakibatkan batuan mengalami deformasi sehingga garis-garis sejajar tersebut diatas akan melengkung seperti gambar (2.15b). Bila stress terus bekerja, deformasi pada batuan akan semakin besar, garis-garis sejajar akan melengkung, dan pada suatu saat stress akan melampaui kekuatan batuan, sehingga batuan akan patah dan bergeser satu sama lain di sepanjang bidang patahan. Kejadian ini disebut penyesaran (*faulting*) yang menyebabkan stress hilang (*release*) dan batuan akan mempunyai posisi setimbang yang baru sehingga garis-garis sejajar yang semula lurus menjadi terputus dan bergeser di bidang sesar gambar (2.15c). Sesar yang bergeser berkali-kali disebut sesar aktif (Waluyo, 2013).

Pada perkembangan selanjutnya Honda (1957), memperkenalkan model untuk sistem yang bekerja pada sumber gempa bumi. Ia mengusulkan dua tipe sistem gaya yang bekerja pada sumber gempa bumi yakni kopel tunggal (*single couple*) yang dikenal dengan sistem gaya tipe I dan kopel ganda (*double couple*) yang dinamakan sistem gaya tipe II. Honda juga mengungkapkan bahwa

gempa- gempa menengah (*intermediate*) dan dalam umumnya disebabkan akibat sumber gaya tipe II, hingga sekarang ini para ahli percaya pada dasarnya gempa bumi disebabkan oleh sistem gaya tipe II.



Gambar 2.15 Elastic rebound theory (Waluyo, 2013)



Gambar 2.16 (a) Kopel tunggal (*single couple*), (b) Kopel ganda (*doublecouple*) (Bormann, 2002)

Penyelesain mekanisme sumber awalnya digambarkan pada proyeksi *stereonet*, namun seiring perkembangan teknologi, penyelesaian mekanisme sumber dapat dilakukan dengan teknologi computer. Penyelesaian dengan menggunakan software bisa dilakukan pada gelombang badan maupun gelombang permukaan. Namun dilihat dari efektifitasnya penggunaan gelombang P, yang paling banyak digunakan.

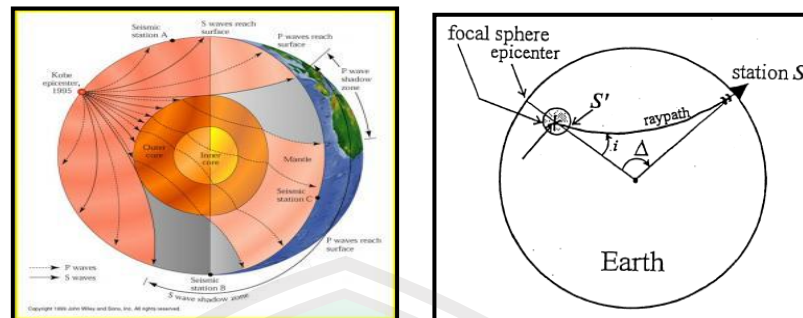
2.4.2 Penentuan Mekanisme sumber dengan Gelombang P

Gelombang P memiliki sifat yang berbeda dengan gelombang gempa yang lain, sifat-sifat gelombang P tersebut antara lain:

- a. Gelombang yang pertama kali sampai di stasiun pengamatan, pada saat gempa bumi terjadi, gelombang ini akan terekam pertama kali.
- b. Merambat secara longitudinal. Arah gerakan partikel medium yang dilalui searah (paralel) dengan arah rambatan gelombangnya.
- c. Dapat merambat melalui *medium Solid* (padat) ataupun *Liquid* (cair).
- d. Melakukan deformasi terhadap batuan dengan mengubah volume medium yang dilaluinya. Pada intinya pergerakan ini merupakan perpaduan antara gerakan pemampatan (*Compression*) dan peregangan (*Expansion*).

Metode ini didasarkan pada konsep yang menyatakan polarisasi gerakan pertama gelombang P adalah kekal disepanjang penjalaran gelombangnya, distribusi gerakan kompresi dan dilatasi pada bola fokus dapat diturunkan pada distribusinya yang tercatat dipermukaan bumi. Penggunaan gelombang P untuk menyelesaikan solusi bidang sesar merupakan metode yang paling efisien.

Saat gempa bumi terjadi, gelombangnya akan dipancarkan ke semua arah dalam bentuk berbagai fase gelombang dengan gelombang P sebagai fase dengan kecepatan terbesar. Arah gerakan inilah yang pertama diamati untuk mempelajari mekanisme sumber, sebab akan sulit menentukan fase gelombang yang lain. Selain untuk studi gerak awal gempa dan studi solusi bidang sesar, metode ini juga bisa digunakan untuk menentukan gerakan dari lempeng tektonik yang digunakan untuk menentukan gerak relatif dari litosfer.



Gambar 2.17 Penjalaran gelombang P dari fokus (Susilawati, 2008)

Data gempa yang dibutuhkan pada metode ini adalah data gempa berupa gelombang P yang menunjukkan dilatasi dan kompresi, episenter gempa (latitude dan longitude), kedalaman (hiposenter) jumlah dan nama stasiun pencatat. Penggunaan metode ini dilakukan dengan mengaitkan koordinat episenter gempa dengan stasiun pencatat gelombang P berupa gelombang kompresi dan dilatasi. Korelasi antara koordinat gempa, koordinat stasiun-stasiun pencatat, gelombang kompresi, dilatasi dan kedalaman gempa membentuk suatu sebaran gelombang yang dapat diplot dalam sebuah bola fokal.

2.4.3. Bola Fokal (*Beach Ball*)

Bola fokal merupakan ilustrasi dari sebuah bola yang berpusat di sumber gempa. Bola fokal meliputi jejak sinar seismik yang menjalar dari sumber gempa sampai stasiun pencatat. Bola fokal sendiri terdiri atas kuadran kompresi dan kuadran dilatasi. Untuk menentukan posisi suatu titik pada bola fokal yang memuat informasi gerakan awal gelombang P, maka digunakan kordinat sudut sinar (I_{ξ} , φ), dimana I_{ξ} menyatakan sudut keberangkatan sinar (*incident angel*). Besar sudut ini dapat dihitung dengan:

$$\sin I_{\xi} = \frac{P \cdot V(h)}{R - h} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana;

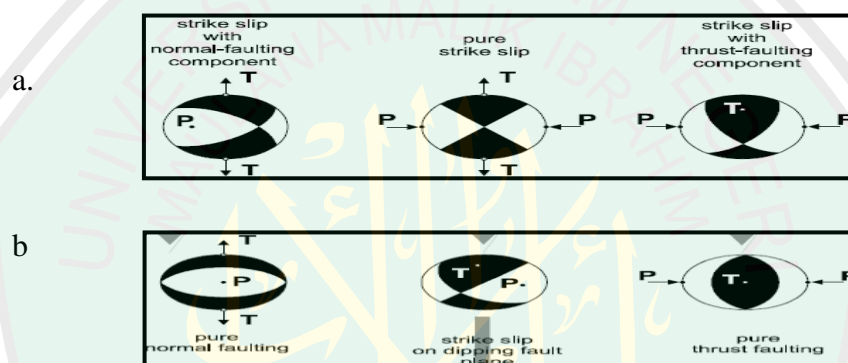
P = *ray parameter*

V(h) = kecepatan gelombang pada kedalaman h

R = jari-jari bumi

h = Kedalaman

Ilustrasi ini dapat digunakan pada analisis mekanisme sumber gempabumi yang biasanya dalam bentuk bola fokal 2D. berikut beberapa contoh penggunaan bola fokal:



Gambar 2.18 bentuk bola fokal berdasarkan jenis sesarnya (Bormann, 2002)

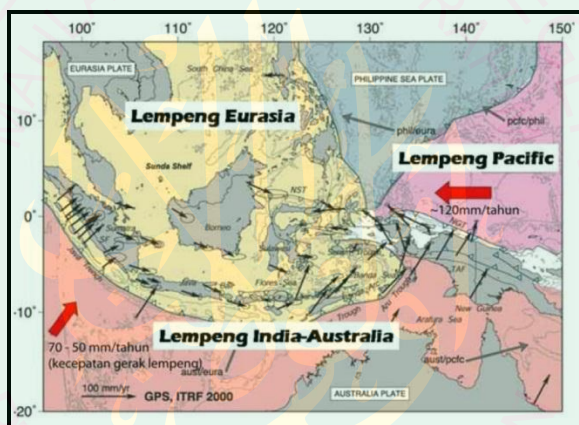
2.5 Geologi Sumatra

2.5.1 Terbentuknya Jalur Gempa Bumi Di Sumatra

Salah satu palung laut dalam yang menjadi tempat penunjaman lempeng Samudra ke dalam bumi adalah disepanjang tepian benua di barat Sumatra yang menerus sampai ke Selatan Jawa, Bali, dan Lombok.

Indonesia letaknya diantara pertemuan 4 lempeng bumi besar, yaitu: Lempeng Hindia dan Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik (Gambar 2.19). Lempeng Hindia-Australia bergerak ke Utara menumbuk Lempeng Eurasia dengan kecepatan 50–70 mm/tahun. Zona tumbukan dua lempeng ini adalah di sepanjang Palung laut Sumatra – Jawa – Bali – Lombok. Lempeng (benua) Australia menabrak busur kepulauan di sepanjang tepi kontinen dari tepian selatan

Timor Timur terus ke timur dan melingkar berlawanan arah jarum jam di Lautan Banda. Lempeng Pasifik bergerak dengan kecepatan 120 mm/tahun ke arah barat-barat daya menabrak tepian utara dari Pulau Papua New Guinea - Irian Jaya, dan terus ke arah barat sampai ke daerah tepian timur Sulawesi. Gerakan dari tabrakan dan pergeseran lempeng-lempeng besar ini tentunya direspon secara mekanis oleh Kepulauan Indonesia. Pergerakan yang terlihat sebagai panah-panah vektor dalam Gambar 2.11 Pergerakan lempeng-lempeng inilah yang membuat banyak gempa bumi (Natawidjaja, 2007).

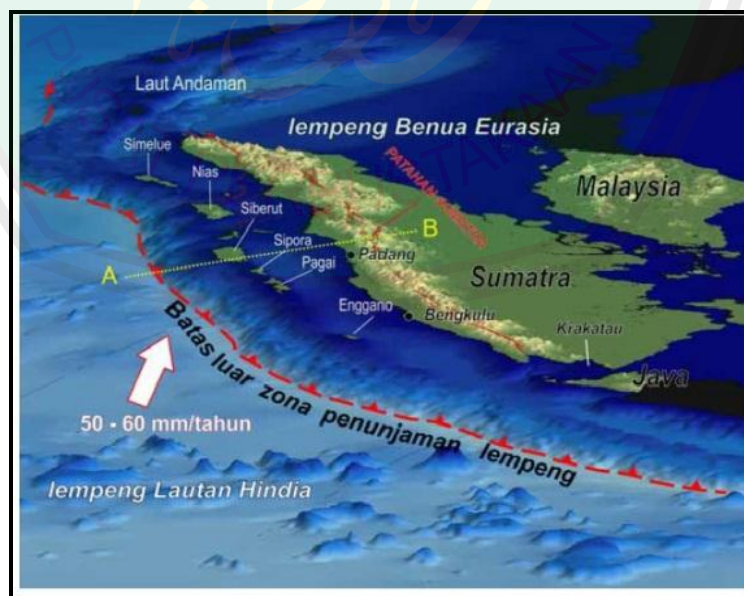


Gambar 2.19 Dinamika umum tektonik Indonesia (Natawidjaja, 2007)

2.5.2 Proses Gempabumi Di Bawah Laut Perairan Barat Sumatra

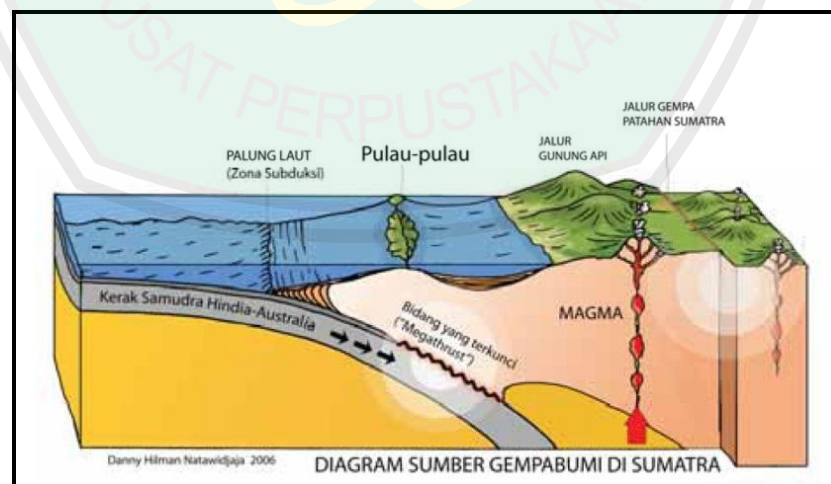
Dari uraian di atas kita memahami bahwa wilayah barat Sumatra sering terjadi gempa karena posisinya di sepanjang jalur tumbukan dua lempeng bumi, di mana lempeng (Samudra) Hindia bergerak menunjam ke bawah lempeng (benua) Sumatra (Gambar 2.20) Sumatra dan busur kepulauan di bagian baratnya adalah bagian dari lempeng Eurasia. Sedangkan lempeng lainnya berada di bawah Lautan Hindia. Batas tumbukan dua lempeng ini dapat diamati berupa jalur palung laut dalam di sebelah barat Sumatra sampai ke Kep. Andaman (Gambar 2.20) Lempeng Hindia menunjam di bawah Sumatra dengan kecepatan 50–60 cm/tahun

dan kemiringan dari zona penunjamannya sekitar 12° (Natawidjaja, 2003; Prawirodirdjo, 2000). Batas antara lempeng yang menunjam dan massa batuan di atasnya disebut sebagai bidang kontak dari zona penunjaman atau disebut juga sebagai bidang zona subduksi (Gambar 2.20) Di Sumatra bidang zona subduksi ini dapat diamati (dari data seismisitasnya) sampai kedalaman sekitar 300 km di bawah P. Sumatra. Bagian zona subduksi dari palung sampai kedalaman 40 km, umumnya mempunyai sifat regas (elastik) dan batas kedua lempeng ini di beberapa tempat terekat/terkunci erat. Karena itu dorongan terus menerus dari Lempeng Hindia menyebabkan terjadinya akumulasi energi-potensial regangan pada bidang kontak yang merekat erat ini berupa Bidang kontak zona subduksi dangkal ini biasa disebut sebagai “megathrust” (= mega-patahan naik yang berkemiringan landai). Inilah yang menjadi sumber gempa bumi di lepas pantai barat Sumatra.



Gambar 2.20 Tektonik aktif Pulau Sumatra dan A-B adalah lintasan penampang skematik pada Gambar 2.16 (Natawidjaja, 2007)

Di bawah kedalaman 40 km, temperatur disekitar bidang kontak melebihi 300-400°C sehingga tidak lagi memungkinkan adanya akumulasi energi elastik (gempa). Dengan kata lain pada kedalaman ini lempeng yang menunjam akan bergeseran dengan lempeng di atasnya tanpa terkunci atau menimbulkan pengkerutan seperti proses yang diterangkan di atas, sehingga di kedalaman ini umumnya tidak ada gempa-gempa besar, tapi hanya gempa-gempa kecil saja. Pada kedalaman antara 150-200 km, temperatur bumi bertambah panas sehingga batuan disekitar zona kontak ini meleleh. Kemudian lelehan batuan panas ini naik ke atas membentuk kantung-kantung bubur batuan panas yang kita kenal sebagai kantung kantung magma (Gambar 2.21) Pada akhirnya magma ini mendesak ke atas permukaan membentuk “kubah magma”, yaitu gunung api. Itulah sebabnya kenapa selain sering gempa bumi, Sumatra juga mempunyai jajaran gunung api di punggungannya, dikenal sebagai Pegunungan Bukit Barisan (Natawidjaja 2007).



Gambar 2.21 Diagram zona subduksi Sumatra (penampang A-B pada Gambar 2.18) (Natawidjaja, 2007)

2.5.3 Proses Gempabumi Di Daratan Sumatra

Lempeng Hindia menabrak bagian barat Sumatra secara miring (lihat Gambar 2.20) sehingga tekanan dari pergerakan ini terbagi menjadi dua komponen. Pertama adalah komponen yang tegak lurus dengan batas lempeng atau palung. Komponen pergerakan ini sebagian besar diakomodasi oleh zona subduksi seperti diuraikan di atas. Kedua adalah komponen gerakan horizontal yang sejajar dengan arah palung dan menyeret bagian barat Sumatra ke arah barat laut. Karena gaya ini maka terbentuklah patahan bumi besar disepanjang punggung pulau, yakni dikenal sebagai Patahan (Besar) Sumatra. Bidang kontak pada zona Patahan Sumatra ini tegak lurus membelah dua bumi Pulau Sumatra.

Dari waktu ke waktu bumi di bagian barat Patahan Sumatra ini bergerak ke arah barat laut dengan kecepatan 10 sampai dengan 30 mm/tahun relatif terhadap bagian di sebelah timurnya. Namun, sebagaimana halnya bidang kontak zona subduksi yang dangkal, bidang Patahan Sumatra sampai kedalaman 10 – 20km juga terkunci erat sehingga terjadi akumulasi tekanan elastik pada masa antar gempa, berpuluh-puluh tahun sampai ratusan tahun. Suatu saat, tekanan yang terkumpul sudah demikian besar sehingga bidang kontak/patahan sudah tidak kuat lagi menahan, sehingga pecah dan batuan di kanan-kirinya melenting tiba-tiba dengan kuat, terjadilah gempa bumi besar. Berbeda dengan yang di zona subduksi, pada Patahan Sumatra gerakan yang terjadi arahnya menyamping/horizontal pada sepanjang bidang patahan yang tegak lurus. Bumi di bagian barat patahan akan bergeser tiba-tiba ke arah utara dan yang di bagian timur bergeser ke arah selatan. Setelah gempa, bidang patahan akan kembali

merekat dan terkunci lagi, dan mengumpulkan tekanan elastik sampai suatu hari nanti terjadi gempa bumi besar lagi.

Jalur Patahan Sumatra bisa dikenal dari kenampakan bentang alam di sepanjang jalur. Dari udara kita dapat melihat kelurusan dari jalur patahan yang membelah bumi (jalur merah pada Gambar 2.22) Jalur ini seringkali ditandai oleh kenampakan bukit-bukit kecil di sepanjang patahan, pergeseran alur-alur sungai, dan danau-danau yang terjadi karena pergeseran bumi, seperti Danau Singkarak (Gambar 2.22) (Sieh and Natawidjaja, 2000).

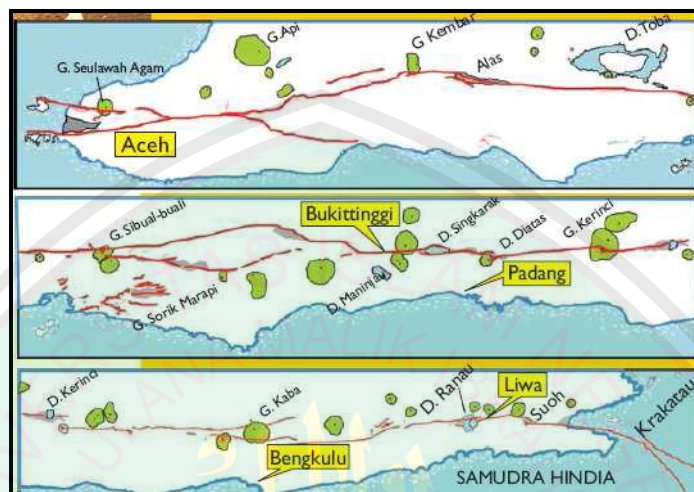


Gambar 2.22 Diagram Jalur Patahan Sumatra di Sumatra barat (Sieh Natawidjaja, 2000)

2.5.4 Sesar Semangko

Kondisi geologi Pulau Sumatera yang berada pada tepi selatan lempengan Benua Eropa-Asia (Eurasia), berbenturan dengan lempeng Benua Indo-Australia. Kedua lempengan benua ini telah saling menekan di dasar laut, dalam proses puluhan sampai ratusan tahun tanpa bisa dirasakan manusia. Proses saling tekan

kedua lempeng benua ini, akhirnya menyebabkan patahan yang memanjang di dasar laut, sehingga disebut sesar Semangko.



Gambar 2.23 Peta Jalur Patahan Sumatera (Yulianti, 2010)

Akibat terjadi rekahan tanah di dasar laut yang sangat lebar dan panjang, maka air laut tersedot ke sana. Pertemuan arus gelombang laut yang tersedot ke rekahan tanah tersebut, kemudian menimbulkan gelombang arus balik yang kuat dan besar yang menjalar ke kawasan di sekitarnya, bahkan sampai ke sebagian kawasan Malaysia, Thailand, Srilanka, India dan Afrika.

Sesar Sumatra, Produk Geodinamika Busur Sunda Sesar besar Sumatra dan Pulau Sumatra merupakan contoh rinci yang menarik untuk menunjukkan akibat tektonik regional pada pola tektonik lokal. Pulau Sumatra tersusun atas dua bagian utama, sebelah barat didominasi oleh keberadaan lempeng samudera, sedang sebelah timur didominasi oleh keberadaan lempeng benua. Berdasarkan gaya gravitasi, magnetisme dan seismik ketebalan lempeng samudera sekitar 20 kilometer, dan ketebalan lempeng benua sekitar 40 kilometer (Hamilton, 1979).

Sejarah tektonik Pulau Sumatera berhubungan erat dengan dimulainya peristiwa tumbukan antara lempeng India-Australia dan Asia Tenggara, sekitar 45,6 juta tahun lalu, yang mengakibatkan rangkaian perubahan sistematis dari pergerakan relatif lempeng-lempeng disertai dengan perubahan kecepatan relatif antar lempengnya berikut kegiatan ekstrusi yang terjadi padanya. Gerak lempeng India-Australia yang semula mempunyai kecepatan 86 mm/tahun menurun secara drastis menjadi 40 mm/tahun karena terjadi proses tumbukan tersebut. Penurunan kecepatan terus terjadi sehingga tinggal 30 mm/tahun pada awal proses konfigurasi tektonik yang baru (Natawidjaja, 1994).

Setelah itu kecepatan mengalami kenaikan yang mencolok sampai sekitar 76 mm/tahun (Sieh, 1993 dalam Natawidjaja, 1994). Proses tumbukan ini, menurut teori “indentasi” pada akhirnya mengakibatkan terbentuknya banyak sistem sesar geser di bagian sebelah timur India, untuk mengakomodasikan perpindahan massa secara tektonik (Tapponier dkk, 1982).

Keadaan Pulau Sumatera menunjukkan bahwa kemiringan penunjaman, punggung busur muka dan cekungan busur muka telah terfragmentasi akibat proses yang terjadi. Kenyataan menunjukkan bahwa adanya transtensi (*trans-tension*) Paleozoikum tektonik Sumatera menjadikan tatanan tektonik Sumatera menunjukkan adanya tiga bagian pola (Sieh, 2000). Bagian selatan terdiri dari lempeng mikro Sumatera, yang terbentuk sejak 2 juta tahun lalu dengan bentuk, geometri dan struktur sederhana, bagian tengah cenderung tidak beraturan dan bagian utara yang tidak selaras dengan pola penunjaman.

A. Bagian selatan Pulau Sumatera memberikan kenampakan pola tektonik:

- 1) Sesar Sumatera menunjukkan sebuah pola geser kanan “en-chelone” dan terletak pada 100-135 kilometer di atas penunjaman.
- 2) Lokasi gunung api umumnya sebelah timur-laut atau di dekat sesar.
- 3) Cekungan busur muka terbentuk sederhana, dengan kedalaman 1-2 km dan dihancurkan oleh sesar utama.
- 4) Punggungan busur muka relatif dekat, terdiri dari antiform tunggal dan berbentuk sederhana.
- 5) Sesar Mentawai dan homoklin, yang dipisahkan oleh punggungan busur muka dan cekungan busur muka relatif utuh.
- 6) Sudut kemiringan tunjaman relatif seragam.

B. Bagian utara Pulau Sumatera memberikan kenampakan pola tektonik:

- 1) Sesar Sumatera berbentuk tidak beraturan, berada pada posisi 125-140 km dari garis penunjaman.
- 2) Busur vulkanik berada di sebelah utara sesar Sumatera.
- 3) Kedalaman cekungan busur muka 1-2 km.
- 4) Punggungan busur muka secara struktural dan kedalamannya sangat beragam.
- 5) Homoklin di belahan selatan sepanjang beberapa kilometer sama dengan struktur Mentawai yang berada di sebelah selatannya.
- 6) Sudut kemiringan penunjaman sangat tajam.

C. Bagian tengah Pulau Sumatera memberikan kenampakan tektonik:

- 1) Sepanjang 350 km potongan dari sesar Sumatera menunjukkan posisi memotong arah penunjaman.
- 2) Busur vulkanik memotong dengan sesar Sumatera.
- 3) Topografi cekungan busur muka dangkal, sekitar 0.2-0.6 kilometer, dan terbagi-bagi menjadi berapa blok oleh sesar turun miring.
- 4) Busur luar terpecah-pecah.
- 5) Homoklin yang terletak antara punggung busur muka dan cekungan busur muka tercabik-cabik.
- 6) Sudut kemiringan penunjaman beragam.

Proses penunjaman miring di sekitar Pulau Sumatera ini mengakibatkan adanya pembagian/penyebaran vektor tegasan tektonik, yaitu *slip-vector* yang hampir tegak lurus dengan arah zona penunjaman yang diakomodasi oleh mekanisme sistem sesar anjak. Hal ini terutama berada di prisma akresi dan *slip-vector* yang searah dengan zona penunjaman yang diakomodasi oleh mekanisme sistem sesar besar Sumatera. *Slip-vector* sejajar palung ini tidak cukup diakomodasi oleh sesar Sumatera tetapi juga oleh sistem sesar geser lainnya di sepanjang Kepulauan Mentawai, sehingga disebut zona sesar Mentawai (Diament, 1992).

