

**ANALISIS ENERGI POTENSIAL GEMPA BUMI
SEBAGAI PARAMETER PEMODELAN TSUNAMI
DI LAUT KEPULAUAN NIAS-SIMELUE**

(Skripsi)

Oleh

SOFYAN FRIDA YENDRA

1415051067



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2019**

ABSTRACT

POTENTIAL ENERGY ANALYSIS OF EARTHQUAKE AS TSUNAMI MODELING PARAMETERS IN NIAS–SIMEULUE ISLANDS

By

Sofyan Frida Yendra

Nias-Simeule Islands are located in one of the segments which is just above the megathrust zone and has a history of major earthquakes that have occurred. This study aims to analyze earthquake potential energy around the Nias-Simeulue islands using the *Least Square* method, then analyze the tendency of focal mechanism, as well as create four tsunami simulation scenarios with parameters of potential energy analysis. Based on research that has been done, the potential energy value in 98 years is $2,245 \times 10^{24}$ which if converted into moment magnitude (Mw) is 8.4. Meanwhile also obtained the regression equation $Mw = 0.0125Year + 7.1875$, which means that every 1 unit year increase will increase the Mw value by 0.0125 units plus 7.1875. Based on the analysis of the *focal mechanism* distribution map, the tendency of the earthquake mechanism to occur at the study site is an upside fracture. Tsunami simulation modeling is carried out with 4 scenarios. Each scenario uses the same parameters for coordinates, depth, strike and dip. However, it is distinguished in its magnitude which is the result of the conversion of potential energy to Mw in the years 20, 40, 60 and 80 using the regression equation. The first scenario, with a value of Mw of 7.4, produces a maximum tsunami height of 1 meter. The second scenario with a Mw value of 7.7 produces a maximum tsunami height of 2.04 meters. The third scenario with a Mw value of 7.9 produces a maximum tsunami height of 2.78 meters. And the fourth scenario with a value of Mw 8.2 produces a maximum tsunami height of 3.05 meters.

Keywords: Nias Earthquake, Potential Energy, *Least Square*, Focal Mechanism, Tsunami Simulation, *EasyWave*.

ABSTRAK

ANALISIS ENERGI POTENSIAL GEMPA BUMI SEBAGAI PARAMETER PEMODELAN TSUNAMI DI LAUT KEPULAUAN NIAS-SIMELUE

Oleh

Sofyan Frida Yendra

Kepulauan Nias-Simeule terletak di salah satu segmen yang berada persis di atas zona *megathrust* dan mempunyai sejarah gempa besar yang pernah terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis energi potensial gempa bumi di sekitar kepulauan Nias-Simeule menggunakan metode *Least Square*, lalu menganalisis kecenderungan *focal mechanism*, serta membuat empat skenario simulasi tsunami dengan parameter analisis energi potensial. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan nilai energi potensial dalam kurun waktu 98 tahun adalah $2,245 \times 10^{24}$ yang jika di konversikan menjadi magnitudo momen (Mw) senilai 8,4. Diperoleh pula persamaan regresi $Mw = 0,0125Tahun + 7,1875$, yang berarti setiap kenaikan 1 satuan tahun akan menaikkan nilai Mw sebesar 0,0125 satuan ditambah 7,1875. Berdasarkan analisis peta persebaran *focal mechanism*, kecenderungan mekanisme gempa bumi yang terjadi di lokasi penelitian merupakan patahan naik. Pemodelan simulasi tsunami dilakukan dengan 4 skenario. Masing-masing skenario menggunakan parameter koordinat, kedalaman, *strike* dan *dip* yang sama. Namun dibedakan pada nilai magnitudonya yang merupakan hasil konversi energi potensial menuju Mw pada tahun ke 20, 40, 60 dan 80 menggunakan persamaan regresi. Skenario pertama dengan nilai Mw 7,4, menghasilkan ketinggian maksimum tsunami 1 meter. Skenario kedua dengan nilai Mw 7,7 menghasilkan ketinggian maksimum tsunami 2,04 meter. Skenario ketiga dengan nilai Mw 7,9 menghasilkan ketinggian maksimum tsunami 2,78 meter. Dan Skenario keempat dengan nilai Mw 8,2 menghasilkan ketinggian maksimum tsunami 3,05 meter.

Kata Kunci: Gempa Nias, Energi Potensial, *Least Square*, *Focal Mechanism*, Simulasi Tsunami, *EasyWave*.

**ANALISIS ENERGI POTENSIAL GEMPA BUMI SEBAGAI
PARAMETER PEMODELAN TSUNAMI DI LAUT
KEPULAUAN NIAS-SIMELUE**

Oleh

Sofyan Frida Yendra

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2019**

**Judul Skripsi : ANALISIS ENERGI POTENSIAL
GEMPA BUMI SEBAGAI PARAMETER
PEMODELAN TSUNAMI DI LAUT
KEPULAUAN NIAS-SIMELUE**

Nama Mahasiswa : Sofyan Frida Yendra

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415051067

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.

NIP 19730716 200012 1 002

Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.

NIP 19750911 200012 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.