Tatanan tektonik regional sangat mempengaruhi perkembangan busur Sunda. Di bagian barat, pertemuan subduksi antara lempeng benua Eurasia dan lempeng samudra Australia mengkontruksikan busur Sunda sebagai sistem busur tepi kontinen (*epi-continent arc*) yang relatif stabil, sementara di sebelah timur

pertemuan subduksi antara lempeng samudra Australia dan lempeng-lempeng mikro Tersier mengkontruksikan sistem busur Sunda sebagai busur kepulauan (*island arc*) kepulauan yang lebih labil. Perbedaan sudut penunjaman antara propinsi Jawa dan propinsi Sumatera Selatan busur Sunda mendorong pada kesimpulan bahwa batas busur Sunda yang mewakili sistem busur kepulauan dan busur tepi kontinen terletak di selat Sunda. Penyimpulan tersebut akan menyisakan pertanyaan, karena pola kenampakan anomali gaya berat menunjukkan bahwa pola struktur Jawa bagian barat yang cenderung lebih sesuai dengan pola Sumatera dibanding dengan pola struktur Jawa bagian Timur. Secara vertikal perkembangan struktur masih menyisakan permasalahan namun jika dilakukan perbandingan dengan struktur cekungan Sumatera Selatan, struktur-struktur di Pulau Sumatra secara vertikal berkembang sebagai struktur bunga.

2.5.5 Tektonostatigrafi Sumatra

Renik Sumatra adalah suatu renik benua Asia Tenggara dengan karakteristik Gonwana dan Cathaysian. Karakteristik ini merupakan ciri utama dari Asia Tenggara yang merupakan kepingan (*Mosaic*) dari blok-blok *continent* terbentuk “*Ensiatic Arc System*” dan berasal dari Gonwana dan Cathaysian. Gondwana mengandung tilloid berumur Carbo-Perm, flora Glassoptris iklim dingin yang berumur Perm dan secara umum jarang faunanya. Ini sangat berbeda dengan Cathaysian yang sedikit tilloid dan mengandung flora Gigantopteris iklim ekuator serta kaya akan fauna air hangat termasuk Fusulinid. Menurut Metcalfe (1988), Sumatra secara tektonostai grafi Pra-Tersier tersusun atas blok SIBUMASU, Sebagian Timur Malaya dan blok sebelah barat daya Sistem Sesar Sumatra. Blok

SIBUMASU terletak di barat di barat laut Australia di tepi daratan Gondwana hingga Perm Awal. SIBUMASU dicirikan oleh diposit glasial-marine berumur Karbon Akhir-Perm Awal, fauna air dingin dengan lingkungan pengendapan air dangkal dan terjadi perubahan tipe fauna pada akhir Perm Awal dengan fauna air hangat yang berumur Perm Tengah. Blok ini memanjang sampai Tibtan Lhasa dan Chantang Blok. Dari karakteristik fosil ini menunjukkan bahwa SIBUMASU pecah (meninggalkan) Gondwana pada akhir Perm awal. Timur Malaya bercirikan flora Cathaysian berumur Paleozoikum Akhir yang meliputi Malaya Timur, bagian tenggara Sumatra, Natuna barat dan selat sunda di timur laut Sumatra (Basid, 2005).

Hutchison dan Gantinsky (1986), memberi nama Sinoburmalaya untuk pecahan Gondwana di Peninsular Malaysia yang meluas sampai timur laut Sumatra Sinoburmalaya mengandung tilloid marine Karbon-Perm. Flora Glassopterisiklim dingin berumur Perm dan jarang fauna karena lingkungan yang tidak cocok dengan karakteristik fosil semacam ini, Metcalfe (1986) berpendapat bahwa pada Karbon Awal atau batas antara Devon dan Karbon pada pinggiran Gondwana diendapkan batu lumpur kerikilan melalui proses “glaciomarine” atau sebagai aliran massa atau turbudit yang meluncur pada lereng benua sehingga lingkungan pengendapannya air dingin, lingkungan pengendapan tersebut selanjutnya akan terlepas dari tepian Gondwana. Pecahan Cathaysian di Peninsular Malaysia di sebelah timur dari Malaya Timur yang areanya meluas ke Sumatra. Sedangkan pecahan Cathaysian. Lainnya di Sumatra diberi nama Blok

Sumatra Barat yang terletak antara Sinoburmalaya dan Sesar Semangko (Basid, 2005).

A. *Periode Paleosen (55-40 Juta Tahun Lalu)*

Lempeng India bergerak cepat ke arah Eurasia dengan kecepatan 15-20 cm/tahun periode Paleosen. Pergerakan ini menyebabkan kecepatan subduksi yang besar di sepanjang pulau Sumatera dan zona subduksi dengan *dip slab* yang kecil (Fitch & Molnar, 1970 dalam Heidrick, *at al.*, 1996). Selain itu, lempeng Australia juga bergerak ke arah utara dengan kecepatan 5 cm/tahun. Posisi batas *transform (Ninetyeast ridges)* yang membatasi lempeng India dan Australia tak dapat diketahui dengan pasti. Posisi sesar *transform* tersebut pada saat ini meluas ke arah timur sampai ke Selat Sunda (Hayes, 1978 dalam Heidrick, *at al.*, 1996). Diduga posisinya pada masa Paleogen lebih jauh melampar ke arah timur.

Palung Jawa meluas ke arah timur dan menyatu dengan palung pada bagian selatan lempeng Laut Filipina. Hall (1995 dalam Heidrick, *at al.*, 1996) menyatakan bahwa antara lempeng Eurasia/*proto* Cina Selatan bagian selatan (lempeng mikro Sunda) dan lempeng Pasifik-Papua Nugini bagian utara dibatasi oleh zona subduksi yang memiliki *dip* ke arah barat dan *trend* ke utara.

B. *Periode Oligosen (40-20 Juta Tahun Lalu)*

Pada kurun ini, lempeng India sudah bertumbukan dengan lempeng Eurasia. Dalam Heidrick, *at al.* (1996) dikatakan bahwa penetapan kurun waktu ini didapat dari:

- Penurunan kecepatan subduksi lempeng India yang menunjam ke arah utara menjadi 10 cm/tahun (Patriat & Achache, 1984).

- Peningkatan pemekaran lantai samudera antara Antartika dan Australia (Johnson, *et.al.*, 1976).
- Munculnya zona pemekaran baru di Laut Filipina bagian barat (Hall, 1995) dan pengaturan kembali pergerakan lempeng saat 43 juta tahun yang lalu (Farrar & Dixon, 1981).
- Pengaturan kembali pergerakan lempeng Pasifik dan awal dari pembentukan sistem *rift* mayor di Sumatera, Malaysia, Thailand, Jawa, dan Kalimantan selama Miosen.

C. *Periode Miosen Tengah (20-10 Juta Tahun Lalu)*

Pada kurun ini terjadi perubahan tektonik di Asia Tenggara, yaitu terbentuknya 2 zona pemekaran baru, terutama yang berada di Laut Cina Selatan dengan arah timur laut-barat daya. Bersamaan dengan itu, zona pemekaran yang berada di antara lempeng India dan Australia mati. Ketidakaktifan *ridge* pada bagian selatan Sumatera menyebabkan lempeng India dan Australia menjadi satu kesatuan, yang disebut dengan lempeng Indo-Australia.

Subduksi India ke Asia Tenggara terus berlanjut dengan arah utara-barat laut dengan kecepatan yang semakin mengecil, sekitar 5 cm/tahun. Pengurangan kecepatan ini direfleksikan dengan penebalan kerak Himalaya. Bersamaan dengan pengaturan kembali zona pemekaran Laut Filipina, sesar-sesar *strike slip* berskala besar dengan sistem *wrench* berkembang dengan arah utara-selatan dan timur laut-barat daya. Sistem *wrench* ini merupakan dasar dari struktur Oligo-Miosen dan perkembangan tektonik di Asia Tenggara.

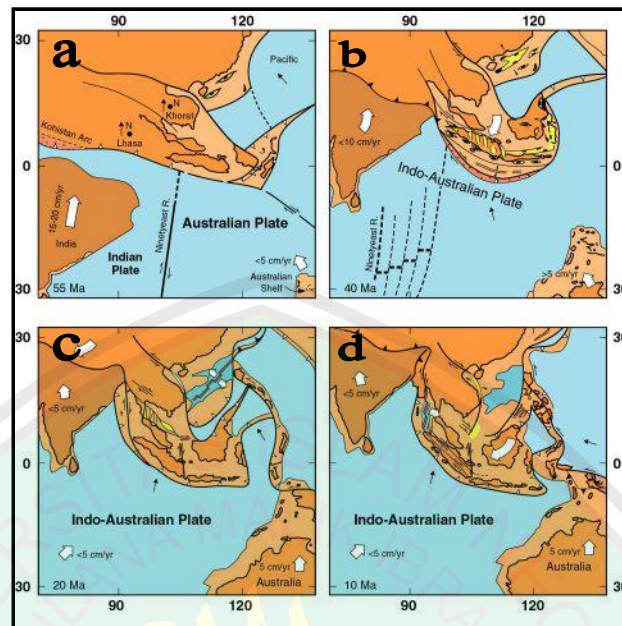
D. Periode Miosen Akhir (10-0 Juta Tahun Lalu)

Pengaturan lempeng tektonik pada masa ini membentuk tektonisme Barisan yang terdiri dari:

- Permulaan subduksi berarah ke utara dari lempeng Indo-Australia ke bawah *Sundaland* dengan kecepatan 5-6 cm/tahun.
- Kehadiran busur vulkanisme di sepanjang batas barat daya dari *Sundaland*.
- Pembentukan sesar geser mengangan di sepanjang busur vulkanik (*Great Sumatera Fault Zone*) atau yang lebih dikenal dengan sebutan Sesar Semangko, deformasi *back-arc* dan intrusi batuan beku alkali lokal pada Cekungan Sumatera Utara, Tengah, dan Selatan.
- Regresi dari laut *epicontinental* pada kala Miosen yang terjadi bersamaan dengan naiknya magma pada Pegunungan Barisan (Heidrick & Aulia, 1993 dalam Heidrick, *at al.*, 1996).

Keterangan gambar (2.24):

- a. Lempeng India bergerak 15–20 cm/tahun ke arah Eurasia.
- b. Lempeng India menumbuk lempeng Eurasia, kecepatan berkurang menjadi 10 cm/tahun.
- c. Subduksi lempeng India terus berlanjut dengan kecepatan semakin menurun 5 cm/tahun.
- d. Lempeng tektonik yang membentuk tektonisme Barisan.



Gambar 2.24 Rekonstruksi tektonik lempeng Asia Tenggara (Hall, 1995 dalam Heidrick, at al., 1996)

Perkembangan bagian dari pulau Sumatera sangat dipengaruhi oleh proses tektonik di atas, terutama mulai dari kala Eo-Oligosen. Selain pembentukan cekungan, penunjaman tersebut juga menghasilkan unit fisiografi sejajar yang berarah Barat laut, berupa busur kepulauan di sepanjang muka pantai barat daya Sumatera, cekungan muka busur Nias, busur vulkanik Barisan, cekungan belakang busur, dan zona Sesar Sumatera (*Great Sumatera Fault Zone*) atau yang lebih dikenal dengan sebutan Sesar Semangko (Hall, 1995 dalam Heidrick, at al., 1996).

BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan antara bulan September-Oktober 2015, Penelitian tentang studi bola *focal* di BMKG wilayah II Pandaan - Pasuruan dan pemetaan lokasi gempa dilaksanakan di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Wikipedia.com)

3.2 Alat dan Bahan

Karena Penelitian ini menggunakan data sekunder gempa bumi, maka diperlukan suatu bahan, diantaranya:

1. Satu set PC (Personal Computer) dengan OS Windows
2. Software GMT
3. Software ArcView GIS 3.3
4. Peta Geologi Pulau Sumatra

3.3 Pelaksanaan

3.3.1 Pengambilan Data

Data gempa bumi diakses pada tahun 1960-2000 dengan minimal rasio gempa 4 SR sampai 10 SR dari ISC global CMT dengan parameter: tanggal kejadian, kedalaman, magnitudo, strike, slip/rake, dip. Kemudian diambil data seismik, data waktu tiba dan arah gerakan gelombang pertama (gelombang P).

Setelah pengambilan data telah selesai, kemudian peneliti menentukan daerah yang ditargetkan untuk menentukan batas-batas kajian objek penelitian.

3.3.2 Pengolahan Data

Pada pengolahan data ini pertama melakukan pembagian gempa wilayah berdasarkan garis lintang dan bujur, kedua dimasukkan jenis gelombang dalam kelas interval, ketiga dklarifikasikan sesarnya sehingga mengetahui jenis-jenis sesar.

Dari semua langkah yang dinyatakan diatas maka peneliti melakukan penghubungan dengan data geologi berupa pola-pola sesar yang berada pada peta geologi tersebut.

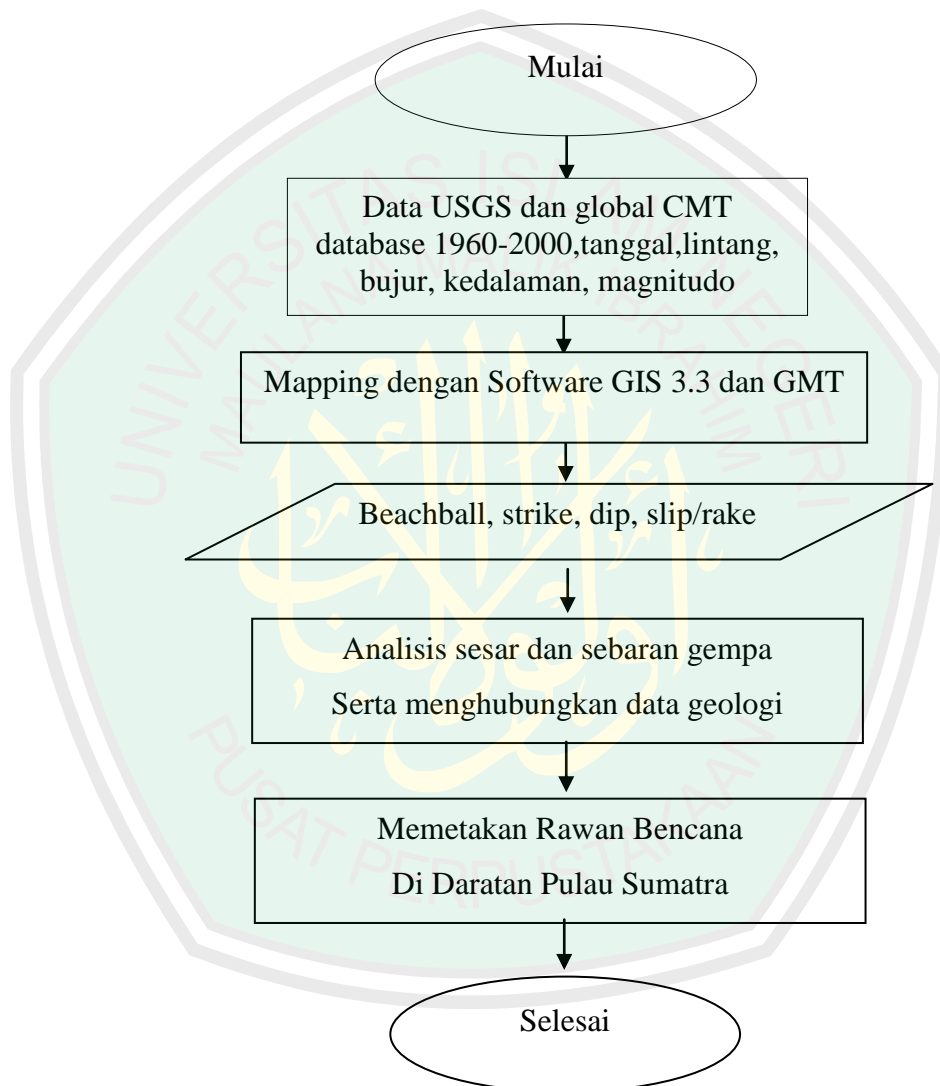
3.4 Analisa Data

Dari hasil data gempa ISC, Global CMT berupa magnitudo, *beachball*, *strike*, *dip* dan *slip/rake*. Dapat diketahui hubungan frekuensi dengan magnitudo dan dapat dilihat mekanisme sesar dari data gempa yaitu dengan melihat posisi titik pusat lingkaran terdapat pada daerah kompresi (diarsir) pada daerah dilatas (tanpa arsiran) dengan model patahan dari *focal mechanism*, maka akan terlihat

jelas tipe-tipe sesar yang menyebabkan gempa bumi terjadi, serta dihubungkan dengan data geologi yang ada.

3.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Proses Pengolahan Data

Proses pengolahan data pada penelitian ini dilakukan tiga tahap yaitu pengolahan data seismisitas dengan Magnitudo, *Focal Mechanism* dengan menggunakan data ISC, Global CMT, serta pemetaan geologi dan data *focal* dengan menggunakan software Arcview GIS 3.3.

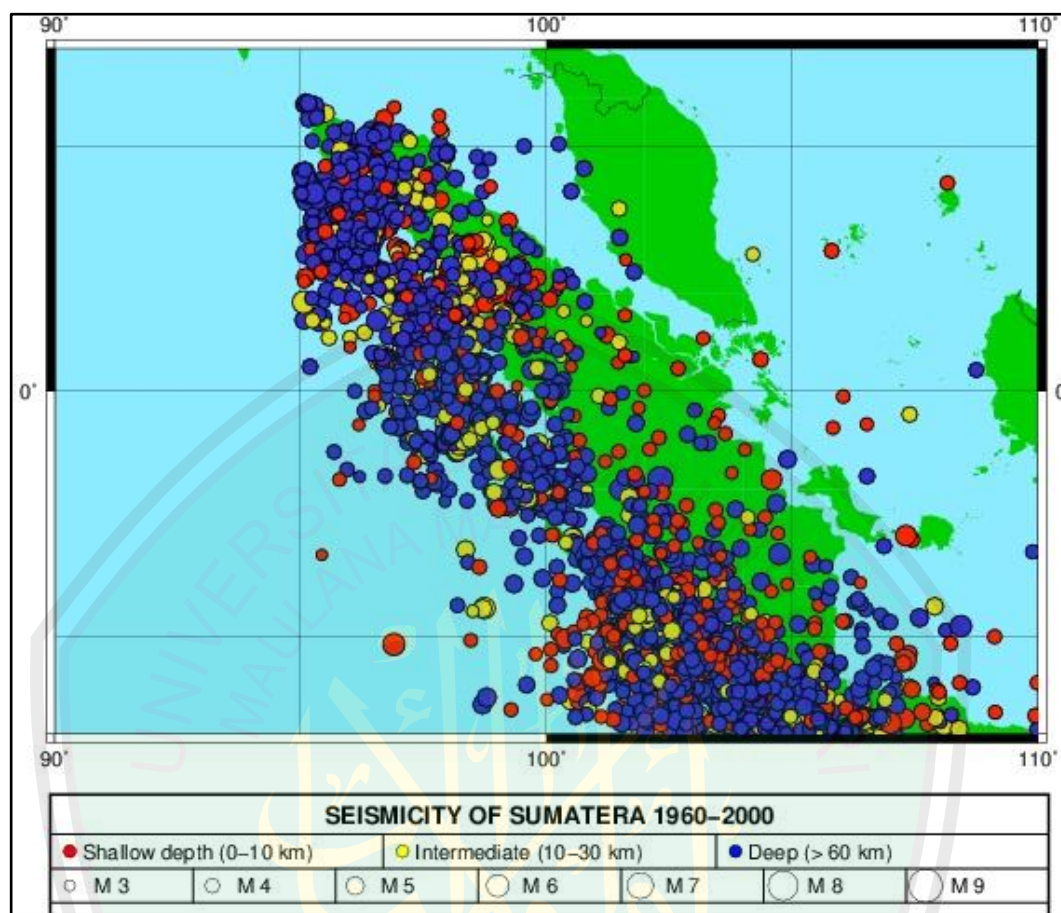
Data gempa yang diperoleh dari ISC global CMT dalam menentukan sesar-sesarnya diklasifikasikan sesuai dengan kedalaman yang diinginkan, yang mana pada penelitian ini menggunakan data gempa dengan kedalaman kurang dari 60 kilometer (gempa dangkal) dengan batasan letak geografis pada 6 LU dan -6 LS, dan 95-109 BT. Dan menggunakan magnitude ≥ 4 , Pengklasifikasian data yang telah didapat kemudian dilakukan analisa sesar berdasarkan data-data bola *focal* (*beachball*) yang diperoleh tersebut.

4.2 Hasil Pengolahan Data

Hasil pengolahan data seismisitas dengan magnitudo, pengolahan data *focal* menggunakan data dari ISC dengan CMT global menggunakan software GMT (*Generic Mapping Tool*) dan hubungan *focal* dengan geologi dengan menggunakan software Arcview GIS 3.3.sebagai berikut:

4.2.1 Pengolahan Data Seismisitas dengan Magnitudo

Berikut ini merupakan gambar sebaran seismisitas dengan magnitudo wilayah daratan pulau Sumatra pada 6⁰ LU-6⁰ LS dan 95⁰ BT-109⁰ BT .



Gambar 4.1 Sebaran Seismisitas Sumatra

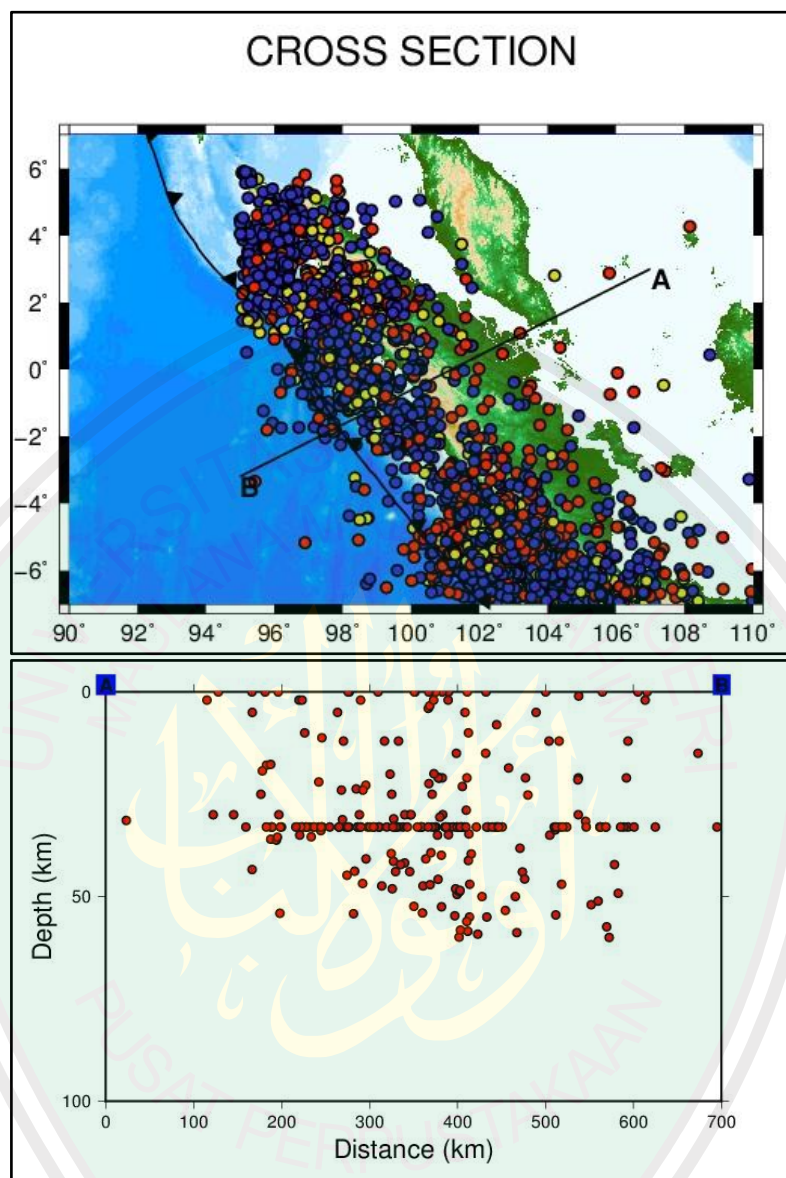
Berdasarkan sebaran Seismisitas yang diperoleh, tingkat kegempaan wilayah Sumatra berada di area barat dan area sesar Sumatra. Karena kegempaan wilayah Barat Sumatra merupakan Zona Akresi. Jenis tektonik pada wilayah Sumatra barat merupakan tunjaman tektonik dimana salah satu lempeng menunjam di bawah lempeng lainnya, yaitu lempeng Samudra Hindia menunjam lempeng Eurasia Lajur ini disebut Lajur Benioff.

Pulau Sumatra merupakan batas dari Lempeng Eurasia bagian barat yang di tabrak oleh Lempeng Samudra Hindia. Pada saat lempeng bumi bergerak dinamis dan menumpu yang satu bergerak relatif ke yang lainnya, maka pinggiran lempeng akan mengalami penekanan kompresif, terlipat atau terpatahkan. Menurut

Simandjuntak (2014) akibat batas antar lempeng bumi secara konvergensi ini penumpuan tektonik mengakibatkan lajur tumpuan dan pinggiran kedua blok yang saling menumpu secara lateral akan berkurang (menyempit) seiring dengan penekanan kompresif yang menyebabkan batuan tergencet, terlipat, tersesarkan, terimbrikasi dan terduplikasi.

Proses tektonik inilah yang paling menonjol dikawasan perbatasan atau lajur tumbukan antar dua lempeng bumi yang bergerak menumpu. Kegiatan tektonik dikenal sebagai orogenesis (*oroginosis*) atau pembentukan pegunungan (*mountain building*) (Simandjuntak, 2014).

Melihat data cross section pada gambar 4.2 wilayah garis B-A sebaran gempa menurut kedalaman. Melihat pola dari sebaran hiposenter gempa kebanyakan pada kedalaman antara 30-40 km, pada kedalaman tersebut wilayah barat Sumatra merupakan zona megathrust yang menjadi sumber utama gempa bumi di lepas pantai barat Sumatra. Karena dorongan terus menerus dari lempeng Hindia menyebabkan terjadinya akumulasi energi potensial regangan pada suatu bidang zona subduksi dangkal. Sedangkan gempa pada bagian daratan Sumatra dikontrol oleh Sistem Sesar Sumatra yang berada pada kedalaman 10-30 km yang terkunci erat sehingga menimbulkan tekanan yang terkumpul sudah sedemikian besar sehingga bidang tidak kuat menahan lagi, sehingga pecah dan batuan kanan kirinya melenting tiba-tiba dengan kuat, terjadilah gempa bumi.



Gambar 4.2 *Cross section* pada bidang seismisitas pulau sumatra

Pada gambar 4.2 dengan kedalaman antara 30-50 km diduga ada batas lapisan antara Lempeng Mikro Sunda dengan Lempeng Benua Eurasia karena dilihat dari penampang 2 Dimensi, pada kedalaman tersebut banyak sekali seismisitas yang membentuk suatu pola batas, karena itu perlu kajian lebih lanjut untuk meneliti batas lempeng tersebut, apakah Lempeng Mikro Sunda bergeser di atas Lempeng Benua Eurasia.

4.2.2. Hasil Pengolahan Data Fokal

Berikut ini merupakan tabel dan peta persebaran gempa bumi di Wilayah daratan pulau Sumatra, tabel dan peta persebaran gempa bumi di bagi 3 region, region ini berdasarkan lintang dan bujur sesuai banyaknya *focal*.

Pembahasan dari hasil penelitian ini disusun berdasarkan region atau daerah sesar yang paling sering menimbulkan gempa signifikan dari tahun 1960-2000. Adapun region yang di maksud sebagai berikut :

1. Region I (Pada 5.74° LU dan 3.5° LS, 96° - 99° BT)



Gambar 4.3 Sebaran *Focal Mechanism* pada Region I

Tabel 4.1 Pengolahan Data *Focal* Dari CMT Global

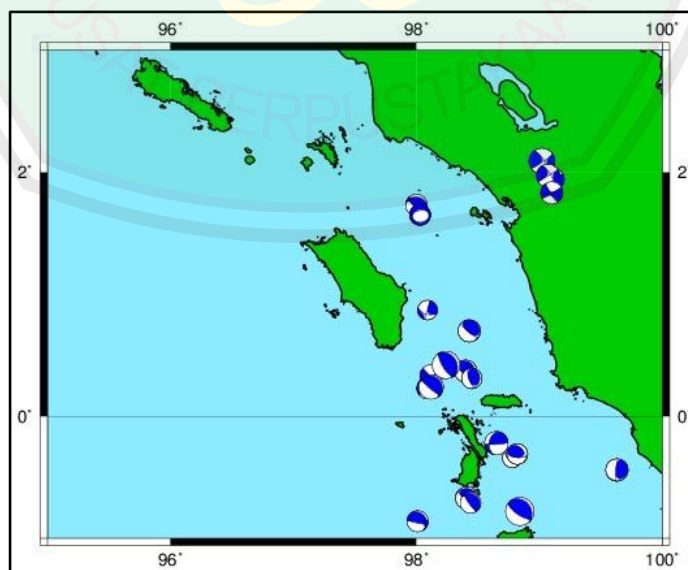
Bujur	Beachball	Jenis Sesar	Jumlah
96°-99° BT		sesar geser (<i>strike slip</i>)	7
		sesar naik (<i>reverse fault</i>)	2
		sesar turun (<i>normal fault</i>)	0
		sesar oblique	3

Gempa pada region I pada posisi geografis 96° - 99° BT terdapat 13 gempa signifikan sepanjang tahun 1960 sampai tahun 2000, diantaranya 7 sesar mendatar (*strike slip fault*), 12 sesar naik (*reverse fault*), 11 sesar turun (*normal fault*) dan 3 sesar oblique. Adapun yang paling dominan pada bujur 96° - 99° BT adalah sesar geser dan sesar oblique.

Pada dasarnya keempat jenis sesar tersebut bisa menimbulkan gempa bumi yang memiliki magnitudo diatas 5, sehingga gempa tersebut dapat merusak karena gempa dangkal.





Bila dilihat pola sesar di area region I ini kebanyakan adalah sesar geser yang menjadi faktor sumber utama gempa, karena daerah tersebut dilewati oleh Sistem Sesar Sumatra yang mengontrol sebaran gempa daratan pulau Sumatra, penyebab gempa tersebut kita lihat dari kompresi dan dilatasi pada *focal* tersebut sehingga kita bisa mengetahui arah pergerakan gempa tersebut.

2. Region II (Pada 3° LU dan -1° LS, 98° - 100° BT)



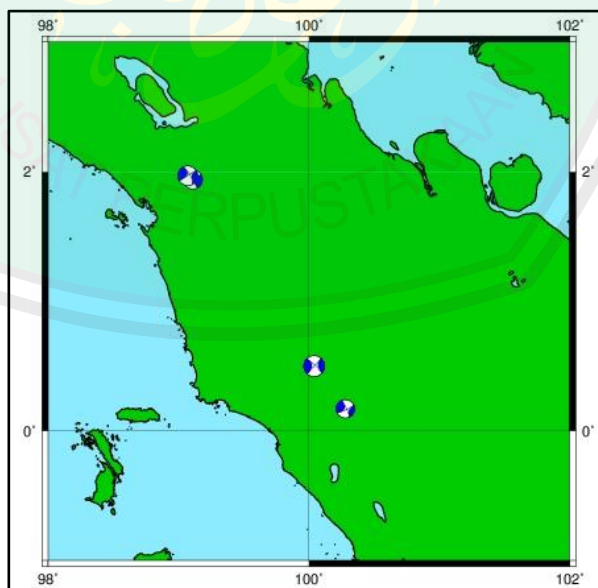
Gambar 4.4 Sebaran *Focal Mechanism* Region II

Tabel 4.2 Pengolahan Data *Focal* Dari USGS Global CMT





Bujur	<i>Beachball</i>	Jenis Sesar	Jumlah
98°- 100 BT		sesar geser (<i>strike slip</i>)	3
		Sesar naik (<i>reverse fault</i>)	12
		Sesar turun (<i>normal fault</i>)	1
		Sesar oblique	4

Gempa pada region II pada posisi geografis 98⁰-100⁰ BT terdapat 20 gempa signifikan sepanjang tahun 1960 sampai tahun 2000, diantaranya 3 sesar mendatar (*strike slip fault*), 12 sesar naik (*reverse fault*), 1 sesar turun (*normal fault*) dan 4 sesar oblique. Adapun yang paling dominan pada bujur 98⁰-100⁰ BT adalah sesar geser dan sesar oblique.

3. Region III pada koordinat 2⁰-1⁰ LS dan 98⁰-102⁰ BT

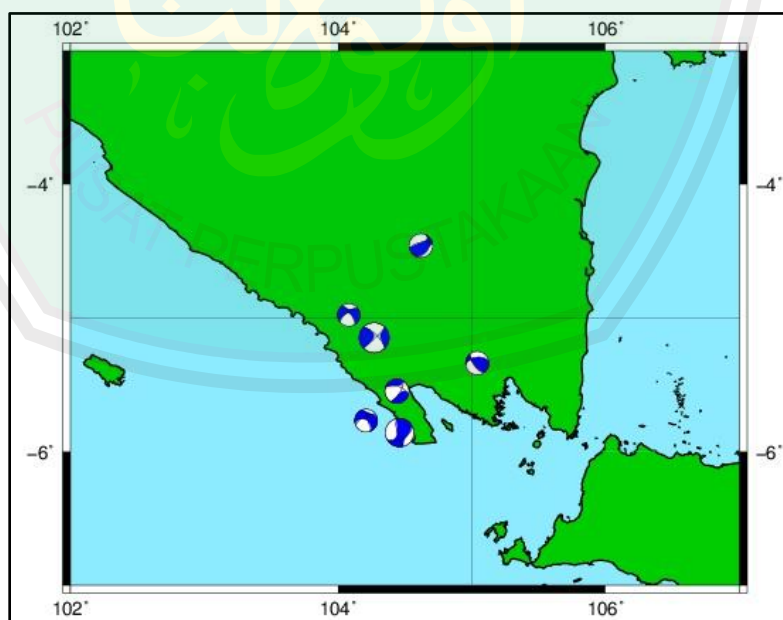
Gambar 4.5 Sebaran *Focal Mechanism* pada Regoin III

Tabel 4.3 Pengolahan Data *Focal* Dari USGS CMT Global





Bujur	<i>Beachball</i>	Jenis Sesar	Jumlah
98°-102° BT		sesar geser (<i>strike slip</i>)	2
		sesar naik (<i>reverse fault</i>)	0
		sesar urun (<i>normal fault</i>)	0
		sesar oblique	0

Gempa pada region III pada posisi geografis 98⁰-102⁰ BT terdapat 4 gempa signifikan sepanjang tahun 1960 sampai tahun 2000, semuanya adalah sesar mendatar (*strike slip fault*) sebanyak 4.

4. Region IV pada koordinat 6⁰-4⁰ LS dan 104⁰-106⁰ BT

Gambar 4.6 Sebaran *Focal Mechanism* pada Region IV

Tabel 4.4 Pengolahan Data *Focal* Dari Global CMT

Bujur	<i>Beachball</i>	Jenis Sesar	Jumlah
104°-106° BT		Sesar geser (<i>strike slip</i>)	3
		sesar naik (<i>reverse fault</i>)	1
		sesar turun (<i>normal fault</i>)	1
		sesar oblique	2

Gempa pada region IV pada posisi geografis 104⁰-106⁰ BT terdapat 7 gempa signifikan sepanjang tahun 1960 sampai tahun 2000, diantaranya 3 sesar mendatar (*strike slip fault*), 1 sesar naik (*reverse fault*), 1 sesar turun (*normal fault*) dan 2 sesar oblique. Adapun yang paling dominan pada bujur 100⁰-102⁰ BT adalah sesar geser.

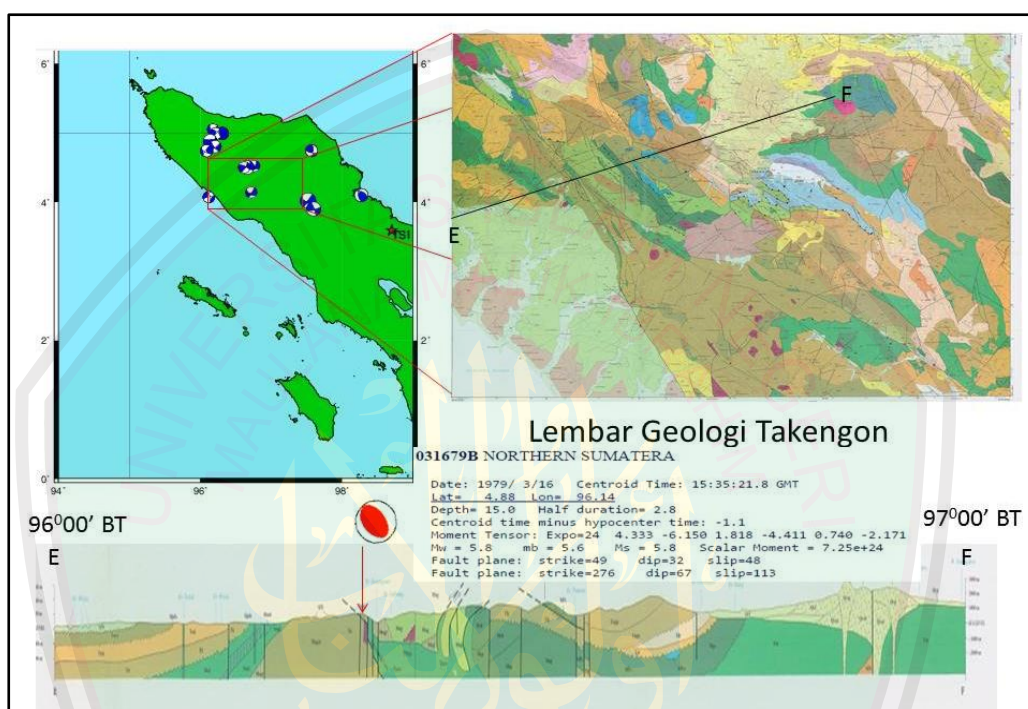
4.2.3. Hasil Hubungan data *Focal Mechanism* dengan data geologi

Setelah peneliti memetakan dengan data gempa ISC dan data *focal* dari Global CMT, peneliti ingin menghubungkan dengan data geologi yang sudah ada, sesuai daerah yang sudah dibagi menjadi region atau wilayah penelitian, sebagai berikut:

4.2.3.1 Region 1 pada daerah koordinat 5.74⁰ LU dan 3.5⁰ LS, 96⁰-99⁰ BT

Peneliti mempunyai lembar geologi pada region ini yaitu lembar geologi takengon, yang bisa dilihat dari lampiran. Pada Lembar Geologi Takengon Menurut N.R.Cameron dkk, secara regional Takengon mengalami dua periode deformasi yaitu pada Zaman Pra-Tersier dan Tersier. Pada Zaman Pra-Tersier,

lipatan isoklinal pada Formasi Kluet pada umumnya sumbu lipatan berarah barat laut-tenggara, berasosiasi dengan rekahan *axial planar*, *crenulation cleavage*, *kink bands* dan kekar *syntectonik* sebelum formasi ini diendapkan di Group Peusangan



Gambar 4.7 Lembar Geologi Takengon beserta Moment Tensor

Fase utama deformasi zaman tersier adalah lipatan di Group Meureudu yang disertai dengan batas-batas plutonisme. Deformasi ini sudah terjadi pada oligosen akhir dimana strukturnya sangat kompleks. Struktur termuda di zaman Tersier sangat kompleks tetapi umumnya dikontrol oleh dekatnya sesar transcurrent. Sebelah Barat dari Geumpang Group menunjukkan hanya lipatan dan kemiringan yang tidak sesuai menutupi Formasi Tutut.

Topografi dipengaruhi oleh empat periode seismik aktif dengan arah barat laut-tenggara termasuk bagian dari *Sumatera Fault System (SFS)*. Sesar Banda

Aceh-Anu terpisah di Anu untuk membentuk Sesar Anu-Betee dan Reungeuet-Blangkejeren.

Diantara sesar aktif lain yang berasosiasi dengan *Sumatera Fault System (SFS)* adalah Sesar Samalanga-Sipopok yang mengarah ke utara dari Pameue. Sesar Geureunggang, struktur timur-barat di bagian ujung Selatan dari Tinggian Sigli-Seunalan di dalam cekungan Sumatera Utara dan sudah aktif selama sedimentasi di zaman Miosen.

Salah satu patahan yang aktif sejak *Cretaceous* dan lainnya di zaman Tersier adalah batas yang berarah tenggara yang sudah terbentuk sejak pengangkatan di akhir *Cretaceous* ketika Formasi Kluet mendorong sebelah timur dari Group Woyla. Takengon *Line* yang berarah barat daya berumur Tersier awal dan berhubungan dengan sesar bentuk bukaan busur berbentuk S melintas 20 km menyalang di wilayah Takengon dan pemisahan Group Peusangan dan Tapanuli ke timur laut dari Group Woyla ke barat daya.

Seperti telah disebutkan sebelumnya pada geologi regional bahwa struktur geologi daerah Takengon sangat di pengaruhi oleh sistem sesar sumatera (*Sumatera Fault Sistem*) yang berarah barat laut-tenggara. Hal tersebut merupakan salah satu penyebab utama terbentuknya struktur geologi daerah Takengon. Berdasarkan interpretasi peta topografi dan ditemukannya gejala-gejala geologi, maka dapat disimpulkan terdapatnya 3 gejala geologi berupa:

1. Struktur Sesar
2. Struktur Perlipatan

3. Perlipatan dalam skala besar hanya ditemukan dalam batuan sedimen. Struktur perlipatan daerah Aceh Tengah umumnya dijumpai berupa sinklin (cekung), sedangkan struktur antiklin (cembung) dijumpai dibagian timur laut. Arah sumbu lipatannya beraneka ragam umumnya searah dengan rentangan pulau Sumatera.

Hasil studi *focal* yang sudah dilakukan pada sub bab 4.2.2 Region I sebelumnya, melihat terjadinya banyak sekali sesar geser berorientasi barat daya-tenggara yang didapatkan, dan juga peneliti mencocokkan salah satu data gempa beserta moment tensor yaitu pada koordinat $04^{\circ}88$ LU dan $96^{\circ}09$ BT yang terdapat pada Gambar 4.7, menunjukkan pola sesar naik yang sesuai dengan data geologi.

Selain gempa bumi yang dirasakan tersebut, pada area Region I Gerakan Tanah juga bisa menimbulkan korban jiwa, melihat topografi di wilayah Region I atau Aceh Tengah merupakan perbukitan terjal, dimana dijumpai morfologi yang ekstrim.

4.2.3.2 Region 2 pada daerah koordinat 3° LU dan -1° LS, 98° – 100° BT

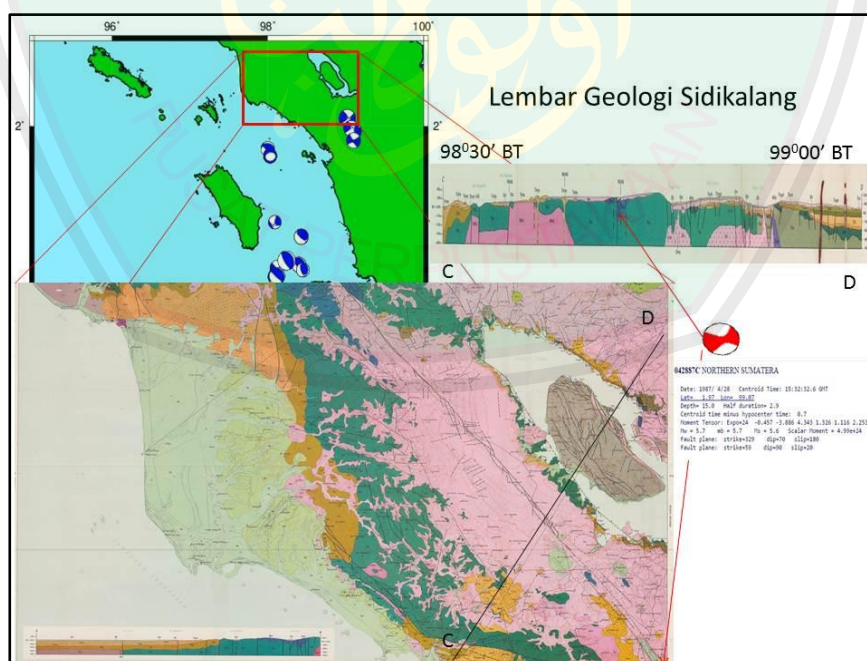
Peneliti mempunyai lembar geologi pada region ini yaitu Lembar Geologi Sidikalang, yang bisa dilihat dari lampiran. Pada Lembar Geologi Sidikalang ini jalur utama dari patahan utama adalah Patahan Renun-Toru, bagian lokal dari zona utama dari Sistem Sesar Sumatera dan Sepakpahi Zona Sesar yang mengatur margin barat daya dari pegunungan Barisan.

Zona sesar Sepakpahi bergabung dengan sesar Alas dan Kluet. Pada dasarnya zona patahan merupakan produk gabungan dari beberapa zona sesar

dalam Zona Sistem Sesar Sumatera yang berada di sepanjang Bukit Barisan dan dengan demikian didefinisikan bahwa zona patahan tersebut berada dibagian barat dari Peta Geologi. Blok ini dibagi oleh sesar kecil yang mengontrol orientasi dari lembah besar dalam Pegunungan Barisan.

Garis danau Toba dikendalikan oleh sesar yang berarah barat laut-tenggara yang masuk di bagian timur lembar Barisan di utara dan menciptakan cekungan tengah Sumatra. Namun, sesar ini biasanya terlihat sebagai permukaan tuff Toba.

Tuff Toba tersebar jauh ke arah utara, dan dijumpai hingga Pematang Siantar, bahkan mencapai Tebing Tinggi. Tidak perlu heran, jika di tengah-tengah Samudera Hindia didapati endapan tuff Toba. Ke arah selatan, tuff mengendap mengisi perbukitan dan lembah sepanjang Pegunungan Bukit Barisan sejak Sidikalang di barat laut hingga Tarutung dan Sipirok di tenggara dan selatan.



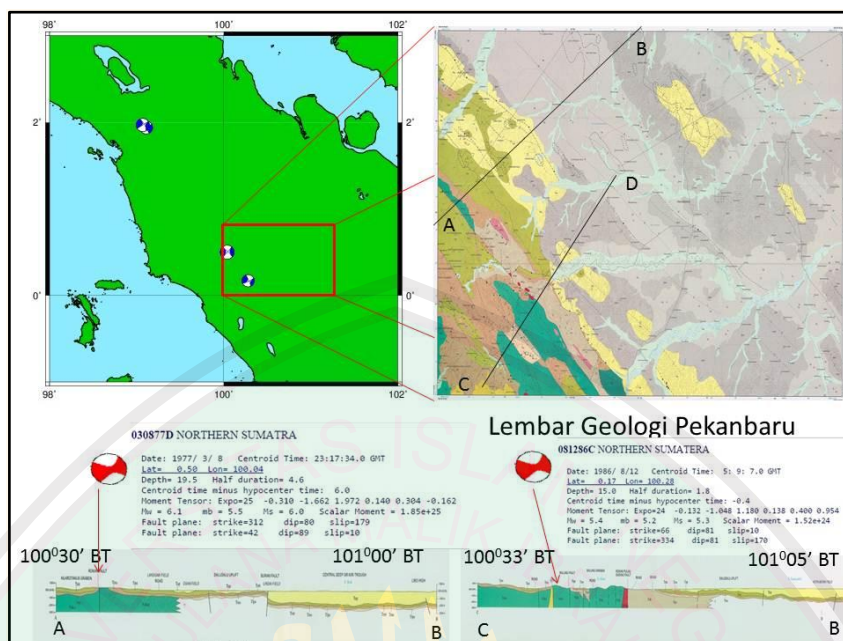
Gambar 4.8 Lembar Geologi Sidikalang beserta Moment Tensor

Hasil studi *focal* yang sudah dilakukan pada sub bab 4.2.2 Region II sebelumnya, peneliti mendapatkan sesar geser berarah barat daya-tenggara yang didapatkan dari Global CMT, sesar geser yang didapatkan peneliti meyakini di kontrol oleh sesar. Ditemukan pula daerah perbukitan dan dataran tinggi di area sekeliling Danau Toba yang merupakan produk dari letusan priloklastik atau letusan dahsyat yang membentuk pegunungan dan kaldera besar. Tebing tinggi di tenggara Lembar ini terjadi karena pensesaran busur barisan.

4.2.3.3 Region 3 pada daerah koordinat 0° - 2° LU dan 100° - 102° BT

Peneliti mempunyai lembar geologi pada region ini yaitu Lembar Geologi Pekanbaru, yang bisa dilihat dari lampiran. Berdasarkan peta Geologi Pekanbaru dan sekitarnya dengan skala 1:250.000, wilayah Pekanbaru secara umum terbentuk dari batuan sedimen berumur Plistosen-Holosen, serta endapan aluvium yang proses pengendapannya masih berlangsung hingga sekarang.

Pekanbaru yang terletak di sebelah timur dari untaian utama dari sistem Sesar Semangko seperti dalam Lembar Geologi Lubuksikaping. Banyak sesar berarah sekitar barat daya-tenggara yang sebagian besar tampaknya memiliki gerakan vertikal, sebagian tidak. Salah satu alasan utama untuk meyakini bahwa jejak-jejak sesar sering paralel dengan curamnya lipatan yang telah digambarkan.



Gambar 4. 9 Lembar Geologi Pekanbaru beserta Moment Tensor

Yang menunjukkan beberapa fase atau panjang gerakan terus menerus dalam contoh didokumentasikan sesar Petapahan, merupakan elemen penting mengendalikan akumulasi minyak di lapangan Petapahan, mulai bergerak di Miosen tengah, terus di Pliosen dan lagi-lagi aktif selama Plio-Pleistosen.

Hasil umum tersier ini kemudian periode Kuartar dari sesar adalah pengelompokan dari Bukit Barisan dan pengembangan cekungan dan berbagai topografi yang mencirikan Barisan wilayah kaki Bukit.

Di wilayah kaki bukit biasanya ditempati oleh graben berupa sedimen Tersier sedangkan horts yang berdekatan sering mengekspos basement pra-Tersier. Melempar pada kesalahan barat daya-Tenggara dapat bervariasi sepanjang sesar yang mungkin berhenti di sepanjang antara Siabu-Rantau.

Sesar yang sering lebih dijumpai utara-selatan yang sebagian besar penghasil eksplorasi minyak. Sesar ini aktif sebelum Miosen dan pengendapan Formasi Sihapas.

Hasil studi *focal* yang sudah dilakukan pada sub bab 4.2.2 Region III sebelumnya, terdapat sesar geser berorientasi barat daya-tenggara sebanyak 2 gempa kejadian. Sesar geser tersebut bagi peneliti dikontrol oleh sesar Rokan dan sesar Balung yang terdapat di sebelah barat kota Pekanbaru. Dan data geologi tidak menyebutkan bahwa sesar Rokan dan sesar Balung terdapat sesar geser.

Selain gempa bumi yang dirasakan tersebut, pada area Region III Gerakan Tanah juga bisa menimbulkan korban jiwa, melihat topografi di wilayah Region III atau merupakan perbukitan terjal di wilayah barat bagian lembar Pekanbaru, dimana dijumpai morfologi yang ekstrim.

4.2.3.4 Region 4 pada daerah koordinat $6^{\circ}-4^{\circ}$ LS dan $104^{\circ}-106^{\circ}$ BT

Peneliti mempunyai lembar geologi pada region ini yaitu lembar geologi Tanjungkarang dan Baturaja

1. Lembar Geologi Tanjungkarang

Sejarah struktur Lembar Tanjungkarang meliputi peristiwa peristiwa tektonik sejak Paleozoikum Akhir sampai Resen. Tetapi Unsur-Unsur utama, yaitu sesar dan lipatan, dikuasai oleh Tektonika Tersier Akhir-Kuartel Awal.

Perlipatan

Struktur lipatan yang tersingkap hanya ada terdapat di dalam runtutan pra-Tersier, khususnya didalam batuan malihan Kompleks

Gunungkasih. Batuan Malihan tersebut memperlihatkan perlipatan berulang-ulang dan pembelahan. Kesekisan yang jelas di dalam batuan tersebut semula terlipat dengan sumbu lebih kurang timur-barat, kemudian diikuti perlipatan tegak berarah barat laut-tenggara. Sedimen Kapur telah terungkit kuat berupa lipatan-lipatan terjal berarah barat-tenggara. Terbatasnya pengamatan lapangan, digabungkan dengan bukti-bukti dari daerah lain, rupanya menunjukkan bahwa struktur lipatan timur-barat hanya terbentuk di dalam batuan malihan. Lipatan-lipatan berarah barat-laut-tenggara terdapat baik di runtunan pra-Tersier maupun runtunan Tersier-Kuarter.

Persesaran

Persesaran merupakan unsur struktur yang menguasai Lembar ini, dan Khas lebih banyak di dalam batuan pra-Tersier daripada batuan yang menutupinya. Arah sesar yang sama terdapat juga didalam satuan-satuan pra-Holosen, dan arah utara sesar dan kelurusan ialah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya, dengan beberapa sesar kecil berarah lebih kurang utara-selatan.

Sesar Barat laut-Tenggara

Di daerah ini sesar-sesar tersebut merupakan sesar yang paling banyak dijumpai dan sekaligus yang paling kompleks. Sebarannya sangat luas dan panjang masing-masing sesar mencapai 25-35 km. Khususnya banyak ditemukan di lajur Barisan, di bagian barat daya Lembar, tetapi kemungkinan besar terdapat di seluruh Lembar dibawah runtunan penutup

endapan Kuartar. Sesar-sesar yang terpetakan di Lajur Barisan mempunyai sejarah yang kompleks, dibuktikan dengan gerakan-gerakan renggut, turun dan berbalik. Sesar-sesar utama yang secara tak resmi sesar Menanga dan sesar Lampung-Panjang, ditafsirkan merupakan bagian dari gabungan Sistem Sesar Sumatra.

Sistem Sesar Sumatra terentang sepanjang 1.650 km, berjurus 330–320 derajat dan umumnya terbentang di sepanjang sumbu pegunungan Barisan di bagian barat Sumatra, dari Aceh di barat laut sampai Teluk Semangko di tenggara (Es 1919, Bemmelen 1949, Westerveld 1952, Katili & Hehuwat 1967, Tjia 1970). Para penyelidik terdahulu umumnya menganggap Sesar Sumatra suatu struktur terban yang khas, tetapi penerbitan kemudian (Katili & Hehuwat 1967) memastikan adanya perpindahan geser menganan berukuran besar di sepanjang lajur sesar tersebut. Secara rinci struktur regional ini ditafsirkan terdiri dari suatu sistem sesar-sesar hampir sejajar dengan umur yang berbeda-beda dan bukannya sebuah lajur yang terdiri dari sesar-sesar sejajar yang lebih kurang berumur sama. Beberapa diantara sesar-sesar tersebut berumur Paleozikum, beberapa lainnya jelas berumur Mesozoikum, Kapur tengah, sedangkan berumur Paleogen.

Kenampakan sistem lembah yang lurus dan depresi-depresi memanjang yang sangat jelas pada citra SAR, merupakan hasil peremajaan selama Kuartar terhadap struktur-struktur yang lebih tua, yang berhubungan dengan penunjaman Lempeng Indo-Australia. Tjia

(1977) menduga bahwa lajur Sesar Sumatra paling sedikit terdiri dari 18 bagian tersebut. Yang umumnya tersusun dalam pola “en-echelon” mengangan. Sesar utama di daerah Lampung, yakni sesar Semangko, terletak paling selatan diantara 18 bagian tersebut. Tjia juga menduga bahwa selama periode utama geseran mengangan di sepanjang lajur ini pada Plio-Plistosen, telah terjadi sesar turun pada pertemuan “en-echelon” tersebut menghasilkan struktur-struktur terban mini atau pusat-pusat gunung api.

Seperti yang disebutkan di muka, Sesar Menanga ditafsirkan berumur Awal Kapur Tengah yang berhubungan dengan akresi minakat samudera Woyla, berumur Jura Akhir-Kapur Awal terhadap benua Sumatra. Sesar Lampung-Panjang mungkin masih lebih tua, mewakili rantas Paleozoikum Akhir yang memisahkan busur muka atau parit runtunan pelit, arenit malih dan batu gamping malih, dari runtunan busur benua yang terdiri dari gunung api malih dan ortogones, yang secara bersama-sama membentuk kompleks gunung kasih. Kedua sesar tersebut telah digiatkan lagi paling sedikit dua kali selama tersier, berupa sesar berbalik dan sesar renggut, dan dalam hal sesar Lampung, sebagai sesar turun.

Sesar-sesar barat laut-tenggara juga merupakan batas utama di timur laut dan barat daya tinggian batuan alas pra-Tersier dilajur busur belakang. Sesar-sesar ini mengontrol ukuran dan pembentukan cekungan-cekungan sedimen Tersier di lajur ini, sehingga telah mengalami banyak pergerakan

vertikal. Kekompleksan dan panjang sesar-sesar yang berarah barat laut-tenggara tersebut, khususnya Sesar Sumatra, digambarkan dengan baik pada studi analisa kelurusan SAR yang rinci oleh Holder (1990), yang menggaris bawahi konsep pengaktifan kembali sesar-sesar tersebut selama periode tegangan menekuk yang terjadi kemudian.

Sesar Timur laut-Barat daya

Di lapangan sesar ini tidak begitu jelas, tetapi terlihat pada citra SAR pada peta anomali gaya berat Bouger. Sesar-sesar tersebut juga tersebar luas di seluruh lajur busur belakang.

Sumatra bagian selatan, dimana bersama-sama dengan sesar-sesar barat laut-tenggara mereka membagi lajur busur-belakang menjadi sejumlah cekungan memanjang yang dipisahkan oleh tinggian batuan alas. Holder (1990) menduga bahwa sesar-sesar ini merupakan pasangan sesar-sesar barat laut-tenggara pada awal Tersier. Porsesan bongkah yang memotong kedua pasangan sesar tersebut berhubungan dengan pemampatan yang berarah utara-selatan pada Eosen-Oligosen dan menghasilkan pembentukan cekungan-cekungan sedimen utama di Sumatra Selatan. Sesar-sesar tersebut diaktifkan lagi paling tidak sekali pada waktu pemampatan plio-plistosen.

Sesar utama-selatan sampai utara barat laut-selatan tenggara

Pada perpotongan sesar-sesar ini dengan kedua pasangan tersebut diatas, umurnya pasti lebih muda. Holder (1990) menduga bahwa sesar-sesar ini telah bergerak sebagai sesar renggut mengiri. Namun hal tersebut

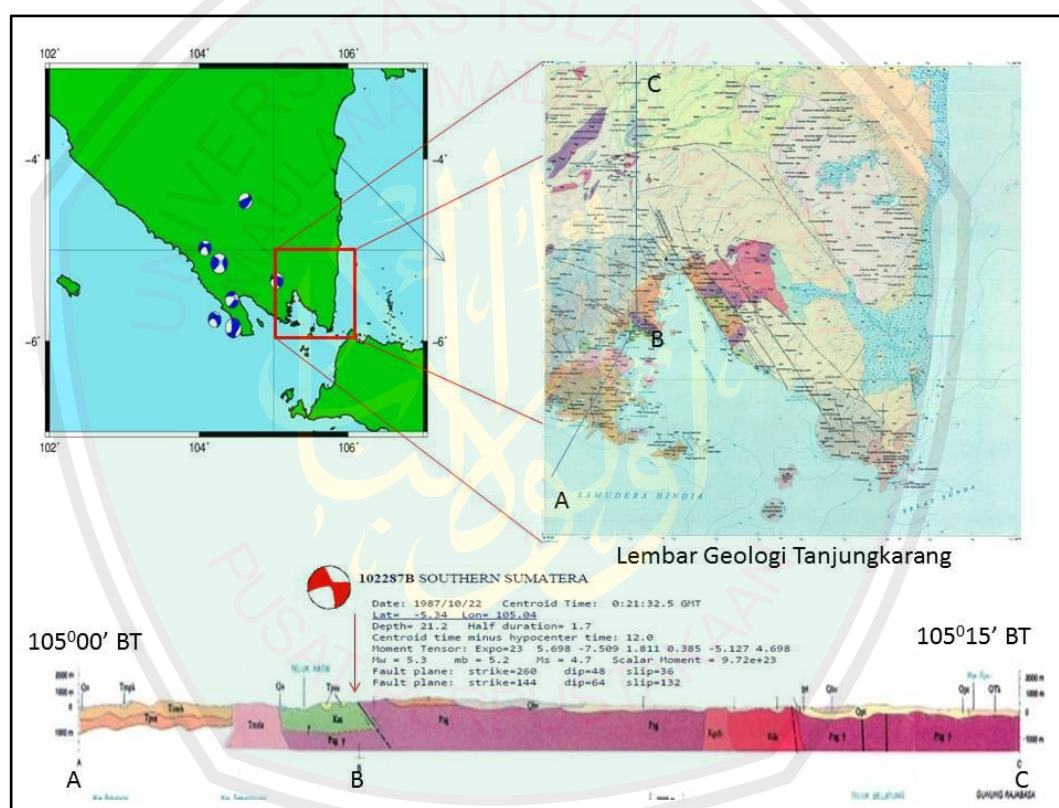
tidak dapat dipastikan berdasarkan bukti-bukti yang ada di lembar Tanjungkarang, dimana sesar-sesar yang lebih kurang berarah utara-selatan semuanya merupakan struktur-struktur tegangan.

Pola kompleks sesar-sesar yang teramati dan kelurusan kelurusan geologi potret yang terdapat di lembar ini, memberikan dugaan bahwa sesar-sesar tersebut tidak dapat berasal dari satu lapangan tegangan saja. Rupanya terdapat dua arah tegangan utama selama masa akhir Tersier. Pemampatan yang berarah utara-selatan bertanggung jawab atas gerakan mengangan disepanjang sesar barat laut-tenggara (dan gerakan mengiri disepanjang sesar-sesar timur laut-barat daya). Pemampatan yang berarah timur-barat bertanggung jawab atas sesar berbalik barat laut-tenggara yang terjadi kemudian (Holder 1990). Untuk sementara dapat diduga bahwa lapangan tegangan di Sumatra telah berubah, semula berarah utara-selatan kemudian berubah menjadi timur-barat. Tetapi waktu yang pasti terjadinya perubahan tersebut belum dapat ditentukan dan masih memerlukan studi rinci lebih lanjut, namun gerakan-gerakan awal sementara ditafsirkan berumur Oligo-Miosen dan yang kemudian berumur Plio-Plistosen.

Peneliti melakukan analisa hasil studi *focal* yang sudah dilakukan pada sub bab 4.2.2 Region IV sebelumnya, melihat terjadinya sesar oblique berorientasi barat daya-tenggara yang di dapatkan di wilayah barat pada lembar geologi Tanjungkarang ini, menurut data geologi pada bidang *cross section* A-B-C terdapat sesar naik. Akan tetapi menurut data Global CMT pada koordinat 5.34 LS dan 105.04 BT terdapat gempa dengan *moment*

tensor sesar oblique (Gambar 4.8), peneliti meyakini bahwa pada koordinat tersebut adalah sesar oblique, karena tidak terdapat kesesuaian data seismisitas pada tahun 1960-2000 yang merupakan sesar naik.

Selain gempa bumi yang dirasakan tersebut, pada area Region IV juga mendapatkan bahaya gunung api dan tsunami mengingat daerah selatan lembar ini sangat aktif dalam tektonik dan kegunung apian.



Gambar 4. 10 Lembar Geologi Tanjungkarang beserta *Moment Tensor*

2. Lembar Geologi Baturaja

Batuan tertua di Lembar ini tersingkap di pegunungan Garba, tempat Formasi Garba yang berumur Mesozoikum bersentuhan secara tektonik dengan batuan malihan berderajat rendah yang diduga berumur Paleozoikum Akhir. Rincian sebagai berikut, batuan gunungapi andesit-

basal berumur Jura Akhir-Kapur Awal, sedimen pelagos, serpen tintin dan satuan bancuh tektonik termasuk bongkahan batugamping, bersentuhan secara tektonik dengan sedimen-sedimen berfasies sekis hijau bawah. Batuan kelompok pertama ditafsirkan sebagai bagian dari runtunan samudra yang kemungkinan merupakan ofiolit yang terkarasikan pada tepian benua Mesozoikum di bagian barat Sumatra. Akresi tersebut kemungkinan terjadi pada awal Kapur Tengah dan seluruh runtunan dianggap setara dengan litologi serupa dari Pegunungan Gumai yang tersebar luas (Gafuer dkk, 1992).

Selanjutnya pada pertengahan Kapur Akhir, daerah Sumatra bagian selatan pada umumnya mengalami gangguan tektonik yang diikuti oleh kegiatan penerobosan granit yang luas dan pengangkatan regional Busur Barisan terjadi kemudian. Kegiatan tektonik tersebut ada hubungannya dengan lajur penunjaman utama di sebelah barat. Kegiatan tektonik berlanjut sampai Tersier Awal, dan persesaran bongkah regional yang terjadi mengakibatkan pembentukan cekungan sedimen berbentuk lonjong “en-echelon” di Lajur Busur Belakang, misalnya Cekungan Sumatra Selatan yang penting di Lembar ini. Dalam arti luas pengendapan di dalam cekungan-cekungan tersebut selama Paleogen bersifat genang laut diikuti oleh periode susut laut pada Neogen.

Kegiatan magma sangat menonjol selama Miosen Tengah, berlanjut sampai Pliosen. Pada Plio-Pleistosen terjadi periode penting berupa persesaran renggut mengangan di sepanjang struktur regional yang berarah

baratlaut-tenggara (De Coster, 1974).kegiatan gunung api selanjutnya ada hubungannya dengan peunjaman Lempeng Samudra Hindia yang terjadi di seluruh Busur Barisan selama Kuartar berupa curahan tuff, lava dan breksi gunung api yang bersusun riolit-basal. Pengendapan selama Holosen menghasilkan endapan aluvium dan rawa.

Hasil studi *focal* yang sudah di lakukan pada sub bab 4.2.2 Region IV sebelumnya, melihat terjadinya sesar geser berorientasi barat daya-tenggara yang di dapatkan di wilayah selatan pada lembar geologi Tanjungkarang ini, dengan magnitude di atas 5, biasanya gempa ini sangat merusak karena gempa dangkal.

4.3. Analisa Data dan Pembahasan

Pulau Sumatra terletak di bagian barat gugusan kepulauan Indonesia, Luas pulau ini sekitar 473.606 Km². Secara astronomis Sumatra berada pada posisi 6°LU-6°LS dan antara 95°BT-109°BT. Dengan batas wilayah :

Sebelah Utara : Teluk Banggala

Sebelah Barat : Samudera Hindia

Sebelah Selatan : Selat Sunda

Sebelah Timur : Selat Malaka

Pulau Sumatera terletak pada batas lempeng konvergen antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatera. Konvergensi antar lempeng-lempeng ini sangat miring di dekat Sumatera.

Kondisi atau jenis tanah yang terdapat di Sumatra antara lain alluvial Hidromorfik Kuning, Organosol, Podsolik Merah Kuning, Podsolik Coklat, Latosol, Litosol, Andosol, dan ada beberapa jenis tanah lainnya yang juga tersebar di seluruh pulau Sumatra. Sumatra berada pada iklim tropis basah, dengan kondisi tersebut menyebabkan curah hujan yang banyak. Sehingga hidrologi di sana atau keadaan akuifer di Sumatra mudah ditemukan hampir disemua wilayah Sumatra.

Pulau Sumatra dicirikan oleh tiga sistem tektonik. Berurutan dari barat ke timur adalah sebagai berikut: zona subduksi oblique dengan sudut penunjaman yang landai, sesar Mentawai dan zona sesar besar Sumatra. Zona subduksi di Pulau Sumatra, yang sering sekali menimbulkan gempa tektonik, memanjang membentang sampai ke Selat Sunda dan berlanjut hingga selatan Pulau Jawa. Subduksi ini mendesak lempeng Eurasia dari bawah Samudera Hindia ke arah barat laut di Sumatra dan frontal ke utara terhadap Pulau Jawa, dengan kecepatan pergerakan yang bervariasi.





Sehingga struktur geologi yang terdapat pada daerah Sumatra berupa patahan atau sesar (*fault*.) Patahan atau sesar ini merupakan perpanjangan gaya yang ditimbulkan oleh gerakan-gerakan lempeng utama. Patahan atau sesar inilah yang akan menghasilkan gempa bumi di daratan dan tanah longsor. Akibatnya, bangunan yang ada di atas zona patahan ini sangat rentan mengalami runtuh.

Patahan atau sesar-sesar ini mempengaruhi resistensi atau kekuatan pada batuan yang dilewatinya, sehingga menyebabkan batuan-batuan menjadi rapuh dan mudah mengalami erosi. Apabila jenis batuan tersebut merupakan batuan





yang berpori (berongga), maka akan menimbulkan hal yang lebih fatal lagi. Curah hujan yang tinggi akan menyebabkan air hujan masuk ke dalam rongga batuan dan menyebabkan lama kelamaan batuan tersebut akan menjadi jenuh yang berujung pada terjadinya pergerakan massa batuan dalam bentuk blok besar yang menimbulkan tanah longsor, terutama daerah dengan kemiringan lereng yang curam.

Penelitian analisa sesar Sumatera di atas yang berdasarkan pada penggunaan metode *focal* didapatkan empat jenis sesar (*fault*) yaitu sesar mendatar, sesar naik, sesar turun, sesar oblique.

Tabel 4.5 Hasil Pengolahan Data Pada Zona Barisan

Bujur	Beachball	Jenis Sesar	Jumlah
95 ⁰ -105 ⁰ BT		Sesar geser /sesar mendatar (<i>strike slip</i>)	15
		sesar naik (<i>reverse fault</i>)	3
		sesar turun (<i>normal fault</i>)	1
		sesar oblique	5

Tabel 4.6 Hasil Pengolahan Data Pada Zona Busur Muka

Bujur	Beachball	Jenis Sesar	Jumlah
95 ⁰ -105 ⁰ BT		Sesar geser /sesar mendatar (<i>strike slip</i>)	32
		sesar naik (<i>reverse fault</i>)	68
		sesar turun (<i>normal fault</i>)	20
		sesar oblique	33

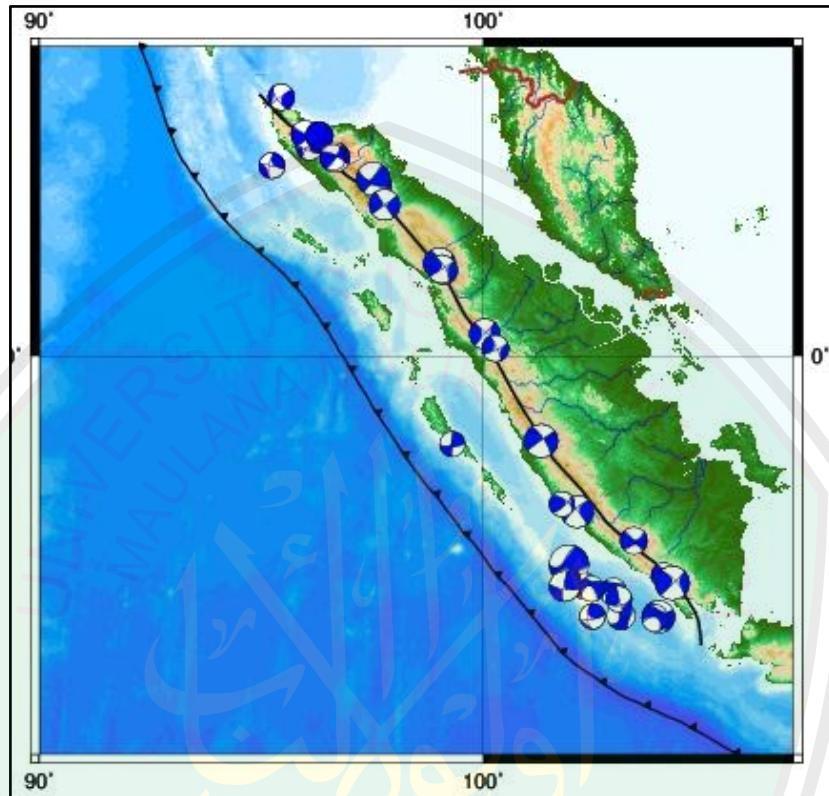
Berdasarkan dari hasil penelitian, jumlah kejadian gempa bumi yang terjadi di wilayah Barat Sumatera terdapat 181 kejadian gempa yang terseleksi berdasarkan kedalamannya yaitu pada kedalaman kurang dari 60 kilometer (gempa dangkal), peneliti membagi wilayah menjadi 3 Zona:

1. Zona Busur Barisan dengan jumlah 15 merupakan sesar geser, 3 sesar naik, 1 sesar turun dan 5 sesar oblique.
2. Zona Busur Depan Barisan dengan jumlah 32 sesar geser, 68 sesar naik, 20 sesar turun, dan 33 sesar oblique
3. Zona Busur Belakang Barisan peneliti pada Zona tersebut tidak memiliki data untuk dianalisa

Dari 181 kejadian gempa tersebut telah diteliti untuk di analisa karakteristik gempa-gempa yang ada di Zona Busur Muka Barisan, Zona Busur Barisan, dan Zona Busur Belakang Barisan. Pola persebaran gempa yang terjadi, dipresentasikan dengan melakukan pemetaan menggunakan GMT dan Arcview GIS dan memasukkan parameter lintang, bujur serta kedalamannya. Sesar-sesar dan persebaran kejadian gempa pada letak geografis 6° LU dan -6° LS, 95° - 105° BT. telah dijelaskan sebagaimana pada pembahasan di awal tadi, pada sub 4.2.2 (Region I,II,III,IV).

Tampak dari peta tersebut menunjukkan bahwa pada geografis 6° LS- 6° LU dan 92.75° BT- 100.75° BT sebagian besar pusat gempa tersebut tersebar membentuk pola memanjang ke arah selatan dan beberapa pusat gempa berarah timur laut–barat daya merupakan sesar mendatar dan juga berarah ke timur-barat dan barat laut–tenggara yang merupakan sesar bongkah. Peta tersebut menunjukan

bahwa pada geografis 6° LS- 6° LU dan 92.75° BT- 100.75° BT sesar yang paling dominan adalah geser.



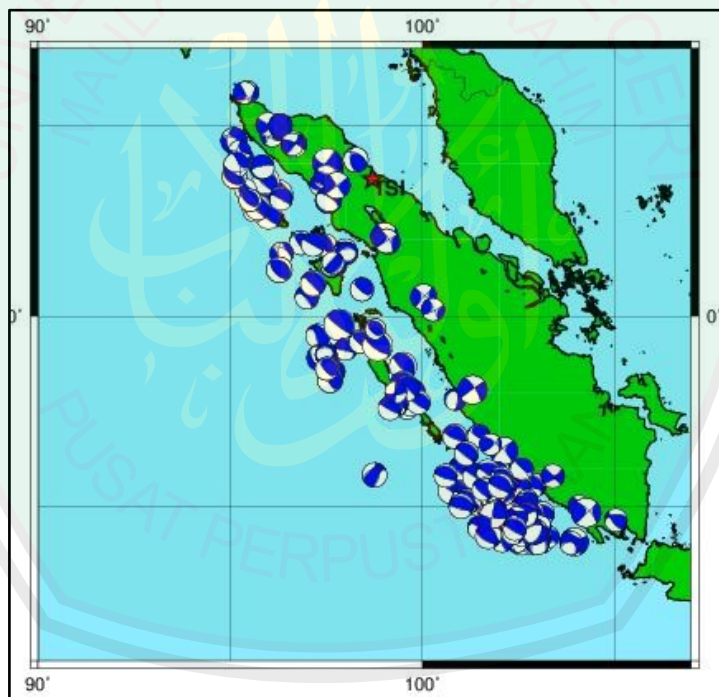
Gambar: 4.11 Peta Keseluruhan *focal mechanism* Zona Busur Barisan

Pada penelitian sebelumnya, Syarifah (2013) menerangkan bahwa Kenampakan dilapangan menunjukkan hubungan yang sangat erat antara sesar naik dengan banch, di beberapa tempat sesar itu merupakan batas antara satuan Banch dengan Formasi Topulasi. Sesar mendatar dan sesar Banch di daerah ini memotong sesar naik dan lipatan. Kegiatan tektonik ini mungkin diakibatkan oleh pertumbukan Lempeng Samudera Hindia dengan Lempeng Eurasia.

Pada Lintang 0° LS- 6° LS dan bujur 92.75° BT- 102.21° BT sesar yang paling dominan adalah sesar naik (*reverse fault*), dimana efek dari sesar naik menimbulkan penunjaman (subduksi) atau konvergensi. Konvergensi

mengakibatkan adanya dua lempeng tektonik yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo–Australia yang saling menumbuk satu sama lain.

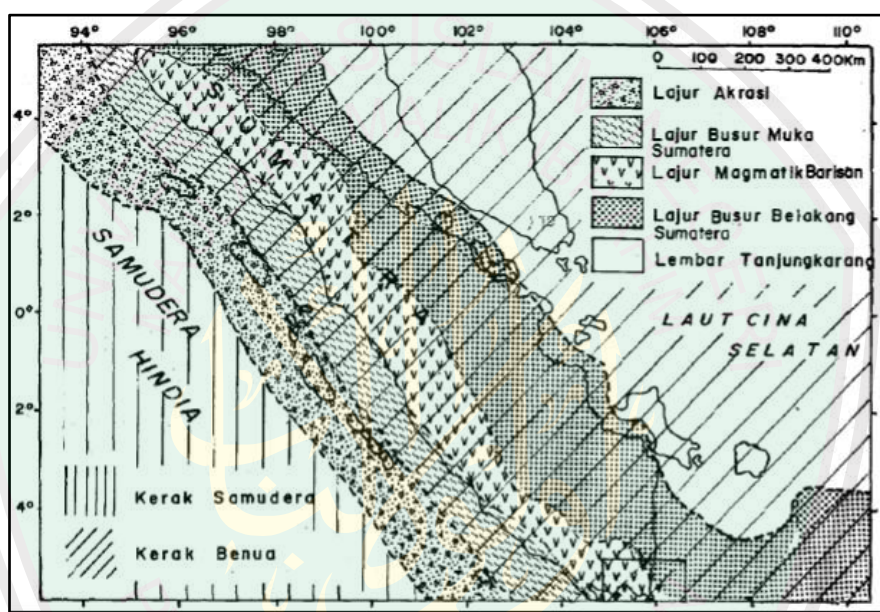
Pada lintang 5.74° LU– 5.78° LU dan bujur 92.75° BT– 102.75° BT sesar yang paling dominan adalah sesar turun (*normal fault*), dimana efek dari sesar ini menimbulkan pemekaran pada daerah tersebut. Pemekaran (divergensi) terjadi pada dua lempeng tektonik yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia yang bergerak saling *menjauh* ketika sebuah lempeng tektonik pecah, lapisan litosfer menipis dan terbelah.



Gambar 4.12 peta keseluruhan *focal mechanism* Zona Busur Muka, Zona Busur Barisan dan Zona Busur Belakang

Pada gambar 4.10 dan 4.11 mengkombinasikan pola-pola sesar, pada Busur Muka Barisan banyak sekali pola sesar naik, menandakan secara tektonik Sumatra bagian Barat di pengaruhi zona subdaksi Lempeng Samudra Hindia yang bertumbukan dengan Lempeng Benua Eurasia. Sedangkan pada Busur Barisan

banyak sekali pola sesar geser, menandakan bahwa daratan bagian tengah sumatra dikontrol oleh Zona Tumbukan Miring Lempeng Samudra Hindia dengan Lempeng Benua Eurasia. Pada bagian Busur Belakang Barisan peneliti tidak menemukan pola sesar dikarenakan secara geologi Busur Belakang Barisan jarang sekali terdapat gempa.



Gambar 4.11 Peta Mendala Sumatra (Andi, 1994)

Berdasarkan peta persebaran gempa diatas, gempa yang terjadi di sumatra berada pada tiga zona gempa, yaitu Zona Subduksi , Zona Sesar Mentawai, Zona Sesar Semangko. Ketiga zona gempa ini sangat aktif dan merupakan manifestasi dari tumbukan lempeng Samudera (*Australia Plate*) dari selatan dengan Lempeng Benua (*Asian Plate*) meskipun ada sedikit gempa yang berada di zona lain.

Zona subduksi ini merupakan zona tumbukan antara Lempeng Tektonik Australia dengan Lempeng Tektonik Asia. Bila zona gempa ini dangkal dan berada di laut akan menyebabkan tsunami seperti yang terjadi pada Tsunami Aceh tahun 2004 lalu. Zona gempa ini menjam sampai kedalaman lebih dari 70 km.

Zona tumbukan ini juga diperkirakan menyebabkan melelehnya batuan yang menjadi sumber magma gunung-gunung api sepanjang Sumatera, yang juga memanjang hingga ke Pulau Jawa.

Zona Sesar Mentawai, Zona ini berupa patahan naik akibat dari terpatahnya lempeng Asia atau juga disebabkan oleh terpatahnya batuan kumpulan (akresi) dari hasil tumbukan. Sesar Mentawai memanjang disekitar pulau-pulau Mentawai dari Utara Hingga ke Selatan. Diperkirakan tidak menerus tetapi terpotong-potong pada beberapa tempat. Gempa yang diakibatkan pergeseran patahan Mentawai ini seringkali dangkal. Diperkirakan Gempa Padang disebabkan oleh gerakan dari sesar Mentawai ini.

Zona Sesar Semangko. Zona patahan ini memanjang dibagian barat Pulau Sumatera. Memanjang sepanjang 1900 km. Seringkali berupa dua tiga paralel. Menyebabkan terbentuknya beberapa Danau di Sumatera termasuk danau Singkarak yang merupakan amblesan akibat pergeseran sesar ini. Gempa yang disebabkan oleh patahan ini dangkal dan merusak.

Dari penjelasan gambar 4.11 dan diperjelas dengan gambar 4.12 menunjukkan bahwa daerah-daerah yang termasuk rawan gempa adalah provinsi Aceh, Sumatra Utara, Padang, Pekanbaru, Bengkulu, Sumatra Selatan dan Lampung yang memiliki Pegunungan Barisan, terlihat jelas bahwa sesuai penjelasan diatas peta banyak tersebar mengarah ke barat daya Aceh hingga tenggara di Lampung yang melalui Sistem Sesar Sumatra (Semangko) terkena gempa.

b. Segmen Barumon

Ujung Utara Berada di Wilayah Sosopan Julu, Sumatera Utara, menyusuri Lembah Sungai Barumon. Bagian Selatan Segmen ini berada di Wilayah Provinsi Sumatra Barat. Panjang segmen 125 km dengan potensi kuat gempa maksimum pada segmen ini adalah M 7,6. Lembah Aliran Batang Asik dan hamparan lembah (depresi) Batang Sumpur di daerah Panti dan Sitompa hingga Sunpadang merupakan bukti dari adanya pergeseran vertikal berupa amblasan pada bagian segmen ini.

c. Segmen Sumpur

Segmen Sumpur di bagian Utara berujung pada sisi Selatan Depresi Sumpur, di Selatan Panti, kemudian menyisir Lembah Batang Sumpur ke Tenggara, Salabawan, hingga Bonjol, menyusuri S. Silasung. Panjang segmen 35 km dengan potensi kuat gempa maksimum pada segmen ini adalah M 6,9.

d. Segmen Sianok

Segmen ini memanjang dari sisi Timur Luat D. Singkarak, melewati sisi barat daya G. Marapi hingga Ngarai Sianok. Panjang segmen 90 km dengan potensi kuat gempa maksimum pada segmen ini adalah M 7,3. Gambaran secara umum keadaan fisiografi pulau sumatera ini sangat sederhana. Fisiografinya dibentuk oleh rangkaian pegunungan barisan disepanjang sisi baratnya, yang memisahkan pantai barat dan pantai timur. Lerengnya mengarah ke Samudera Indonesia dan pada umumnya curam. Hal ini mengakibatkan jalur pantai barat kebanyakan bergunung-gunung

kecuali dua ambang dataran rendah di Sumatera Utara (Maleboh dan Singkel/Singkil) yang lebarnya ± 20 km. Sisi timur dari pantai Sumatra ini terdiri dari lapisan tersier yang sangat luas serta berbukit - bukit dan berupa tanah rendah alluvial. Lebih lengkapnya akan di jelaskan sebagai berikut :

2. Elemen-elemen tektonis dan morfologi Sumatra sebagai berikut :

- a) Dataran alluvial terbentang di pantai timur.
- b) Tanah endapan/*foreland* tersier (peneplain) dengan pegunungan Tiga Puluh
- c) Depresi sub Barisan.
- d) Barisan depan/*fore* Barisan dengan masa lipatan berlebihan (over thrust masses).
- e) Scheifer barisan dengan lipatan yang hebat dan batuan metamorf.
- f) Barisan tinggi/*high* dengan vulkan-vulkan muda.
- g) Dataran alluvial tersebar dipantai barat.

3. Pulau Sumatera dapat di klasifikasikan menjadi 5 unit tektono struktural

- a. Pegunungan Sunda-busur Sunda (*Sunda Outer-arc Ridge*), terletak sepanjang tepi cekungan depan-busur Sunda (*Sunda Fore-arc Basin*), merupakan pegunungan non-vulkanik yang memanjang dari Laut Andaman hingga Jawa. Geologi unit ini diwakili oleh geologi Nias dan Pulau Simeuleu.
- b. Cekungan Depan-busur (*Sunda fore-arc Basin*), terletak diantara pegunungan luar-busur Sunda nonvulkanik (*Sunda outer – arc Ridge*) dengan pegunungan Barisan. Secara umum ada 2 cekungan depan busur

sunda, yaitu: cekungan Sibolga di barat Laut Sumatera, dan Cekungan Bengkulu di barat daya Sumatera.

- c. Cekungan Belakang-busur Sumatera (*Sumatera Back arc Basin*), merupakan unit yang terbentuk dari kumpulan cekungan-cekungan, seperti: cekungan Sumatera Utara, Cekungan Sumatera Tengah, dan Cekungan Sumatra Selatan.
- d. Pegunungan Barisan (*Barisan Mountain Range*), merupakan busur vulkanik yang umumnya berkomposisi batuan berumur Permian-Karbon hingga Mesozoikum.
- e. *Sumatera Intra-arc* atau *Intramontane Basin*, dipisahkan oleh pengangkatan subsekuen dan erosi dari bekas pengendapan sebelumnya. Unit ini meliputi Cekungan Ombilin yang memanjang dari selatan Solok ke arah Barat daya melewati Payakumbuh dengan jarak kisaran 120 km. Cekungan ini sangat dalam terisi oleh endapan sedimen tersier dengan umur Eosen hingga awal Miosen Tengah.

4. Arah struktur pokok dari pulau Sumatra

- a) Sisi barat Barisan Geantiklin terbentang disebelah barat jalur Semangko berada pada setengah Pulau Sumatera di sebelah selatan Padang tepatnya. Sisi baratnya terbentuk oleh blok kerang yang panjang dan miring ke Samudera Hindia, dan di sebut Blok Bengkulu.
- b) Gawir sesar sepanjang jalur semangko memisahkan pantai barat dan timur. Disebut juga Bukit Barisan *Sensu strict* atau barisan tinggi. Ujung selatan bukit adalah daerah Lampung.

- c) Di antara Padang Sidempun struktur geantiklinal Bukit Barisan tidak menentu. Geantiklin blok pegunungan yang memanjang di sisi timur, sama dengan daerah di sisi barat sungai subsekuen dan cabang-cabangnya.
- d) Batak Tumor yang merupakan lanjutan dari bukit Barisan yang berupa kubah geantiknal besar yang terpotong oleh jalur Semanko.
- e) Bukit Barisan di daerah Aceh adalah bagian teruwet pecah menjadi sejumlah pegunungan Blok, yaitu blok leuser dan pegunungan barat. Kedudukannya searah sisi barat seperti Blok Bengkulu.
- f) Di sebelah barat bukit Barisan terbentang palung antara sistem pegunungan Sunda yang membentuk cekungan laut antara Sumatera dan rangkaian pulau-pulau di baratnya.

4.4 Hasil Penelitian Dalam Pandangan Al-Qur'an

Dari hasil penelitian wilayah gempa daratan Sumatra, penulis berpandangan bahwa bumi ini selalu bergerak, pergerakan bumi atau lempeng bumi ini akan bertemu dan saling menindih satu sama lainnya, yang menyebabkan terjadinya gempa bumi. Dimana sebagai insan geofisikawan ulul albab harus mengerti tentang kejadian gempa bumi. Jauh sebelum adanya kemajuan teknologi Al-Qur'an telah membahas mengenai gempa bumi, seperti yang telah difirmankan oleh Allah SWT dalam surat Al-Zalzalâh ayat 1:

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا

“Apabila bumi digoncangkan dengan goncangan (yang dahsyat)” (Q.S Al-Zalzalâh: 1)

Bumi sebagai tempat berpijak para penghuninya ketika digoncangkan seolah semua makhluk hidup yang ada di atasnya merasa terancam nyawa dan keselamatannya. Bangunan hancur, pepohonan tumbang, air laut tumpah, hewan berlarian, dan manusia pun terkadang tidak bisa diselamatkan nyawanya. Mengingat demikian mendalam luka lara akibat gempa, maka ia telah jadi perhatian khusus setiap manusia.

Sebagian firman Allah SWT dalam surat Al-Fajr 21:

كَلَّا إِذَا دُكَّتِ الْأَرْضُ دَكًّا دَكًّا

“Jangan (berbuat demikian). apabila bumi digoncangkan berturut-turut” (Q.S Al-Fajr: 21)

Penggunaan kalimat *Ad-dukkatu* bisa dikatakan relavan dengan konsep

kegempaan saat ini. Benturan akibat pertemuan lempeng bumi merupakan penyebab utama terjadinya gempa bumi. Benturan inilah yang kemudian mengakibatkan getaran yang menimbulkan gelombang gempa yang menjalar ke semua arah di permukaan bumi.

Ayat Al-qur'an di atas telah menjelaskan secara umum bahwa kalimat "apabila bumi di goncangkan" pada ayat tersebut bermaksud merujuk kepada bencana alam Gempa bumi. Dan kata "dakka" menurut Quraish Shihab dalam bukunya tafsir Al-Misbah yaitu bermakna menghantam sesuatu dan menghancurkannya. Dalam pembuktian dalam ilmu Geofisika, proses tersebut yaitu kejadian alamiah pergeseran lempeng tektonik yang bergeser secara relatif satu sama lain pada waktu tertentu batas lempeng tersebut mengalami patahan (*Fault*) yang dapat menimbulkan gelombang gempa bumi tersebut.

Sumpah Al-qur'an di dalam surat At-Thariq ayat 12:

وَالْأَرْضِ ذَاتِ الصَّدَعِ ﴿١٢﴾

"Dan bumi yang mempunyai celah-celah (rengkahan)" Q.S At-Thariq: 12

Menurut pemahaman ulama klasik adalah tanah bercelah (Membelah) agar tumbuh-tumbuhan bisa tumbuh dengan baik. Namun, tatkala makna *ardi* di dalam Al-Qu'an mencakup tanah yang menutupi bebatuan di daratan, maka sumpah Al-Qur'an terkait dengan ayat "Demi bumi yang memiliki celah-celah" mempunyai makna Celah-celah batu karang daratan. Pada umumnya patahan bumi terletak pada kumpulan yang seimbang dan menyilang di dalam dua arah atau lebih, meskipun ada yang tidak mempunyai arah tertentu yang biasanya sedikit dalam.

Begitu juga dengan patahan kerak bumi terjadi karena pendinginan magma batu karang yang mendorong dari dalam bumi yang terdekat dengan permukaan di dalam luapan vulkanik.

Gempa dalam Al-Qur'an berkaitan dengan Azab, karena suatu musibah seperti gempa bumi bermakna sebagai hukuman Allah SWT bagi orang-orang yang berdosa. Musibah juga bermakna sebagai ujian bagi orang-orang yang beriman, musibah pun bermakna peringatan Allah SWT bagi orang-orang yang selamat. Ujian adalah bagian dari orang mukmin, baik ujian susah maupun ujian senang, manusia selalu diuji imannya. Dengan ujianlah maka akan tampak siapa imannya benar dan siapa yang imannya dusta.

Untuk kita yang selamat dari musibah, sejatinya kita sedang diberi peringatan oleh Allah SWT agar kita segera ingat kepada-Nya dan melakukan evaluasi untuk memperbaiki diri.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Jenis sesar yang terjadi pada Sumatra adalah sesar geser, sesar oblique, sesar naik, dan sesar turun. Dilihat dari data gempa 181, kejadian gempa berdasarkan pada kedalaman < 60 km (gempa dangkal). Di peroleh pada Busur Muka Barisan banyak sekali pola sesar naik, menandakan secara tektonik Sumatra bagian Barat di pengaruhi zona subdaksi Lempeng Samudra Hindia yang bertumbukan dengan Lempeng Benua Eurasia. Sedangkan pada Busur Barisan banyak sekali pola sesar geser, menandakan bahwa daratan bagian tengah sumatra dikontrol oleh Zona Tumbukan Miring Lempeng Samudra Hindia dengan Lempeng Benua Eurasi. Pada bagian Busur Belakang Barisan, peneliti tidak menemukan pola sesar dikarenakan secara geologi Busur Belakang Barisan jarang sekali terdapat gempa.
2. Pada Cross Section dengan kedalaman antara 30-50 km diduga ada batas lapisan antara Lempeng Mikro Sunda dengan Lempeng Benua Eurasia karena dilihat dari penampang 2 Dimensi, pada kedalaman tersebut banyak sekali seismisitas yang membentuk suatu pola batas, karena itu perlu kajian lebih lanjut untuk meneliti batas lempeng tersebut, apakah Lempeng Mikro Sunda bergeser di atas Lempeng Benua Eurasia.
3. Pada analisa data gempa dan data geologi terdapat kesesuaian wilayah yang terdapat sesar naik dan sesar geser menurut koordinat dari Global CMT.

5.2. Saran

1. Kepada masyarakat yang bermukim di sekitar pegunungan Barisan. Untuk lebih mewaspadaai akibat dari gempa dangkal yang bisa datang setiap saat,. tanggap bencana diperlukan agar masyarakat paham akan kondisi geologi daerah masing-masing.
2. Untuk akademisi khususnya mahasiswa dalam pengkajian lebih lanjut terhadap potensi bencana gempa bumi dan dampaknya disuatu daerah diperlukan kajian tentang topografi suatu wilayah dan dibagi berdasarkan lembar geologi, agar lebih fokus dalam pengklarifikasi sesar berdasarkan formasi di setiap lembar geologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Basid. 2005. *Mengapa Sumatra Sebagai Daerah Gempa Aktif (Kajian Studi Tektonostatigrafi dan Paleomagnetik)*. Jurnal Ulul Albab Vol. 105. No. 2005. Malang: UIN Malang Press
- Abdushshamad, M. Kamil. 2002. *Mukjizat Ilmiah dalam Al-Qu'an*. Jakarta: Akbar Media Eka Sarana
- Aldiss, dkk. 1983. *The geology of the Sidikalang Quadrangle, Sumatra*. Bandung: PPPG
- Bormann, Peter. 2002. *New Manual Of Seismology Observaty Praticce*. Postdam: GeoForschung Zentrum Postdam
- Cameron, dkk. 1983. *The Geology of the Takengon Quadrangle, Sumatra*. Bandung: PPPG
- Clarke, dkk. 1982. *The Geology of the Pekanbaru Quadrangle, Sumatra*. Bandung: PPPG
- El-Naggar, Zaghoul. 2010. *Selekta dari Tafsir Ayat-Ayat Kosmos dalam Al-Qur'an jilid 3*. Jakarta: Shorouk International Bookshop
- Gafoer, dkk. 1994. *Geologi Lembar Baturaja, Sumatra*. Bandung: PPPG
- Hall, R. & Blundell, D.J. (eds) 1996. *Tectonic Evolution of Southeast Asia*. Geological Society. London. Special Publications. 106. Diakses tanggal 2 April 2014
- Hall, R. 1996. *Reconstructing Southeast Asia. Tectonic Evolution of Southeast Asia*. Geological Society. London. Special Publications. 106. 153-184. Diakses tanggal 2 April 2015
- Hamilton, W. 1979. *Tectonics of the Indonesian Region*. United States Geological Survey Professional Paper 1078. Diakses tanggal 2 April 2015
- J.A. Katili dan P.Marks. 1963. *Geologi*. Bandung: Kilat Madju
- Mangga, S. Andi, dkk. 1994. *Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatra*. Bandung: PPPG
- Natawidjaja, D.H. 2007. *Gempabumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam*.

- Natawidjaja, D.H. 1994. *Quantitative geological assessments of Liwa earthquake 1994, Proceeding of Annual Convention of Indonesian Association of Geophysicists (HAGI)*. Diakses tanggal 2 April 2015
- Natawidjaja, D., Y. Kumoro, and J. Suprijanto. 1995. *Gempa Bumi Tektonik Di Daerah Bukit Tinggi - Muaralabuh: Hubungan Segmentasi Sesar Aktif Dengan Gempa Bumi Tahun 1926 & 1943*. in *Annual convention of Geotechnology LIPI*. Diakses 2 April 2015
- Shearer, M. Peter. 2009. *Introduction to Seismology*. Cambridge: Cambridge University Press
- Shihab, M. Quarish. 2002. *Tafsir Al-Misbah, Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an*. Vol. 10
- Simandjuntak. 2014. *Tektonika*. Bandung: Pusat Survei Geologi
- Soetoto. 2013. *Geologi Dasar*. Yogyakarta: Ombak
- Syarifah. 2013. *Studi Bola Focal dan Pemetaan Lokasi Gempa di Sepanjang Wilayah Barat Sumatra (Aceh Sampai Lampung) Tahun 1982-2012*. Skripsi
- Tapponnier, P. Peltzer, Le dain, a.y., Armuo, r. & Cobbold, P. 1982. *Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine*. *Geology*. 10. 611 - 616. Diakses 2 April 2015
- Triton. 2009. *Mengenal sains Sejarah Bumi dan Bencana Alam*. Yogyakarta: Tugu Publisher
- Waluyo. 2013. *Diktat Kuliah Seismologi*. Yogyakarta: Universitas Jogjakarta
- Yulianti, Ria Catur. 2010. *Rekayasa gempa*. UMB: Pusat Pengembangan Bahan Ajar
- <http://google.image.com> diakses pada tanggal 2 April 2015
- <http://mrirsyad.tumblr.com/post09> diakses pada tanggal 2 April 2015
- <http://raga-bhumi.blogspot.co.id/2013/05/membuat-focal-mechanism-dari-global-cmt.html> diakses pada tanggal 1 Oktober 2015

Lampiran 1

Data gempa darat Sumatra dari ISC (International Seismograf Center)

Tanggal	Waktu	Lintang	Bujur	Kedalaman	Magnetude
8/4/1994	2:36:55 AM	5.911	95.0993	33	4.5
9/21/1996	5:04:21 PM	5.8883	95.1572	41.6	4.6
2/9/1986	3:16:26 PM	5.8646	95.054	43.4	4.3
1/19/1986	5:40:24 AM	5.8508	95.0686	33	4.4
7/22/1996	3:49:08 PM	5.838	95.2903	37.3	4.9
1/19/1986	4:49:33 AM	5.8232	95.195	31.5	4.6
7/19/1996	3:41:29 AM	5.7998	95.2372	33	4.6
7/19/1996	5:34:23 AM	5.7431	95.271	26.5	4.5
7/23/1996	3:05:21 AM	5.7174	95.2081	3	4.4
7/19/1996	7:13:17 AM	5.7075	95.3202	33	4.2
7/5/1985	11:10:16 PM	5.6782	95.5063	15.1	4.9
12/3/1965	7:06:18 AM	5.64	95.3	60	4.6
10/17/1996	6:20:41 PM	5.5952	95.3275	33	4.3
7/23/1996	3:16:50 AM	5.5595	95.1583	33	4.4
2/19/2000	10:42:49 PM	5.382	95.947	33	3.7
10/8/1984	8:57:00 PM	5.2956	95.6767	33	4.4
12/17/1975	5:35:21 AM	5.2463	95.8341	39.9	5.6
5/4/1996	1:52:53 PM	5.1147	95.2317	33	3.9
12/5/1968	9:01:28 AM	5.1	95.87	49	4.9
5/15/1983	5:43:32 AM	5.0075	95.5671	33	3.7
8/17/1965	10:35:05 AM	5	95.88	40	5.5
6/5/1969	10:45:46 AM	4.9	96.26	52	5.1
9/12/1979	9:52:14 PM	4.8741	96.2022	33	3.9
1/1/1995	12:18:13 PM	4.8595	96.2485	45.4	4.6
4/14/1966	4:33:30 PM	4.8	96.18	31	4.9
7/30/1989	7:14:40 PM	4.7983	96.0059	40.5	5.2
4/2/1982	6:25:56 PM	4.7752	96.256	37.5	4.1
10/29/1979	5:37:10 AM	4.7482	96.7665	49.6	4.3
9/6/1989	4:04:43 PM	4.7454	96.1064	35	4.7
4/27/1997	5:37:19 PM	4.7182	96.1997	39.3	4.7
1/2/1983	3:33:58 AM	4.6843	96.5471	56.7	3.7
8/22/1988	6:24:59 PM	4.6685	96.1119	28.5	4.8
1/26/1980	10:00:56 AM	4.6623	96.4348	50.9	4.4
8/20/1987	12:22:55 AM	4.6579	96.4036	49.9	4.3
12/2/1989	5:36:33 AM	4.6516	96.1935	33	4.8
7/21/1988	5:51:17 PM	4.6258	96.5514	33.7	4.9
3/11/2000	12:55:47 AM	4.617	96.046	33	4.1
9/13/1965	4:02:41 PM	4.6	96	33	4.7
11/23/1965	11:39:44 AM	4.6	96.3	33	4.5
7/18/1984	12:10:30 PM	4.5816	96.9156	52.9	3.5
2/10/1985	7:38:34 AM	4.552	96.0781	33.4	3.9
7/19/1996	9:59:26 PM	4.55	96.26	0	3.7

9/30/1986	11:52:19 PM	4.5197	96.5275	45.2	3.9
9/8/1986	2:39:53 AM	4.5012	96.4437	44	5.1
11/13/2000	3:38:05 PM	4.486	96.592	45.8	4.3
2/26/1997	11:58:22 PM	4.4694	96.0391	30.5	4.4
12/7/1986	6:40:23 AM	4.4382	96.5833	43.3	4.5
2/10/1970	9:00:59 PM	4.42	96.42	24	4.6
10/21/1997	4:43:06 AM	4.4115	96.8191	55.5	4.5
6/25/1969	7:24:50 AM	4.36	96.47	33	5.2
9/27/1986	6:45:21 PM	4.3533	96.7729	51	4.3
8/20/1997	7:15:14 AM	4.3081	96.5056	24.7	5.7
9/12/1990	9:42:27 AM	4.3076	96.356	33	5
9/17/1997	4:16:33 AM	4.2853	96.6011	45	4.7
12/18/1996	2:21:12 AM	4.2734	96.6029	14.2	4.3
10/26/1981	5:41:10 PM	4.2669	96.5023	47.8	4.2
2/17/1996	1:38:08 AM	4.2451	96.5535	33	3.8
7/19/2000	7:11:12 AM	4.243	96.311	50	4.8
5/17/1990	6:54:11 PM	4.2227	96.0099	33	4.8
3/11/2000	1:05:52 AM	4.16	96.74	0	4
5/17/1997	2:57:12 PM	4.1165	96.8194	33	3.7
12/5/1969	9:53:57 AM	4.1	96.5	55	5
1/25/1992	12:09:24 AM	4.1	96.9	35	3.2
2/25/1977	1:10:58 PM	4.0944	96.898	33	4.6
1/7/1976	1:08:35 PM	4.0734	96.328	54.9	5.1
10/23/1999	6:18:56 PM	3.985	96.001	58.2	4.4
1/22/1990	5:26:12 PM	3.9188	96.1281	53.3	6
4/3/1964	4:12:40 AM	3.91	96.56	51	5.8
3/4/2000	6:13:21 PM	3.896	96.416	33	4
4/9/1967	1:11:11 AM	3.85	96.1	33	4.9
6/9/2000	10:57:11 PM	3.811	96.132	33	4.1
6/20/1976	9:34:32 PM	3.6909	96.8893	33	5
7/11/1976	12:21:13 PM	3.6703	96.8595	54.1	5
6/20/1976	9:26:40 PM	3.6452	96.8068	0	5.1
1/21/1983	10:15:53 AM	3.6177	96.1902	33	3.6
6/30/1976	11:28:15 PM	3.5873	96.6843	33	4.3
6/23/1976	2:28:07 AM	3.5645	96.4511	0	4.6
8/16/2000	1:49:31 PM	3.5519	96.9622	33	4.2
6/20/1976	10:40:50 PM	3.5338	96.5434	33	5.2
10/30/1976	9:24:43 AM	3.5234	96.3362	28.9	5.5
6/2/1995	11:29:08 PM	3.514	96.4351	40	4.9
6/20/1976	11:11:38 PM	3.5124	96.6257	0	5
12/5/1992	3:22:13 AM	3.5	96.2	21	3.2
6/2/1972	10:50:45 PM	3.4868	96.6361	17.4	5.4
6/20/1976	11:55:00 PM	3.4842	96.4388	34.6	5.1
6/22/1976	3:23:58 PM	3.4736	96.3732	54.4	4.8
7/23/1976	12:42:40 PM	3.4714	96.3128	33	5.1
6/23/1976	7:34:46 PM	3.4711	96.5085	25.4	4.3
8/6/1992	7:42:55 PM	3.4698	96.5932	33	4.2

8/13/1995	10:47:25 PM	3.4645	96.2076	0	3.9
7/8/1987	11:20:42 AM	3.4574	96.2602	59.4	4.2
6/23/1976	1:07:56 AM	3.4498	96.5233	33	5
8/29/1976	3:13:03 PM	3.4442	96.4155	58.4	5.1
3/6/1999	9:11:53 AM	3.4391	96.8993	33	3.2
8/21/1976	12:46:24 PM	3.4361	96.1494	42.2	5
7/10/1976	9:17:26 AM	3.4305	96.4101	44.3	4.8
6/21/1976	7:17:31 AM	3.4285	96.4179	4.7	5.7
6/21/1976	12:21:29 AM	3.4242	96.3067	39.1	4.6
7/16/1976	2:51:13 AM	3.4222	96.4478	42	5
12/27/1991	2:45:02 AM	3.4204	96.4196	51.9	4.7
12/10/1987	7:22:45 AM	3.4165	96.4313	59.6	5.3
6/20/1976	10:39:02 PM	3.4162	96.6972	33	4.5
6/20/1976	8:53:09 PM	3.4022	96.2831	1	6.3
3/6/1992	9:03:05 PM	3.4	96.4	30	3.2
10/11/1976	6:30:02 AM	3.3912	96.2758	39.9	5.4
6/24/1976	8:21:45 AM	3.383	96.3825	42.5	5
6/20/1976	10:54:18 PM	3.3816	96.7686	33	4.6
6/5/1972	11:17:38 PM	3.3733	96.6157	56.6	4.7
6/21/1976	1:57:22 PM	3.372	96.1916	39	4.6
5/6/1974	10:32:37 AM	3.3498	96.8042	45.5	4.8
6/22/1976	11:59:05 AM	3.3492	96.1739	35.6	5.3
6/24/1976	5:59:33 AM	3.3479	96.3267	30.1	5.6
6/21/1976	9:11:05 AM	3.345	96.5332	54.5	5
8/1/1996	2:06:05 AM	3.3321	96.1798	42.2	4.8
1/26/1982	2:17:18 PM	3.33	96.1973	40.2	4.2
6/23/1976	9:15:16 AM	3.3295	96.5623	57	4.8
2/24/1982	22:39.9	4.3839	97.6532	49.8	
1/21/1997	55:10.4	4.38	97.54	0	
10/10/1992	34:52.6	4.2	97.4	12	
7/12/1976	42:18.8	4.1802	97.1868	10	
7/26/2000	37:46.4	4.1459	97.1072	15	
2/24/1982	46:35.0	4.1308	97.5903	33	
4/1/1980	21:46.8	4.1026	97.5536	24.1	
2/20/1990	46:44.2	4.0128	97.4037	56.9	
9/27/1997	02:09.2	3.9889	97.0971	33	
11/15/1990	48:13.1	3.9883	97.3359	38.8	
11/15/1990	47:22.7	3.9563	97.358	54.6	
11/15/1990	18:45.5	3.9391	97.2979	49.6	
2/24/1992	40:15.5	3.936	97.3475	21	
1/22/1975	12:26.5	3.9109	97.846	0	
11/18/1990	23:04.9	3.899	97.2639	49.5	
11/15/1990	34:30.1	3.894	97.4046	28.8	
12/2/1992	51:59.4	3.8478	97.6025	12	
11/18/1990	16:51.3	3.8195	97.5604	55.5	
3/18/1992	3:44:10	3.7	97.1	12	
1/5/1992	36:40.1	3.7	97.2	21	

4/26/1992	0:14:59	3.7	97.2	40
6/24/1961	35:54.8	3.6714	97.3382	20
12/31/1999	36:17.2	3.567	97.381	33
10/10/1996	21:02.8	3.4854	97.8767	19.7
4/1/1997	9:38:24	3.478	97.116	0
1/19/1966	45:26.2	3.43	97.45	33
1/7/1992	33:38.1	3.3104	97.9076	2
7/10/1997	21:41.8	3.2614	97.859	49.3
4/2/1992	56:12.2	3.1203	97.7884	30
10/10/1996	42:41.0	3.0399	97.7813	33
7/26/2000	54:19.2	3.0397	97.8439	33
8/12/1998	26:00.8	3.0912	98.7171	15
2/7/1992	37:13.6	3.0905	98.097	21
3/14/1999	13:45.3	3.0628	98.5651	2
2/10/1998	09:58.6	3.0579	98.1945	33
3/17/1998	36:21.2	3.0408	98.7847	15
6/4/1999	10:25.1	3.0347	98.4182	0
9/3/1998	39:39.2	3.0311	98.4494	33
2/8/1999	40:46.1	2.9796	98.2542	37.1
2/8/1999	39:48.5	2.9562	98.3847	2
6/6/1998	49:42.5	2.9181	98.6322	2
11/16/1997	11:46.6	2.9147	98.6218	33
2/22/1998	32:14.8	2.8929	98.8364	15
11/15/1997	00:53.1	2.888	98.5468	33
11/21/1997	4:24:52	2.8518	98.563	33
11/24/1997	1:45:22	2.8482	98.6951	33
11/14/1997	56:12.7	2.8437	98.4875	17.5
11/17/1997	2:06:59	2.8437	98.5596	33
10/31/1981	01:38.6	2.812	98.2735	55.3
12/17/1969	2:29:42	2.8	98.46	42
4/9/1992	00:38.0	2.7977	98.4546	2
11/21/1997	04:11.2	2.788	98.6004	15
5/21/1998	23:08:27	2.7868	98.4201	15
11/17/1997	24:08.8	2.7752	98.6769	15
11/14/1997	26:54.4	2.7543	98.4833	33
1/5/1992	07:06.6	2.7452	98.4234	8.9
8/19/1985	10:36.5	2.7398	98.6968	31.9
11/17/1997	52:18.2	2.7393	98.4521	43.6
11/24/1997	48:01.8	2.7381	98.67	15
11/22/1997	15:42.1	2.7355	98.4842	41.3
11/21/1997	15:53.4	2.7252	98.6991	33
11/18/1997	35:38.8	2.7191	98.5083	40.4
12/12/1997	22:13:47	2.7187	98.7756	15
11/22/1997	56:19.8	2.7169	98.6916	15
11/18/1997	43:36.6	2.7115	98.4727	33
11/11/1997	27:34.8	2.7086	98.5918	33
11/12/1997	29:07.8	2.7084	98.6298	15

6/5/1998	51:03.9	2.7066	98.6423	15
11/21/1997	36:58.5	2.6998	98.6246	20
11/22/1997	14:51.1	2.6908	98.712	4
11/20/1997	32:15.8	2.6895	98.4291	33
11/20/1997	25:08.4	2.6858	98.5757	48.8
11/17/1997	21:32.6	2.6797	98.7048	15
11/18/1997	15:34.2	2.6761	98.601	33
11/17/1997	14:23.7	2.6643	98.4614	45.3
11/20/1997	59:16.6	2.6575	98.4871	33
4/8/1984	54:46.4	2.6466	98.6035	21.2
11/25/1997	3:36:04	2.6412	98.4754	41.9
11/20/1997	40:29.4	2.6315	98.5361	44.9
11/11/1997	04:39.1	2.6281	98.6741	15
7/5/1998	20:01.6	2.6047	98.4312	15
11/14/1997	03:30.5	2.6038	98.4886	15
12/6/1997	28:33.7	2.5912	98.376	24.9
11/28/1997	46:26.4	2.5742	98.5857	15
9/24/1998	14:23.3	2.5726	98.0461	37.6
6/21/1998	47:47.1	2.5585	98.8879	9.6
1/11/1998	28:34.6	2.5535	98.0748	3.5
11/18/1997	30:14.9	2.5083	98.6174	33
11/23/1997	01:13.1	2.4755	98.6903	2
11/20/1997	14:11.5	2.4542	98.6734	2
12/25/1997	17:10.4	2.4383	98.7832	20.4
10/28/2000	27:05.9	2.3832	98.0955	33
3/30/1998	08:02.6	2.3821	98.8794	2
4/25/1987	22:10.4	2.3785	98.9213	29.9
9/21/1997	01:22.6	2.3705	98.947	17.2
8/7/1997	02:37.7	2.363	98.012	2
1/6/1999	59:59.9	2.3361	98.4386	33
12/11/1997	01:51.8	2.31	98.7973	33
4/21/1998	46:11.2	2.3022	98.9659	33
7/10/1998	54:05.2	2.2828	98.6897	33
9/3/2000	00:05.4	2.2739	98.3027	17.5
6/1/1998	10:37:03	2.255	98.2475	15
10/6/1992	53:40.6	2.2536	98.0198	60
12/26/2000	28:28.2	2.2994	99.5689	33
10/29/1997	44:38.0	2.2989	99.0387	10
6/20/1987	50:09.9	2.2736	99.3367	33
11/8/1982	27:31.0	2.248	99.4114	33
4/30/1987	20:08.0	2.2408	99.0475	44.8
8/2/1998	25:23.9	2.2078	99.6773	2
9/15/1998	26:08.8	2.1276	99.0088	20.3
12/11/1982	30:23.5	2.0559	99.266	33
4/28/1987	44:34.5	2.0382	99.0877	46.7
4/28/1987	32:28.4	2.0246	99.0815	6.5
3/8/1993	56:37.6	2.0018	99.371	33

9/14/1984	28:10.7	1.9974	99.3411	33
3/12/1998	33:06.2	1.9912	99.0127	2
9/12/1984	36:55.2	1.9854	99.3757	10
12/16/1997	02:49.8	1.9795	99.3087	3.9
9/20/1981	08:28.3	1.9757	99.4131	58.9
12/16/1997	15:44.1	1.9733	99.2977	3.2
12/16/1997	48:41.5	1.9618	99.2966	2.1
10/13/1988	23:43.0	1.9591	99.4746	33
3/9/1999	44:01.5	1.959	99.788	33
8/27/1984	26:58.1	1.9159	99.1894	53.9
8/20/1998	54:27.4	1.9105	99.4286	33
10/31/1997	41:01.1	1.9088	99.0829	2.1
9/9/1997	51:34.6	1.9004	99.0966	33
5/20/1965	06:53.4	1.88	99.2	42
9/4/1995	36:31.1	1.8722	99.0057	33
8/27/1984	41:28.2	1.8673	99.0997	40.3
12/6/1997	58:53.1	1.8669	99.3724	2.1
2/28/1992	39:10.9	1.8659	99.0364	21
9/22/1999	49:05.7	1.842	99.58	33
10/25/1992	38:28.3	1.834	99.0523	12.1
12/2/1992	11:28.8	1.8289	99.0219	22
6/19/1997	28:23.6	1.8238	99.1953	10.1
11/27/1997	56:01.2	1.8203	99.3037	2
5/30/1992	37:18.7	1.8189	99.1358	1
3/8/1982	50:22.5	1.8179	99.1776	33
10/28/1992	06:13.6	1.8075	99.1246	2.8
3/7/1992	19:19.1	1.7909	99.1079	3.4
9/29/1981	41:25.6	1.7895	99.2296	36.1
1/15/1998	09:51.8	1.7712	99.0073	15
2/11/1982	21:50.5	1.7436	99.1205	18
1/4/1992	03:23.8	1.7214	99.1612	10
11/15/1997	03:19.9	1.7068	99.1474	15
2/1/2000	16:40.5	1.695	99.461	33
2/1/2000	21:22.6	1.689	99.47	33
11/15/1997	59:35.4	1.6877	99.1288	15
10/27/1992	12:55.8	1.6703	99.0629	33
12/16/1997	13:41.1	1.6587	99.0846	15
12/16/1997	52:22.4	1.6575	99.0818	15
12/16/1997	41:01.4	1.6504	99.0779	15
11/15/1997	13:35.5	1.6434	99.1341	15
12/16/1997	14:43.0	1.6401	99.0712	15
1/23/1997	12:10.4	1.6321	99.3443	33
12/16/1997	36:35.9	1.6311	99.0597	15
5/27/1980	20:18.0	1.6291	99.7912	33
12/16/1997	23:20:18	1.6159	99.2147	33
12/1/1973	53:54.3	1.6091	99.6022	1.3
3/10/1976	41:32.5	1.6083	99.2939	41.5

1/25/1998	02:47.7	1.606	99.1392	15
2/26/1992	06:26.1	1.5985	99.1138	28
11/12/1992	44:36.5	1.5781	99.1134	5
1/23/1998	13:15.4	1.5386	99.2365	15
9/22/1999	22:57.2	1.507	99.107	33
12/23/1992	54:36.8	1.2741	99.3932	21
4/28/1981	45:48.4	1.212	99.0164	56.1
10/19/1989	11:01.3	1.2102	99.4677	42.8
12/22/1992	38:50.1	1.2017	99.4353	12
12/11/1992	24:31.2	1.2	99.9	2
5/1/1980	45:13.5	1.1446	99.6525	48.6
8/5/1998	21:51.9	1.1337	99.3249	15
3/8/1999	46:02.6	1.1029	99.4846	7.5
12/22/1992	22:19.7	1.0178	99.4612	0
11/17/1992	11:19.4	1	99.6	12
12/24/1992	1:17:25	1	99.8	1
12/24/1992	39:31.3	0.9411	99.5715	33
1/19/1987	52:02.9	0.9163	99.5642	33.7
11/14/1992	47:32.1	0.9	99.5	12
11/11/1992	54:49.1	0.9	99.8	21
12/1/1992	22:58:07	0.9	99.8	30
1/23/1987	21:13.1	0.8529	99.5552	33
3/27/1999	27:16.9	0.591	99.034	33
12/14/2000	02:19.8	0.472	99.813	21.5
10/24/1968	15:17.3	0.44	99.7	33
3/8/1977	17:29.8	0.4383	99.893	31.6
6/6/1984	26:13.5	0.4278	99.9508	52
8/5/1986	30:50.6	0.9307	100.0888	57.4
1/3/1996	20:31:15	0.92	100.41	0
11/20/1998	48:57.5	0.8339	100.2353	33
9/25/1993	33:25.1	0.7742	100.5928	33
10/24/1992	57:39.2	0.7	100.3	21
12/27/1992	7:57:10	0.5	100.5	2
6/20/1984	43:48.8	0.4411	100.0217	51.1
8/13/1986	32:00.6	0.4012	100.0441	33
5/31/1986	04:55.1	0.2226	100.3357	33
8/12/1986	09:07.7	0.1208	100.24	49.2
12/4/1994	01:07.7	0.0871	100.0531	33
3/9/1992	06:56.7	0	100.3	33
		-		
11/16/1992	00:47.0	0.0028	100.2061	42.2
9/9/1997	17:16:19	-0.018	100.1208	33
6/25/1995	25:19.6	-0.099	100.1185	33
4/18/1996	16:18.4	-0.18	100.09	0
		-		
12/4/1994	13:06.6	0.2306	100.0736	33
7/15/2000	57:09.4	-0.48	100.425	33

1/25/1997	17:55.9	-0.51	100.56	0
		-		
3/31/1982	36:26.0	0.6868	100.1791	60
		-		
7/24/1988	15:07.6	0.9175	100.3969	33
5/30/1997	21:05.6	-0.973	100.437	36.5
		-		
1/12/1996	54:55.3	1.0115	100.6663	0
9/25/1999	28:22.4	-1.047	100.244	33
		-		
3/20/1972	11:24.3	1.0691	100.2703	54.7
		-		
3/8/1992	31:57.0	1.1283	100.1744	28
		-		
6/19/1998	29:28.9	1.1367	100.2351	33
		-		
5/14/1982	25:23.3	1.1788	100.1469	42.2
7/2/2000	29:52.5	-1.266	100.26	33
		-		
10/6/1998	07:02.7	1.3283	100.3197	44.9
		-		
5/8/1975	12:06.5	1.3285	100.8088	33
11/28/1997	29:00.5	1.0063	101.4759	15
10/20/1998	38:35.9	0.7337	101.5981	0
4/11/1996	15:25.1	0.7078	101.7776	33
10/16/1992	22:21.1	0.7	101.7	5
10/5/1997	49:05.2	0.5828	101.4578	0
8/21/1998	56:42.9	0.013	101.9887	0
		-		
3/8/1998	51:52.2	0.0397	101.5467	33
		-		
9/8/1997	26:36.5	0.0974	101.0645	15
		-		
12/8/1997	0:50:29	0.1591	101.308	0
		-		
7/8/1995	42:37.2	0.3382	101.2691	33
		-		
2/9/1999	37:02.2	0.3413	101.8788	0
		-		
1/31/1978	35:34.8	0.6568	101.8206	33
3/16/1996	41:13.3	-1.24	101.47	0
		-		
3/2/1999	05:48.9	1.4397	101.1963	0
		-		
5/8/2000	31:47.4	1.6945	101.8008	0
		-		
10/6/1995	21:04.2	1.7664	101.5961	54.4
4/8/2000	35:54.5	-1.809	101.836	33
9/22/1975	16:32.3	-1.858	101.746	37
		-		
10/6/1995	09:46.7	2.0096	101.5016	36.7

2/25/1996	29:57.4	-2.05	101.99	0
		-		
10/6/1995	16:26.4	2.1713	101.6788	23.9
		-		
10/19/1998	04:36.4	2.3299	101.7233	33
12/7/2000	04:42.3	-2.337	101.904	33
2/6/1999	01:31.3	-2.414	101.88	33
		-		
1/11/1983	27:35.1	2.5281	101.6878	25.1
		-		
8/17/1995	06:39.7	2.5887	101.9137	57.2
2/18/1999	35:58.8	-2.741	101.847	46.3
		-		
9/2/1974	33:17.4	2.7871	101.2103	60
		-		
9/2/1974	41:54.3	2.8495	101.1706	53.8
12/5/2000	28:01.5	-2.897	101.456	33
		-		
4/12/2000	48:00.2	2.9078	101.1157	0
5/13/1999	42:57.5	-2.939	101.324	33
9/2/1998	56:42.4	-2.978	101.4056	33
6/12/2000	28:09.6	-4.094	102.625	24.1
		-		
2/2/1992	37:15.4	4.1096	102.1486	54.7
		-		
6/7/2000	21:25.8	4.1104	102.6075	0
6/8/2000	31:42.8	-4.111	102.488	38.3
7/22/1969	59:10.3	-4.12	102.11	39
6/19/2000	21:56.7	-4.121	102.961	21
8/18/2000	37:41.3	-4.148	102.504	33
6/5/2000	53:13.1	-4.154	102.701	53.1
9/9/1966	12:04:34	-4.16	102.83	47
6/4/2000	14:42.4	-4.168	102.6	33
		-		
8/4/2000	52:06.2	4.1949	102.0162	0
		-		
7/29/1998	53:24.6	4.1965	102.1499	53.8
11/5/2000	50:37.8	-4.197	102.444	21.3
		-		
6/5/2000	53:37.8	4.1978	102.259	0
4/24/1999	41:59.0	-4.199	102.323	38.2
6/22/2000	35:35.2	-4.207	102.862	33
8/14/2000	22:10.3	-4.211	102.686	33
		-		
11/14/2000	51:40.4	4.2172	102.5933	29.5
6/10/2000	51:49.1	-4.218	102.342	54.3
		-		
3/18/1980	43:30.9	4.2434	102.0344	55.5
6/16/2000	08:30.8	-4.252	102.544	30.2
6/8/2000	42:18.2	-4.268	102.209	49.5

12/26/2000	48:40.1	-4.271	102.148	33
6/15/2000	02:07.7	-4.274	102.16	9.7
		-		
6/7/2000	51:02.6	4.2839	102.3517	0
8/26/2000	57:38.6	-4.293	102.261	33
		-		
11/20/2000	47:28.2	3.3724	103.546	0
6/19/2000	53:02.3	-3.419	103.657	33
9/14/2000	53:55.0	-3.507	103.162	33
5/16/1998	15:45.8	-3.513	103.3765	0
6/30/2000	04:03.0	-3.654	103.419	33
7/19/1996	48:45.5	-3.67	103.71	0
		-		
6/7/2000	12:39.7	3.7412	103.6741	33
		-		
6/16/2000	44:06.9	3.7446	103.5332	0
		-		
1/29/1986	56:35.7	3.8629	103.456	42.1
		-		
8/8/1998	59:59.3	3.8775	103.4191	0
9/22/2000	06:11.2	-3.942	103.819	33
10/10/1993	42:31.8	-3.991	103.6421	18.4
11/23/1965	02:05.8	-4	103.2	33
9/18/1999	52:34.3	-4.055	103.199	24.7
		-		
2/18/1998	02:31.8	4.0621	103.9058	0
		-		
9/5/2000	31:34.0	4.1468	103.8225	0
6/20/2000	30:26.1	-4.172	103.605	33
		-		
5/2/1990	39:55.5	4.1766	103.135	33
6/13/2000	02:39.0	-4.217	103.923	42.9
		-		
6/4/2000	49:39.3	4.3216	103.7537	0
		-		
10/30/2000	08:35.9	4.3462	103.2741	0
		-		
5/30/1998	04:03.3	4.3488	103.5094	33
8/17/1996	22:29.3	-4.37	103.71	32.3
2/17/1976	14:18.4	-4.406	103.1991	33
6/21/1998	22:51.3	-4.454	103.8181	0
		-		
12/29/1994	30:53.0	4.4711	103.0825	33
7/10/2000	00:00.7	-4.576	103.633	33
		-		
8/28/1992	34:51.5	4.5845	103.1674	33
		-		
6/8/2000	21:36.9	4.5938	103.4453	0
		-		
6/18/1979	47:54.5	4.5988	103.5732	33

8/16/1999	17:28.9	-4.621	103.259	33
7/16/2000	00:42.4	-4.645	103.323	32.3
		-		
6/12/2000	56:49.0	4.6461	103.1101	54.7
		-		
6/8/1996	57:23.5	4.6533	103.0692	33
		-		
6/11/2000	17:30.1	4.6621	103.1159	0
		-		
12/2/2000	54:34.3	4.6677	103.0996	0
		-		
12/17/1994	55:50.8	4.6855	103.2465	33
		-		
6/14/1982	41:04.4	4.6986	103.0378	58.5
		-		
11/1/1978	14:27.2	4.7092	103.4803	33
		-		
6/1/1992	20:39.0	4.7099	103.139	58.7
6/8/2000	25:14.7	-4.71	103.3698	0
		-		
7/17/1998	03:53.2	4.7137	103.0174	58.9
		-		
9/28/1991	57:25.7	4.7144	103.2403	33
		-		
6/6/2000	36:34.8	4.7553	103.108	31.4
5/12/1999	32:54.6	-4.757	103.093	37.1
11/22/2000	55:56.8	-4.77	103.355	33
		-		
1/11/1996	06:08.3	4.7729	103.6412	17.2
		-		
9/27/2000	21:42.3	4.7739	103.1362	56.5
		-		
7/29/1994	44:04.2	4.7808	103.1394	33
		-		
10/5/2000	43:30.1	4.7909	103.2088	0
2/1/1967	19:59.6	-4.8	103.11	60
		-		
9/8/1997	25:59.8	4.8056	103.0468	0
6/6/2000	35:34.9	-4.823	103.005	29.2
		-		
6/9/2000	44:12.9	4.8257	103.4933	42.3
		-		
3/11/1989	30:36.2	4.8394	103.1201	33
7/17/2000	23:47.2	-4.848	103.056	33
		-		
6/17/2000	14:08.2	4.8631	103.8813	39.6
		-		
10/8/1998	23:28.3	4.8801	103.0953	45
		-		
12/22/1991	15:42.3	4.8811	103.1721	58.9
		-		
4/7/1963	36:03.8	4.8842	103.2348	59.4

6/18/2000	35:44.5	-4.885	103.187	30.1
		-		
6/9/2000	53:44.4	4.8915	103.3447	0
		-		
6/7/2000	23:49.3	4.9041	103.8207	0
		-		
10/18/2000	30:28.5	4.9067	103.1502	58.6
6/6/2000	55:26.7	-4.92	103.6067	0
11/9/2000	15:28.9	-4.921	103.228	33
		-		
11/16/1997	18:15.9	4.9219	103.2035	55.5
		-		
11/5/1995	29:59.3	4.9264	103.2335	44.1
6/9/2000	24:36.7	-4.927	103.01	40.8
		-		
6/7/2000	08:13.9	4.9277	103.7102	0
		-		
6/5/2000	39:55.8	4.9291	103.652	31.1
		-		
7/14/2000	10:38.3	4.9296	103.9561	0
		-		
6/17/2000	11:18.1	4.9359	103.7131	37.4
		-		
4/22/1992	43:55.2	4.9456	103.5578	12
5/22/2000	51:56.5	-4.987	103.672	33
		-		
6/9/2000	51:05.7	4.9958	103.9584	0
		-		
2/14/1992	57:44.4	4.3358	104.109	33
10/4/2000	55:55.5	-4.554	104.1622	22.8
		-		
8/10/2000	01:15.2	4.6101	104.0868	0
		-		
9/26/1998	14:42:52	4.6197	104.1805	0
		-		
6/4/2000	44:03.4	4.6948	104.4531	25.2
		-		
11/22/2000	35:45.6	4.7248	104.6604	0
		-		
8/25/2000	25:51.4	4.7368	104.3789	0
6/12/2000	16:16.1	-4.797	104.226	33
8/15/1964	10:16.3	-4.8	104.6	49
		-		
6/15/1980	59:29.3	4.9048	104.7089	33
		-		
12/4/2000	06:57.1	4.9495	104.0635	31.8
		-		
9/12/1999	45:11.8	4.9621	104.5012	0
		-		
2/15/1994	07:44.3	4.9706	104.3283	23.1
		-		
11/5/2000	11:15.1	5.0213	104.3017	0

		-		
5/26/1981	18:03.3	5.0247	104.2373	58.6
11/23/2000	33:36.0	-5.098	104.194	33
3/19/1992	33:48.3	-5.1	104.1	12
7/12/1968	12:12.9	-5.1	104.2	48
8/15/1964	3:34:47	-5.2	104	12
3/20/1992	11:48.4	-5.2	104.2	2
3/20/1992	29:32.7	-5.2	104.3	2
3/20/1992	15:02:00	-5.2	104.3	2
		-		
2/15/1994	42:55.0	5.2076	104.407	33
		-		
10/22/1987	00:37.4	5.2859	104.7354	33
3/21/1992	42:01.4	-5.3	104.4	2
		-		
8/22/1983	58:30.0	5.3357	104.1254	49.3
6/23/1968	12:09.2	-5.5	104.7	32
		-		
12/30/1985	37:29.9	5.5103	104.1165	33
		-		
8/16/2000	52:26.7	5.5124	104.7005	0
		-		
12/29/1985	48:03.8	5.5522	104.6878	33
		-		
9/23/1995	05:50.2	5.5678	104.0741	50.7
		-		
9/12/1995	07:14.5	5.5893	104.5595	0
		-		
3/25/2000	31:09.8	5.5945	104.8962	0
		-		
3/13/1995	27:19.6	5.6239	104.3914	33
		-		
8/14/1995	56:44.5	5.6349	104.807	13.3
		-		
7/9/2000	46:17.2	5.6361	104.5448	0
		-		
10/22/1987	21:22.5	5.6764	104.261	43.8
		-		
1/3/1986	53:51.5	5.6915	104.2605	33
		-		
12/29/1985	22:57.7	5.7139	104.3791	33
		-		
12/31/1985	38:58.1	5.7229	104.3022	59.8
8/16/1966	43:25.5	-5.74	104.38	33
		-		
12/27/1985	38:53.6	5.7553	104.1824	25
		-		
2/5/1986	00:36.0	5.7646	104.2742	18.3
		-		
6/7/1994	31:42.1	5.7792	104.4633	41.1
11/8/1992	00:14.1	-5.8	104.2	35

			-		
12/28/1985	10:50.6	5.8034	104.2962	15	
2/15/1999	32:27.8	-5.81	104.4022	2	
			-		
12/28/1985	12:36.6	5.8141	104.1884	33	
			-		
6/8/1984	41:12.7	5.8251	104.0876	16.7	
4/6/2000	47:34.4	-5.834	104.011	33	
			-		
12/14/1984	45:14.5	5.8625	104.0607	18	
			-		
12/11/1994	25:46.5	5.8664	104.6171	50.7	
8/21/1965	04:20.4	-5.87	104.16	57	
1/22/1985	57:38.7	-5.877	104.5402	56.3	
			-		
2/20/1997	49:47.6	5.8822	104.746	33	
			-		
7/20/1986	41:37.0	5.8943	104.5024	33	
10/11/1986	38:43.5	-5.897	104.1739	33	
2/17/1966	20:45:46	-5.9	104.48	38	
			-		
1/9/1986	23:25.1	5.9235	104.0861	33	
			-		
3/13/1980	32:43.5	5.9652	104.1328	33	
1/12/1999	55:17.1	-5.975	104.465	42.5	
			-		
12/29/1985	39:13.6	5.9755	104.154	25	
			-		
12/19/1995	50:33.4	5.9898	104.3573	33	
			-		
2/21/1987	55:15.6	5.9922	104.8784	33	
			-		
6/21/1991	45:34.8	5.9971	104.8465	38.6	
4/23/1984	12:40:25	-5.3	105.7	33	
4/23/1984	12:46:32	-5.3	105.7	33	
3/22/1999	45:34.0	-5.302	105.225	33	
			-		
11/5/2000	37:46.9	5.3199	105.5654	0	
11/22/1965	2:50:34	-5.4	105.7	27	
			-		
6/8/2000	45:08.3	5.4739	105.3369	33	
9/23/1997	20:31.4	-5.489	105.7767	33	
2/12/1998	46:52.0	-5.504	105.3801	45	
			-		
1/17/1999	08:28.9	5.5517	105.9702	33	
8/18/1997	07:48.4	-5.596	105.678	33	
8/11/2000	53:32.3	-5.628	105.487	24.4	
7/31/1997	40:39.6	-5.632	105.879	33	
			-		
1/19/1991	28:26.8	5.6563	105.7453	33	

8/18/1997	11:04.9	-5.659	105.502	33
		-		
12/15/1990	55:53.1	5.6953	105.7531	33
10/15/1969	21:08:57	-5.7	105.56	54
		-		
12/21/1998	27:22.7	5.7222	105.1192	33
8/12/2000	47:23.6	-5.726	105.45	15.5
		-		
10/9/1998	06:43.3	5.7293	105.729	33
7/12/1999	18:32.0	-5.731	105.693	32.3
6/20/2000	34:49.4	-5.734	105.057	33
4/14/1970	27:53.6	-5.75	105.49	57
		-		
8/12/1985	51:52.3	5.7705	105.7762	33
		-		
2/29/1984	46:16.0	5.7725	105.3792	58.9
11/12/2000	58:36.9	-5.793	105.704	33
11/2/1964	9:18:02	-5.8	105.42	39
6/7/1966	22:18:57	-5.8	105.42	35
3/30/1968	19:58.9	-5.8	105.71	15
9/26/1968	06:56.6	-5.81	105.42	33
		-		
7/4/1971	02:54.9	5.8155	105.4013	57.5
11/10/1995	37:37.4	-5.825	105.6915	0
4/14/1970	7:47:31	-5.83	105.43	8
		-		
1/24/1991	46:08.7	5.8556	105.4588	33
		-		
2/13/1988	48:45.5	5.8573	105.582	55.7
		-		
9/5/1998	1:15:22	5.8653	105.1062	33
		-		
9/28/1972	00:38.4	5.8727	105.4311	35.5
		-		
10/3/1984	24:57.1	5.8732	105.5905	51.3
		-		
2/19/1971	25:37.7	5.8792	105.4544	33
2/4/1964	51:59.6	-5.88	105.29	0
5/17/1969	36:56.8	-5.91	105.35	33
		-		
10/1/1995	17:31.4	5.9152	105.4904	33
		-		
12/1/1998	25:00.8	5.9155	105.0378	33
		-		
9/18/1998	36:42.3	5.9197	105.5791	26.5
7/31/1997	09:44.2	-5.94	105.66	33
		-		
3/8/1989	22:35.9	5.9487	105.4022	40.6
4/30/1999	42:49.6	-5.955	105.835	33
5/11/1984	29:49.9	-	105.5721	33

			5.9699		
8/15/1998	30:47.5	-5.97	105.4029		46
		-			
3/14/1984	13:56.2	5.9707	105.0815		33
5/16/1992	30:50.1	-5.972	105.3484		18.3
		-			
3/21/1981	22:23.7	5.9741	105.5487		48.5
5/26/2000	21:37.5	-5.981	105.3312		33
		-			
10/17/1996	58:13.4	5.9919	105.4354		54
8/11/1999	28:30.3	-5.993	105.392		37.4
		-			
4/12/1985	05:06.0	5.9961	105.625		45.2
		-			
7/6/1995	43:12.2	5.9986	105.5476		56.1



Lampiran 2

Data *Moment Tensor* Dari Global CMT 1975-2000

96.24 3.18 19 2.43 -0.02 -2.41 1.12 -1.68 1.84 26 X Y 062076A
100.04 0.50 20 -0.31 -1.66 1.97 0.14 0.30 -0.16 25 X Y 030877D
101.69 -4.69 45 2.00 -1.26 -0.74 2.02 -1.24 1.00 24 X Y 052077B
98.43 0.70 40 0.92 -0.35 -0.57 1.69 -1.34 0.21 24 X Y 052377B
100.86 -2.18 51 -3.21 0.74 2.47 0.53 -4.34 1.52 23 X Y 062477B
102.10 -4.91 42 3.26 -1.96 -1.31 5.89 -3.23 2.45 23 X Y 062577A
101.66 -4.88 40 1.13 -0.99 -0.14 1.09 -0.78 0.73 25 X Y 111877B
102.45 -4.50 57 3.35 -3.89 0.54 4.18 -1.09 3.12 23 X Y 020878C
102.12 -5.75 15 1.03 -0.35 -0.69 1.82 -0.10 0.54 24 X Y 061278B
102.05 -5.49 15 1.64 -1.04 -0.60 4.28 -2.05 0.62 25 X Y 062478B
95.28 4.14 58 -2.35 0.01 2.33 2.49 -2.40 -3.19 24 X Y 121878C
100.76 -4.56 30 0.61 -0.23 -0.38 2.20 -1.51 0.42 25 X Y 011179A
96.14 4.88 15 4.33 -6.15 1.82 -4.41 0.74 -2.17 24 X Y 031679B
97.69 -1.45 15 0.50 -0.32 -0.18 0.69 -1.16 0.22 24 X Y 041979A
97.60 -1.68 15 2.78 -1.28 -1.49 2.78 -4.85 1.15 24 X Y 041979C
97.80 -0.46 15 0.19 -0.20 0.01 1.10 -1.13 0.13 24 X Y 050879A
97.48 -1.24 15 -4.31 0.34 3.97 4.11 1.99 -2.55 23 X Y 061379A
98.76 -4.16 29 2.50 -0.29 -2.21 -0.25 1.24 -2.91 24 X Y 071779A
101.42 -4.87 46 1.52 -0.80 -0.72 2.41 -1.59 1.06 25 X Y 111379B
102.12 -3.53 26 -1.01 -6.66 7.67 1.43 -1.43 1.19 25 X Y 121579A
101.94 -4.11 56 2.10 4.51 -6.61 6.40 -2.23 -0.35 23 X Y 031880A
97.60 3.90 48 0.09 -0.91 0.82 0.02 0.27 1.16 25 X Y 040180B
102.98 -5.80 29 0.73 0.50 -1.23 0.69 -3.26 -1.98 24 X Y 040380B
100.85 -3.15 32 1.98 -1.30 -0.68 3.01 -1.11 1.25 24 X Y 072380A
102.30 -5.50 20 0.64 -0.51 -0.13 1.28 -0.86 0.46 24 X Y 092080B
102.57 -5.87 30 2.36 -1.57 -0.80 4.07 -1.90 1.18 25 X Y 100880C
97.28 -0.52 15 0.80 -0.02 -0.78 0.47 -1.85 1.22 24 X Y 123080A
97.71 1.38 41 8.95 -6.88 -2.07 7.67 -5.65 5.82 24 X Y 011181B
102.59 -5.93 24 2.70 -2.27 -0.43 3.51 -1.39 1.59 24 X Y 011681B
98.27 4.10 11 5.59 -1.37 -4.22 -2.44 -2.37 3.79 24 X Y 022482A
101.93 -4.66 18 4.99 0.10 -5.09 -3.27 -6.57 2.03 23 X Y 031882A
96.85 1.92 15 1.83 -1.45 -0.38 1.40 -2.30 0.98 24 X Y 032282B
102.94 -5.10 20 1.04 -0.61 -0.43 1.53 -0.28 0.44 24 X Y 041582A
102.60 -5.38 46 2.62 -0.97 -1.64 2.44 0.39 2.19 24 X Y 061482A
96.34 1.64 19 -0.81 -0.25 1.05 0.16 0.40 -0.89 24 X Y 103182A
100.99 -3.99 56 1.14 -1.01 -0.13 0.56 -0.87 0.95 24 X Y 010483A
99.42 -1.53 27 0.94 -1.19 0.26 9.64 -2.54 0.85 23 X Y 052883B
95.10 4.60 45 -6.26 -0.26 6.52 9.01 -0.90 -9.73 24 X Y 091783B
101.49 -4.74 25 7.10 -1.41 -5.70 8.96 0.66 5.97 23 X Y 010584A
99.11 1.94 32 -0.02 -2.46 2.49 0.09 -0.47 1.57 24 X Y 082784A
97.84 -0.23 25 1.71 -0.67 -1.04 4.44 -3.34 0.94 26 X Y 111784A
103.91 -5.95 35 0.06 -0.82 0.76 0.38 -0.17 1.06 24 X Y 121484B

95.45 5.86 10 -1.26 -8.30 9.56 -3.32 -5.38 3.96 23 X Y 070585D
103.96 -5.91 20 0.10 -4.40 4.30 2.29 0.30 3.77 25 X Y 122785A
103.88 -5.94 25 -0.52 -5.64 6.16 8.22 -3.20 7.59 23 X Y 122985A
104.08 -4.98 33 -0.80 -4.11 4.91 2.48 -0.69 1.42 23 X Y 123185B
97.48 1.86 45 6.75 -1.41 -5.34 3.40 -1.21 4.58 23 X Y 061486B
100.28 0.17 15 -0.13 -1.05 1.18 0.14 0.40 0.95 24 X Y 081286C
96.09 4.74 22 0.09 -1.14 1.05 0.03 -0.66 -0.55 24 X Y 090886A
102.94 -5.34 48 0.37 -1.23 0.86 0.92 -0.34 0.55 24 X Y 020787D
99.02 2.09 22 0.05 -4.57 4.52 0.68 1.34 1.71 25 X Y 042587C
99.07 1.97 15 -0.46 -3.89 4.34 1.33 1.12 2.25 24 X Y 042887C
101.74 -5.02 28 2.76 -2.04 -0.72 4.59 -1.35 1.34 24 X Y 060487A
95.24 4.31 52 -1.26 -2.20 3.46 2.23 -1.29 -6.44 23 X Y 101487F
105.04 -5.34 21 5.70 -7.51 1.81 0.38 -5.13 4.70 23 X Y 102287B
102.70 -4.81 58 2.54 -2.43 -0.11 3.17 -0.71 0.32 23 X Y 022288B
97.53 -1.07 15 0.68 -0.15 -0.53 1.63 -2.13 0.50 24 X Y 052188A
101.92 -5.01 15 2.43 -4.61 2.18 5.70 -7.47 4.03 23 X Y 092388A
103.11 -5.88 34 0.98 2.39 -3.37 0.12 -2.56 -1.32 24 X Y 101088E
97.16 1.87 15 0.14 -0.04 -0.11 1.46 -0.82 0.11 24 X Y 122088A
101.12 -4.75 15 0.18 -0.21 0.03 1.01 -0.75 0.16 25 X Y 042889F
101.18 -4.86 15 1.92 -1.69 -0.24 2.88 -1.42 1.65 24 X Y 042889G
101.39 -4.21 15 0.21 -0.13 -0.07 1.17 -0.83 0.22 25 X Y 042889I
102.99 -5.47 33 6.02 -1.72 -4.30 -1.35 -2.81 5.42 23 X Y 042989A
101.01 -4.98 23 2.26 -2.68 0.42 2.98 -0.77 1.16 24 X Y 050189A
101.77 -4.93 44 1.01 -0.97 -0.04 0.66 -0.50 0.76 24 X Y 062989C
96.22 4.99 31 -0.26 -7.93 8.19 2.08 3.89 -1.33 23 X Y 073089C
95.92 2.66 51 6.67 -1.72 -4.95 6.34 -4.35 6.95 23 X Y 080289B
102.27 -5.32 15 0.55 -0.19 -0.36 0.43 -1.25 0.21 24 X Y 111489A
102.93 -4.43 33 8.72 -7.59 -1.13 7.68 0.04 8.43 23 X Y 122789A
95.93 3.55 50 1.84 -1.01 -0.83 1.08 -1.03 1.33 25 X Y 012290D
95.40 3.32 39 3.58 -0.42 -3.16 -1.95 0.71 2.59 23 X Y 073190C
98.01 -0.86 15 3.16 -3.47 0.30 6.40 -0.95 3.18 23 X Y 091290A
102.56 -4.23 54 3.14 -2.49 -0.65 2.94 -0.86 0.57 23 X Y 092690A
100.61 -4.18 15 0.85 -0.81 -0.03 1.01 -0.32 0.33 24 X Y 100990A
97.52 4.02 15 0.10 -1.03 0.94 -0.26 -0.38 -0.49 26 X Y 111590A
97.36 3.44 33 3.43 -3.93 0.50 0.39 2.37 2.85 23 X Y 111890A
97.49 3.64 35 1.19 -1.90 0.70 -1.12 0.45 0.68 24 X Y 111890B
102.51 -4.40 54 2.87 -3.41 0.54 2.71 -0.90 1.57 24 X Y 030591B
103.27 -5.78 37 3.47 -6.52 3.05 2.96 -1.29 0.49 23 X Y 061191G
99.50 -1.31 40 1.95 -0.49 -1.46 1.90 -1.95 1.28 25 X Y 070291D
95.83 3.90 42 -0.92 0.98 -0.06 3.03 0.66 -0.41 24 X Y 072391C
95.11 3.66 35 3.70 -2.56 -1.14 -0.05 0.28 1.62 24 X Y 080691A
101.70 -4.05 50 5.65 -7.28 1.63 4.22 -3.97 2.34 23 X Y 121791A
102.95 -5.29 55 1.13 -1.02 -0.10 0.62 -0.58 0.26 24 X Y 122291L
102.93 -5.88 17 2.84 -2.21 -0.62 7.77 -3.83 1.52 25 X Y 041892A
103.02 -5.50 15 0.26 -0.20 -0.05 1.65 -0.34 0.30 24 X Y 041892C
103.04 -5.79 43 1.56 -1.74 0.19 2.19 -1.90 1.31 24 X Y 062492D
102.86 -5.57 15 0.73 -0.30 -0.42 3.43 -2.08 0.34 24 X Y 080592A

102.99 -5.79 33 6.04 -3.58 -2.46 7.61 -3.31 -2.11 23 X Y 122592A
97.56 3.04 57 -1.16 0.83 0.33 1.21 -0.83 -0.38 25 X Y 012093B
101.91 -5.24 24 1.68 -1.71 0.03 3.58 -1.42 1.41 24 X Y 020893B
102.17 -4.43 58 0.95 -1.01 0.06 0.75 -0.39 0.37 24 X Y 042293B
99.51 -1.81 17 1.85 -1.48 -0.37 4.21 -1.92 1.14 25 X Y 080493C
95.92 2.85 15 0.96 -0.60 -0.37 2.18 -1.94 0.54 25 X Y 090193F
102.90 -5.80 37 1.37 -2.11 0.74 1.78 -0.78 0.97 24 X Y 092093F
98.00 1.73 41 6.70 -6.72 0.03 5.13 -6.26 4.16 23 X Y 110193A
98.41 -0.67 30 1.65 -1.34 -0.31 1.76 -1.60 0.67 24 X Y 010794D
104.27 -5.15 16 -0.07 -2.07 2.14 0.36 0.68 0.07 26 X Y 021594E
97.34 -1.09 15 -1.60 0.43 1.17 0.05 -0.10 -0.96 25 X Y 050294B
99.60 -2.38 30 1.73 -1.91 0.18 2.05 -1.78 1.06 24 X Y 050994C
99.60 -2.16 15 1.31 -0.94 -0.37 3.96 -3.16 0.81 25 X Y 051194C
99.40 -2.26 15 0.60 -0.45 -0.14 1.21 -0.90 0.36 25 X Y 051194F
99.71 -2.29 15 0.75 -1.62 0.87 5.01 -4.77 1.69 24 X Y 051794B
99.74 -1.98 15 1.88 -2.29 0.41 5.68 -4.55 0.53 24 X Y 051794C
97.50 -1.01 15 -4.59 3.46 1.13 -1.43 -1.66 0.02 23 X Y 072394A
101.47 -3.14 26 0.56 -0.44 -0.12 1.23 -0.84 -0.02 24 X Y 080594B
102.59 -4.03 15 -0.54 0.89 -0.34 1.23 -1.24 -0.61 24 X Y 092894D
96.00 2.63 37 1.08 -1.13 0.05 1.01 -0.89 0.68 25 X Y 103194B
102.47 -5.90 36 1.53 0.38 -1.90 3.84 -1.88 -3.81 23 X Y 011595A
97.65 1.32 33 -5.42 4.62 0.80 8.68 -8.34 -0.18 23 X Y 022695A
95.63 2.78 29 1.24 -0.90 -0.34 0.74 -0.70 0.82 24 X Y 031495D
95.62 2.91 49 3.22 -2.89 -0.33 2.73 -1.54 3.86 23 X Y 060395B
101.31 -1.93 17 -0.05 -1.30 1.35 0.37 0.17 0.50 26 X Y 100695F
102.97 -5.43 43 2.43 -1.95 -0.47 2.41 -1.14 1.39 25 X Y 110595E
95.72 2.85 35 3.38 -2.97 -0.41 2.78 -2.91 2.84 24 X Y 112295C
101.66 -4.72 40 1.16 -0.92 -0.25 1.27 -0.57 0.67 24 X Y 060596A
99.32 -2.26 15 1.75 -1.76 0.00 4.26 -2.52 1.17 24 X Y 080996A
99.30 -2.28 15 1.76 -1.84 0.08 2.47 -1.27 1.30 24 X Y 081096H
95.52 3.04 35 7.30 -3.46 -3.84 4.26 -2.39 3.17 23 X Y 091396D
95.38 5.85 33 0.03 -3.78 3.75 -1.96 4.69 1.93 23 X Y 092196P
97.78 3.43 23 -0.10 -2.54 2.64 -0.10 0.05 0.86 25 X Y 101096F
103.13 -5.17 56 1.21 -1.41 0.20 1.11 -0.34 0.54 24 X Y 121196E
98.03 1.65 33 -7.90 5.36 2.54 2.64 1.09 0.20 23 X Y 020897B
101.15 -3.60 35 1.50 -1.05 -0.44 1.58 -1.27 1.14 24 X Y 051097F
99.40 -2.21 31 0.70 -0.67 -0.03 1.00 -0.69 0.48 24 X Y 051897E
97.00 0.50 43 0.73 -0.78 0.05 1.24 -1.43 1.30 24 X Y 070797C
97.16 0.86 32 2.88 -2.00 -0.88 4.30 -4.69 2.48 24 X Y 070797D
96.66 4.50 15 0.35 -8.60 8.25 -3.06 0.46 -6.57 24 X Y 082097B
99.90 -2.26 32 1.04 -0.95 -0.09 1.08 -0.82 0.59 24 X Y 082597D
102.89 -5.31 50 7.20 -6.54 -0.66 3.94 -3.15 4.19 23 X Y 111697B
99.60 -1.90 15 -0.24 -0.81 1.05 3.44 -2.70 0.16 24 X Y 121897A
98.84 -0.78 42 2.16 -1.21 -0.95 2.12 -1.30 1.15 26 X Y 040198A
99.33 -2.30 25 0.38 -0.37 -0.01 1.52 -0.54 0.41 24 X Y 052998A
99.16 -2.42 16 0.56 -0.42 -0.14 1.44 -0.76 0.31 24 X Y 052998C
102.83 -5.13 42 2.48 -2.12 -0.36 2.44 -0.93 1.44 24 X Y 071798G

99.31 -2.00 33 0.64 -0.25 -0.39 0.43 -1.28 -4.65 23 X Y 082598B
102.81 -5.49 32 4.00 -3.26 -0.74 5.76 -1.52 2.00 23 X Y 120798D
101.87 -5.22 15 7.78 -5.63 -2.16 8.62 -6.03 4.74 23 X Y 122098C
101.83 -5.21 31 2.53 -4.52 1.99 5.19 -2.42 5.53 23 X Y 122098D
98.78 -0.34 32 2.39 -1.28 -1.11 0.85 -0.74 0.95 23 X Y 122298D
95.16 3.96 47 -2.99 2.29 0.70 1.09 -3.32 -4.60 24 X Y 020499F
95.98 5.02 15 0.10 -1.93 1.84 -0.75 0.43 -0.72 24 X Y 021599C
101.78 -3.36 37 1.61 -4.59 2.98 0.88 2.85 -0.39 23 X Y 021899A
96.32 3.08 24 0.18 -0.38 0.19 1.09 -0.64 0.05 24 X Y 022499D
102.06 -4.25 59 5.93 -4.96 -0.97 6.33 -6.72 3.05 23 X Y 042499B
102.08 -5.89 49 1.56 -2.05 0.49 1.51 -3.86 2.21 23 X Y 051999A
103.40 -4.19 42 0.15 -1.63 1.48 -0.27 0.29 0.18 24 X Y 091899E
97.68 1.40 34 3.20 -1.14 -2.06 -2.28 -2.37 -2.70 23 X Y 010600A
96.31 4.99 16 -0.00 -1.94 1.94 -0.87 0.56 -0.00 24 X Y 031000D
97.52 -1.38 21 1.12 -0.62 -0.50 1.05 -1.29 0.36 24 X Y 050800D
101.94 -4.73 44 3.85 -3.96 0.11 0.04 -2.72 -5.99 27 X Y 060400D
102.99 -5.91 15 -3.50 -0.70 4.20 4.05 1.85 -1.21 24 X Y 060500E
102.51 -5.55 37 3.15 -2.55 -0.61 2.80 -1.90 2.02 24 X Y 060500I
101.75 -4.49 34 1.04 -1.29 0.25 1.39 -0.84 0.87 24 X Y 060500O
102.31 -5.22 23 7.30 -7.20 -0.10 8.91 -3.62 3.71 23 X Y 060600D
102.51 -5.39 36 1.28 -1.00 -0.28 1.41 -0.90 0.85 25 X Y 060600F
101.82 -4.63 17 1.20 -0.09 -1.11 -0.23 -0.49 -0.09 26 X Y 060700D
103.07 -5.51 46 -0.25 -3.27 3.51 -0.73 5.68 5.61 23 X Y 060900F
102.62 -5.73 27 0.72 -0.14 -0.58 0.50 -1.54 0.40 24 X Y 060900G
102.38 -5.66 37 0.83 -0.52 -0.31 1.22 -1.52 0.77 24 X Y 060900H
102.33 -5.41 32 -3.15 2.18 0.98 7.82 -3.25 -1.87 24 X Y 060900J
101.86 -4.56 15 0.43 0.06 -0.49 0.58 -1.61 -0.18 24 X Y 060900O
101.49 -5.54 15 0.08 -0.52 0.44 1.78 -1.40 0.46 24 X Y 061100B
102.00 -5.19 51 2.43 -4.91 2.48 0.44 -4.61 -9.11 23 X Y 061100F
102.73 -4.82 15 2.05 -2.45 0.40 2.06 -3.32 1.08 23 X Y 061500B
102.60 -5.02 15 -0.25 0.14 0.11 8.01 -5.74 0.47 23 X Y 061500D
102.29 -5.22 60 3.67 -7.69 4.02 1.06 -0.87 -7.05 23 X Y 062000D
101.59 -4.54 32 6.34 -2.78 -3.56 3.00 -2.10 4.90 23 X Y 070500A
102.94 -5.64 31 -5.50 3.24 2.26 1.47 -2.58 3.99 24 X Y 070800C
96.62 4.50 15 1.28 -6.00 4.72 -0.33 2.46 -3.44 23 X Y 071900A
102.03 -4.45 46 2.61 -2.14 -0.47 2.61 -1.06 1.71 24 X Y 072200C
102.71 -5.20 15 0.64 -2.12 1.48 8.17 3.99 0.85 23 X Y 082500B
96.28 1.22 20 9.78 -5.36 -4.42 2.61 -3.47 4.79 24 X Y 090100C
101.92 -5.11 40 0.51 -1.37 0.85 1.42 -0.92 -7.22 23 X Y 090600B
101.72 -5.75 15 1.07 -0.61 -0.47 0.40 0.04 0.80 25 X Y 091200G
101.84 -5.22 33 0.01 -0.71 0.70 0.07 -0.67 -1.95 25 X Y 092200E
102.45 -5.28 33 -0.85 -3.49 4.34 2.64 -1.91 2.04 23 X Y 101800I
102.41 -5.57 15 9.01 -8.05 -0.96 9.98 -5.98 5.18 23 X Y 122800D

Lampiran 3

Pengolahan Data Dengan Software GMT (General Mapping Tool)

Instalasi Software GMT Pada Windows

Kali ini saya akan berbagi tentang cara menginstal software GMT (Generic Mapping Tool) pada Windows. Sebelumnya download dulu file-file berikut :

- GMT di <http://gmt.soest.hawaii.edu/projects/gmt/wiki/Download> , sesuaikan dengan Windows anda, apakah 32 bit atau 64 bit
- Ghostscript di <http://sourceforge.net/projects/ghostscript/?source=dlp> , ghostscript diperlukan untuk menerjemahkan bahasa postscript
- GSview di <http://pages.cs.wisc.edu/~ghost/gsview/get50.htm> , sesuaikan dengan jenis OS anda, GSview diperlukan sebagai graphical interface dari Ghostscript untuk Windows.
- gawk di <http://ftp.gnu.org/gnu/gawk/gawk-4.1.1.tar.gz> , gawk diperlukan untuk memproses data-data text files

Setelah file-file diatas didownload, sekarang saatnya kita instal. Langkah-langkah untuk menginstal adalah sebagai berikut :

- Instal software GMT, klik next saja dan finish, setelah itu restart komputer anda.



- Untuk memastikan GMT sudah terinstal dengan benar, bukalah command prompt (Windows + R, cmd), lalu ketikkan "psxy" tanpa tanda kutip. Jika GMT sudah terinstal maka akan muncul pengertian psxy dan opsi-opsi dari perintah psxy (psxy adalah salah satu tool di dalam GMT).

```

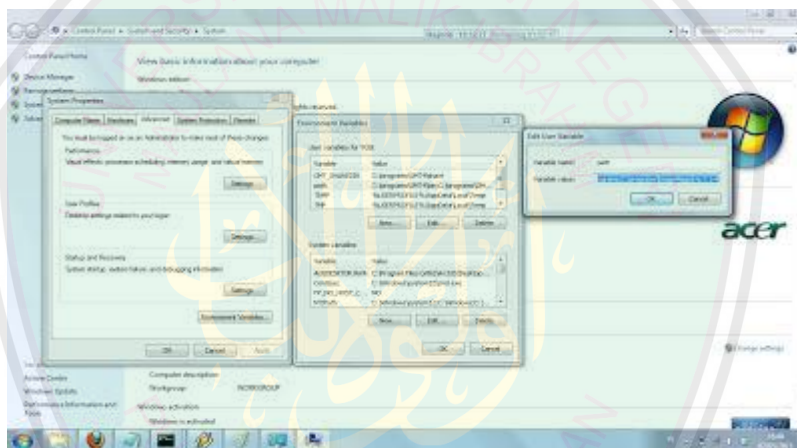
Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe

Give one or more columns (or column ranges) separated by commas.
Append T (Calendar format), t (time relative to TIME_EPOCH), f (plain
floating point)
x (longitude), y (latitude) to each col/range item.
-filolBx,y (geographic coordinates).
-g Use point separation to identify data gaps.
Append xIX or yIV to flag gaps in x or y coordinates, respectively, a
nd dID for distance gaps.
Upper case means we first project the points. Append <gap> and optio
nally a unit.
For geographic data, choose from n(e)ter (Default), (k)ilometer, (n)i
les), or (n)autical miles).
For gaps based on mapped coordinates, choose from (i)nc, (c)entimete
r, (n)eter, or (p)oints (e)l.
Note: For xiy with time data the unit is instead controlled by TIME_U
NIT
Repeat option to specify multiple criteria, and prepend + to indicate
all criteria must be met (any).
-m Input/output file(s) contain multiple segments separated by a record
whose first character is <flag> [!]
Use -mi or -mo to give different settings for input and output [Same]
<See gntdefaults man page for hidden GMT default parameters>

C:\Users\YOSI>

```

- Selanjutnya copy file gawk dan GSview ke C:\programs
- Buka Windows > My Computer > Klik kanan > Properties, pilih Advance System Setting, selanjutnya klik Environment Variables.
 - Lalu pada kotak User variables, pilih "path" > edit > variable value > tambahkan alamat ";C:\programs" > klik OK



- Untuk mengetesnya, buka command prompt, lalu ketikkan "gawk" tanpa tanda kutip. Jika sudah benar akan muncul opsi-opsi di gawk.

```

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe

Microsoft Windows [Version 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\YOSI>gawk
Usage: gawk [POSIX or GNU style options] -f progfile [--] file ...
Usage: gawk [POSIX or GNU style options] [--] 'program' file ...
POSIX options:
  -f progfile      --file=progfile
  -F fs           --field-separator=fs
  -v var=val      --assign=var=val
  -n[fr] val      --compat
  -U compat      --copyleft
  -U copyleft    --copyright
  -U dump-variables[=file] --dump-variables[=file]
  -U exec=file    --exec=file
  -U gen-po      --help
  -U help        --lint[=fatal]
  -U lint[=fatal] --lint=old
  -U lint=old    --non-decimal-data
  -U non-decimal-data --profile[=file]
  -U profile[=file] --posix
  -U posix       --re-interval
  -U re-interval --source=program-text
  -U source=program-text

```

- Selanjutnya pada C:\programs, installah software GSview yang sudah dicopy tadi (pilih running pada all program)

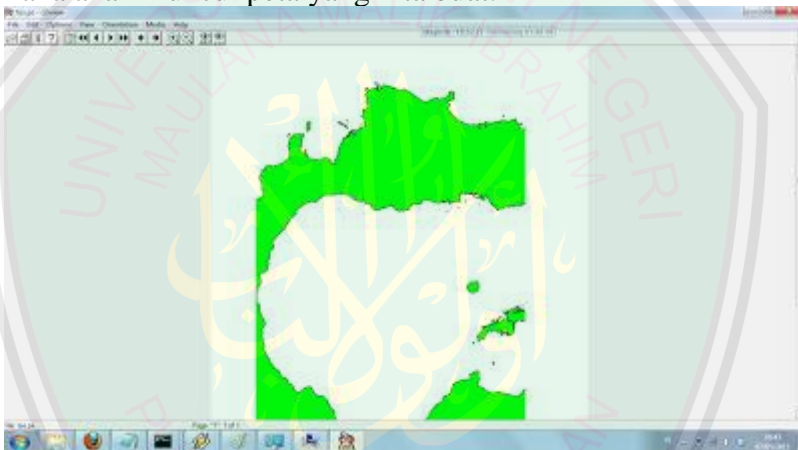
- Kemudian copy file Ghostscript ke folder C:\programs dan installah.
- Selesai. Untuk mengetesnya, ketikkan "pscoast -JM15 -R120/122/-2/2 -Ggreen -Dh -Wthin -P > tes.ps" pada command prompt.

```

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\YOSI>pscoast -JM15 -R120/122/-2/2 -Ggreen -Dh -Wthin -P > tes.ps
  
```

- Jika sudah sesuai, maka di folder Users akan muncul file tes.ps. Bukalah file tersebut, maka akan muncul peta yang kita buat.



Cara Bekerja Dengan GMT

Untuk bekerja dengan GMT, kita bisa menggunakan dua cara. Cara pertama yaitu dengan mengetikkan baris-baris perintah langsung di command prompt. Sedangkan cara kedua yaitu dengan membuat batch file berisi baris-baris perintah yang nantinya dapat kita eksekusi. Kelemahan cara pertama yaitu akan merepotkan jika kita membuat sebuah peta yang memiliki banyak overlay. Sehingga pada tulisan ini dan seterusnya, saya akan membuat peta dengan batch file. Untuk mengeksekusi batch file, bisa tinggal kita double click file tersebut atau bisa juga melalui command prompt.

Cara pertama, langsung pada command prompt :

```
Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\VOSI>pscoast -JM15 -R120/122/-2/2 -Ggreen -Dh -Wthin -P > tes.ps
```

Cara kedua, membuat batch file :

```
tes.bat - Notepad
File Edit Format View Help
pscoast -JM15 -R120/122/-2/2 -Ggreen -Dh -Wthin -P > tes.ps
```

Membuat Peta Sederhana

Untuk membuat peta Indonesia sederhana, buatlah baris-baris perintah berikut di notepad dan simpan dengan ekstensi “.bat”

```
pscoast -R90/155/-15/15 -JM25c -Ba20g10 -G245/245/200 -S140/235/255 -Dh -Lf100/-10/0/500 > map.ps
```

Setelah dieksekusi akan muncul file "map.ps" di folder yang sama. Bukalah file tersebut dan hasilnya akan seperti ini.



Arti dari baris perintah diatas adalah :

pscoast = file postscript dengan GMT berupa garis pantai. Secara umum, perintah-perintah GMT dimulai dengan "ps", misal : *pscoast*, *pstext*, *psxy*, *psmeca*, dll.

-R90/155/-15/15 = daerah yang akan diplot. Skala ini dalam derajat, sintaksnya – R(min x atau nilai bujur min)/(x max atau nilai bujur max)/(min y atau nilai lintang min)/(max y atau nilai lintang max)

-JM25c = mengontrol proyeksi peta dan ukuran. Dalam hal ini, proyeksi Mercator diterapkan dan ukuran peta adalah 25 cm.

-Ba20g10 = label sumbu (axis) setiap 20 derajat lintang dan bujur dan menarik garis grid setiap 10 derajat lintang dan bujur.

-G245/245/200 = mengontrol warna benua dan daratan lainnya. Nomor tersebut dalam skema RGB (merah)/(hijau)/(biru), bisa pula kita tuliskan *-Gyellow* atau warna lainnya.

-S140/235/255 = mengontrol warna laut, sungai, dan danau.

-Dh = mengontrol kerapatan garis pantai (density). Df : penuh; Dh : tinggi; Di : menengah; Dl : rendah; Dc : kasar

-Lf100/-10/0/500 = sintaksnya *-Lf <lon0>/<lat0>/<slat>/<length>*. Menampilkan skala peta sederhana berpusat pada *<lon0>/<lat0>*. Skala ini dihitung pada *<slat>* lintang. *<length>* ini dalam kilometer

> map.ps = hasil keluaran berupa file *map.ps*

Membuat Focal Mechanism dengan Global CMT

Kali ini saya akan berbagi cara mem-plot focal mechanism. Data seismisitas dapat kita peroleh dari Global CMT. Cara download datanya dengan mengisi parameter-parameter yang diminta, dan untuk output type pilihlah "GMT *psmeca* input". Jika sudah selesai, salinlah data yang muncul ke notepad dan disimpan dengan ekstensi ".gmt".

Berikut adalah contoh data yang didapat :

96.46 4.49 12 -0.05 -1.35 1.40 -0.87 -0.08 -0.38 24 X Y 201201011809A

99.12 -0.71 25 0.95 -0.42 -0.52 4.46 -0.79 0.73 23 X Y 201201052314A

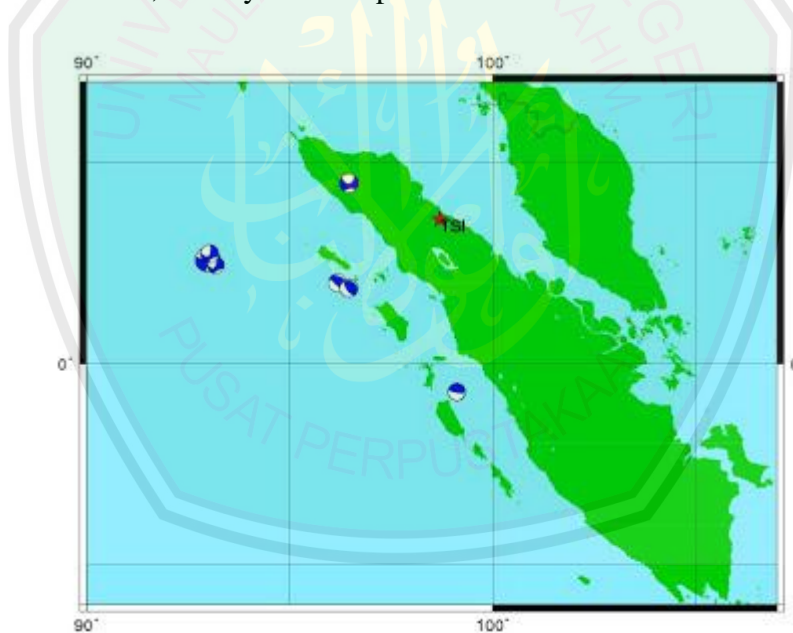
92.98 2.59 24 -0.51 -2.96 3.47 -1.07 -0.90 -6.68 26 X Y 201201101837A

.....
disini saya simpan dengan nama "focal.gmt". Sebenarnya kalau kita hanya memplot titik saja, maka kolom yang diperlukan hanya kolom satu dan dua, yaitu longitude dan latitude. Tetapi karena saya juga memplot focal mechanism nya, maka diperlukan format lengkap seperti diatas.

Langkah selanjutnya untuk memplot focal mechanism, tulislah baris-barus perintah dibawah ini dan simpanlah dengan ekstensi ".bat" :

```
pscoast -R90/107/-6/7 -JM20c -Ba10g5 -Ggreen3 -S140/235/255 -Dh -N1 -W1 -K  
> map.ps  
psmeca focal.gmt -R -JM -Sm0.5/-1 -G0/0/255 -T0 -O -K >> map.ps  
echo 98.7 3.59 | psxy -R -JM -Sa0.5c -Gred -W1 -O -K >> map.ps  
echo 98.7 3.59 14 0 1 LT TSI | pstext -R -JM -O -K >> map.ps
```

Setelah dieksekusi, hasilnya akan seperti berikut :



Arti dari baris-baris perintah diatas adalah :

- pscoast = file postscript untuk membuat garis pantai
- N1 = opsi pada pscoast untuk menampilkan batas negara
- W1 = opsi untuk menampilkan garis pantai dengan ketebalan garis 1 point
- K = opsi untuk menunjukkan bahwa masih ada perintah selanjutnya
- psmeca = file postscript untuk membuat focal mechanism
- Sm0.5/-1 = opsi pada psmeca untuk menampilkan bola fokal dengan ukuran 0.5, arti dari -1 adalah label bola fokal tidak ditampilkan

-T0 = opsi pada psmeca untuk menampilkan kedua bidang nodal
 -O = opsi untuk mengoverlay peta
 psxy = file postscript untuk mem-plot titik
 pstext = file postscript untuk menampilkan text
 echo = disini dipakai untuk membuat titik yang akan diplot, setelah echo ada simbol pipeline (|) untuk memisahkannya dengan perintah pada GMT
 -Sa0.5c = opsi untuk memplot simbol bintang dengan ukuran 0.5 cm
 Perhatian, perintah pertama pada GMT selalu berakhiran ">", dan perintah selanjutnya berakhiran dengan ">>".

Membuat Peta Seismisitas Berdasarkan Kedalaman dan Magnitude

Mumpung masih bersemangat, kali ini saya akan berbagi cara membuat peta seismisitas berdasarkan kedalaman dan magnitude sehingga peta yang dihasilkan nantinya akan lebih menarik. Kali ini saya menggunakan data dari USGS.

Langkah pertama, jelas anda harus mendownload data gempanya dulu. Berikut contoh data yang sudah didownload :

2013-05-10 01:06:05.07	3.750	99.224	10.0	4.2	mb	us
2013-05-09 22:32:24.32	1.684	93.226	23.1	4.7	mb	us
2013-05-09 21:26:35.81	2.526	91.399	99.3	4.4	mb	us
2013-05-09 19:30:11.51	1.948	97.970	21.7	4.5	mb	us

dimana kolom 1 adalah tanggal, kolom 2 jam, kolom 3 lintang, kolom 4 bujur, kolom 5 kedalaman, kolom 6 magnitude, kolom 7 jenis magnitude dan kolom 8 sumbernya. Selanjutnya simpanlah data tersebut, disini saya simpan dengan nama "gempa.dat".

Kali ini kita akan menampilkan gempa menurut kedalaman dengan warna, serta gempa menurut magnitude dengan ukuran yang berbeda. Buatlah file warna seperti berikut :

```
0 255 0 0 100 255 0 0
100 255 255 0 300 255 255 0
300 0 255 0 800 0 255 0
```

lalu simpanlah dengan nama "tabel.cpt".

kolom 1 dan 5 adalah batas kedalaman yang akan kita bedakan warnanya, kolom 2,3,4 dan 6,7,8 adalah warna dalam format RGB.

Selanjutnya buatlah baris-baris perintah berikut dan simpan dengan ekstensi ".bat" :

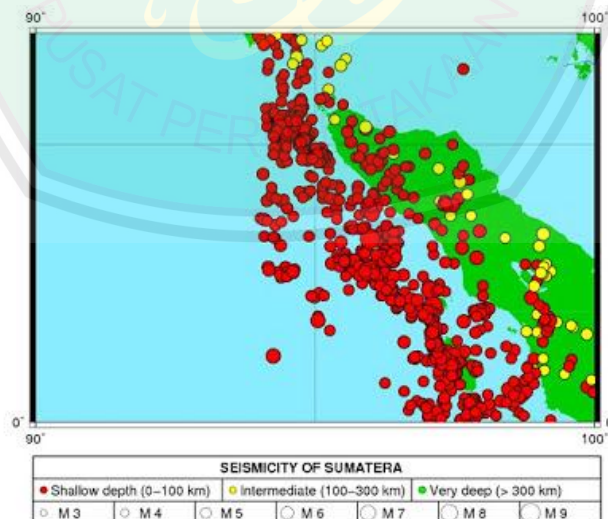
```
pscoast -R90/100/0/7 -JM20c -Ba10g5 -Ggreen3 -S140/235/255 -Dh -N1-W1 -K -X3 -Y6> map.ps
gawk "{ print $4, $3, $5, $6*0.03}" gempa.dat | psxy -R -JM -O -K -Ctabel.cpt -Sci -Wthin -H >> map.ps
```

```

echo H 14 1 SEISMICITY OF SUMATERA > legenda
echo D 0 1p >> legenda
echo N 3 >> legenda
echo V 0 1p >> legenda
echo S 0.1i c 0.1i red 0.25p 0.2i Shallow depth (0-100 km) >> legenda
echo S 0.1i c 0.1i yellow 0.25p 0.2i Intermediate (100-300 km) >> legenda
echo S 0.1i c 0.1i green 0.25p 0.2i Very deep (>300 km) >> legenda
echo V 0 1p >> legenda
echo D 0 1p >> legenda
echo N 7 >> legenda
echo V 0 1p >> legenda
echo S 0.1i c 0.09i - 0.25p 0.3i M 3 >> legenda
echo S 0.1i c 0.12i - 0.25p 0.3i M 4 >> legenda
echo S 0.1i c 0.15i - 0.25p 0.3i M 5 >> legenda
echo S 0.1i c 0.18i - 0.25p 0.3i M 6 >> legenda
echo S 0.1i c 0.21i - 0.25p 0.3i M 7 >> legenda
echo S 0.1i c 0.24i - 0.25p 0.3i M 8 >> legenda
echo S 0.1i c 0.27i - 0.25p 0.3i M 9 >> legenda
echo V 0 1p >> legenda
echo D 0 1p >> legenda
pslegend -Dx4.75i/0.3i/8i/0.97i/TC -J -R -O -K -F legenda -Gwhite -X-2 -Y-2>>
map.ps

```

Jangan bingung melihat baris-baris diatas, baris-baris dengan akhiran "legenda" adalah perintah untuk membuat legenda pada peta. Anda dapat merubahnya sesuka anda. Setelah dieksekusi, hasilnya akan seperti berikut :



Membuat Cross Section Gempa dengan GMT

Cross section atau irisan melintang kadang diperlukan untuk melihat sebaran gempa di suatu wilayah dan untuk melihat kemiringan penunjaman lempeng. Kali

ini saya akan berbagi cara membuat cross section tersebut. Sebelumnya buatlah file text berisi data gempa. Berikut adalah contoh data gempa yang saya miliki :

```
PDE 1973 01 02 005320.30 -9.85 117.43 66 5.5 mbGS ... ..
PDE 1973 01 02 022709.20 1.03 126.21 61 5.4 mbGS ... ..
PDE 1973 01 07 221702.60 5.68 127.30 79 5.1 mbGS ... ..
PDE 1973 01 09 061425.30 6.98 126.15 51 5.3 mbGS ... ..
PDE 1973 01 13 111020.40 -2.70 101.27 105 5.2 mbGS ... ..
PDE 1973 01 16 054257.90 0.54 125.96 15 5.3 mbGS ... ..
```

.....
Simpan dengan nama "gempa.dat".

Kemudian berikut adalah gempa utama yang terjadi :

```
PDE 1973 01 02 005320.30 -8.308 109 92 5.5 mbGS ... ..
```

Simpan dengan nama "utama.dat".

Kemudian buatlah file warna berikut :

```
0 255 0 0 100 255 0 0
100 0 255 0 300 0 255 0
300 0 0 255 800 0 0 255
```

simpan dengan nama "tabel.cpt".

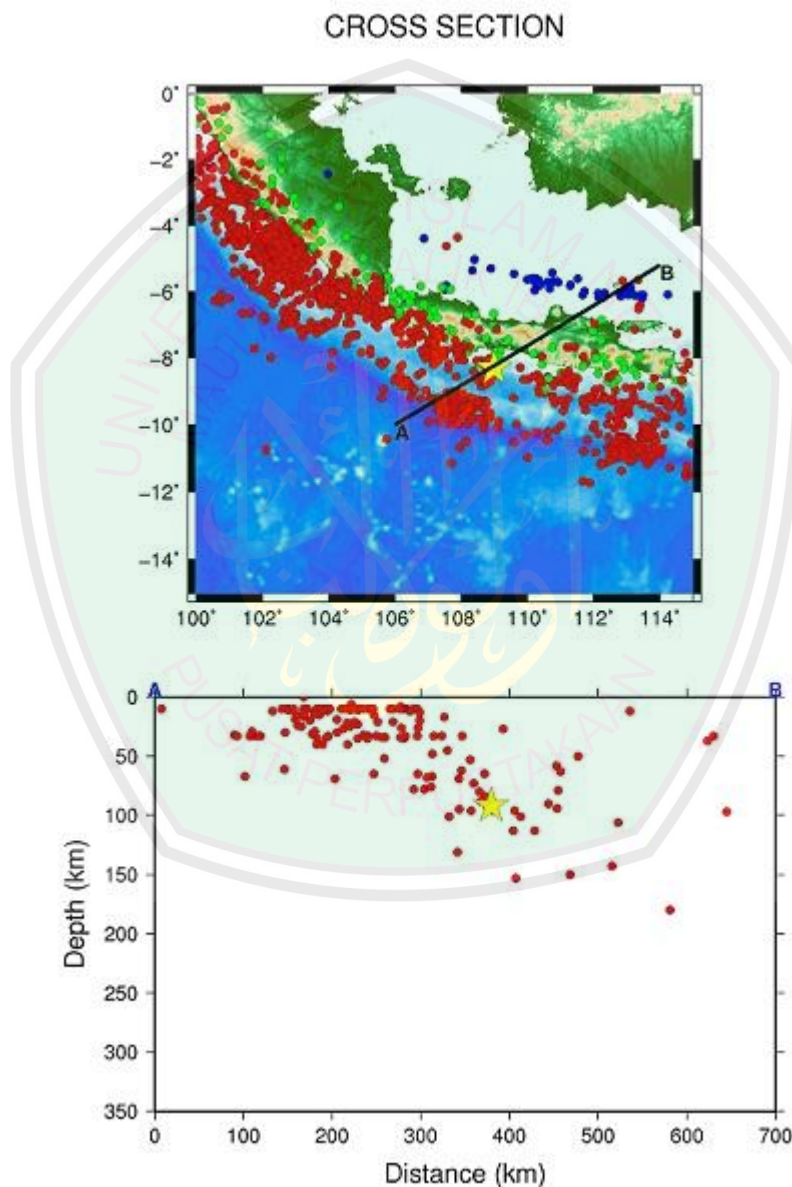
Bila pada postingan sebelumnya saya membuat manual file warna untuk topografi, kali ini saya akan memasukkan script untuk membuat file warna secara otomatis.

Selanjutnya buatlah script berikut :

```
makecpt -Cglobe -Z > elev.cpt
psbasemap -JM12 -X4.5 -R100/115/-15/0 -Ba2g2WSne: "CROSS SECTION": --
HEADER_FONT_SIZE=20 -P -K -Y15 > map2.ps
pscoast -JM -R -Ggreen -Sblue -Dh -Wthin -K -P -O >> map2.ps
grdimage indo.nc -R -JM -Celev.cpt -K -O -Na -P >> map2.ps
gawk "{print $7, $6, $8}" gempa.dat | psxy -JM -R -Sc0.2c -W1 -Gred -P -O -K -
Ctabel.cpt>> map2.ps
gawk "{print $7, $6}" utama.dat | psxy -JM -R -Sa0.9c -W1 -Gyellow -P -O -K
>> map2.ps
psxy -R -JM -W10.0 -Sf0.8i/0.1ilt -Gblack -O -K trench.gmt>> map2.ps
echo 106.0 -10.0 14 0 1 LT A> line.dat
echo 114.0 -5.2 14 0 1 LT B>> line.dat
psxy line.dat -JM -R -W10 -P -O -K >> map2.ps
pstext line.dat -JM -R -P -O -K >> map2.ps
gawk "{print $7, $6, $8}" gempa.dat | project -Q -C106.0/-10.0 -E114.0/-5.2 -Fpz
-W-100/100 > cross.dat
psbasemap -JX15/-10 -X-1 -R0/700/0/350 -Ba100:"Distance (km)":/"Depth
(km)":50WSne --LABEL_FONT_SIZE=18p -P -O -K -Y-12.5 >> map2.ps
echo 0 0 14 0 1 BC A> teks.dat
```

```
echo 700 0 14 0 1 BC B>> teks.dat
pstext teks.dat -JX -R -P -O -Gblue -N -K >> map2.ps
psxy cross.dat -JX -R -Sc0.2 -W1 -Gred -P -O -K >> map2.ps
gawk "{print $7, $6, $8}" utama.dat | project -Q -C106.0/-10.0 -E114.0/-5.2 -Fpz
-W-100/100 > maincross.dat
psxy maincross.dat -JX -R -Sa0.9 -W1 -Gyellow -P -O >> map2.ps
ps2raster map2.ps -Gc:\programs\gs\gs8.53\bin\gswin32c -Tj -P -Fmap2
```

Simpan dengan ekstensi ".bat". Setelah dieksekusi hasilnya akan seperti berikut :



Lampiran 4

Lembar Geologi