NIP 19750911 200012 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

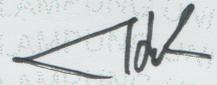
Ketua

: **Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**



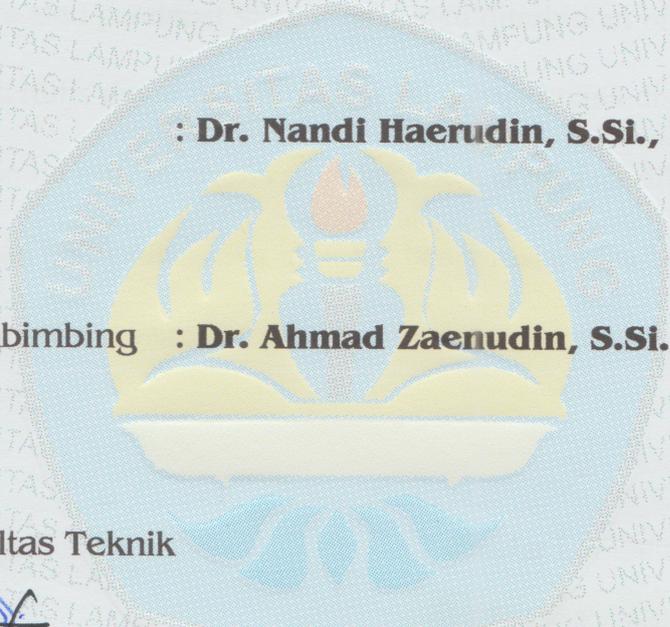
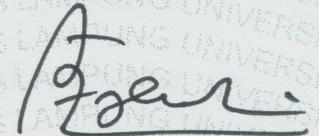
Sekretaris

: **Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Suharno, B.Sc., M.S., M.Sc., Ph.D., IPU.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 September 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 Oktober 2019



Sofyan Frida Yendra

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanawata'ala, yang telah memberikan rahmat dan hidayat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Energi Potensial Gempa Bumi Sebagai Parameter Pemodelan Tsunami Di Laut Kepulauan Nias-Simelue**” Skripsi ini merupakan hasil penelitian Tugas Akhir Penulis di Kantor BMKG Kota Bumi sekaligus bagian dari persyaratan meraih gelar S-1 Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari kesalahan. Karena ini penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca agar kedepannya lebih baik lagi baik bagi penulis maupun bagi para peneliti di bidang Geosains. Semoga skripsi ini berguna dan dapat menunjang perkembangan ilmu pengetahuan serta dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan juga para pembaca pada umumnya terutama di bidang keilmuan Geofisika.

Penulis,

Sofyan Frida Yendra

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Metro pada Tanggal 30 Oktober 1996. Anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Jumat dan Ibu Uminarsih.

Penulis mengawali Pendidikan di Taman Kanak-kanak Dharma Wanita. Kemudian dilanjutkan ke tingkat sekolah dasar pada tahun 2002 di SD Negeri 4 Metro Utara hingga tahun 2008. Lalu penulis melanjutkan ke tingkat sekolah menengah pertama di SMPN 6 Metro pada tahun 2008 hingga tahun 2011. Kemudian melanjutkan Pendidikan ke jenjang sekolah menengah atas di SMAN 1 Metro dan lulus pada tahun 2014.

Pada tahun 2014 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program S1 Reguler Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif diberbagai organisasi. Pada tahun 2015 – 2017 penulis aktif sebagai Anggota Bidang Sosial Budaya dan Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika “Bhuwana” Universitas Lampung. Penulis merupakan anggota aktif Himpunan Mahasiswa Geofisika Unila.

Pada tahun 2016 – 2017 penulis aktif sebagai Kepala Divisi Eksternal Bidang Sosial Budaya dan Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika “Bhuwana” Universitas Lampung.

Pada Bulan Februari 2017, penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi Yogyakarta dengan judul “**Penentuan Hiposenter Gempa Vulkanik Gunung Merapi pada Periode 18 Agustus 2017 Sampai Dengan 31 Agustus 2017 Menggunakan Software *Seisgram2k* dan *Hypoabs.py***”. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sukaraja, Kecamatan Cukuh Balak, Kabupaten Tanggamus pada Periode Januari – Maret 2018. Kemudian pada bulan Agustus-Oktober 2018 penulis melaksanakan Tugas Akhir di Laboratorium Teknik Geofisika dengan Judul “**Analisis Energi Potensial Gempa Bumi Sebagai Parameter Pemodelan Tsunami Di Laut Kepulauan Nias-Simelue**”.

MOTTO

“Maka nikmat Tuhanmu manakah yang kamu dustakan?”

(QS. Ar-Rahman: 55)

“Jika kamu gagal tujuh kali, kamu harus bangun untuk yang ke delapan”

(Rafiq)

“Orang bodoh seringkali beralasan sabar terhadap segala sesuatu, yang sebenarnya dia mengalah dengan keadaan tanpa pernah berusaha”

(Albert Einstein)

“Tidak ada yang abadi, baik Bahagia maupun luka. Suatu hari, kita akan tiba di titik menertawakan rasa yang dulu sakit atau menangisi rasa yang dulu indah”

(Fiersa Besari)

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Segala puji bagi Allah yang telah mengatur takdir manusia begitu sempurna, menggariskan saya belajar bahwa rasa tidak hanya bahagia dan sedih, serta kesuksesan tidak hanya harta dan materi. Saya persembahkan karya kecil ini untuk:

Ayah dan Ibu Tercinta

*Ayahanda tercinta, Bapak Jumat
Ibunda tekasih, Ibu Uminarsih*

Saudara Kandungku

Syahlan Naufal Fridayanto

*Teknik Geofisika Unila 2014
Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung
Almamater tercinta, Universitas Lampung.*

SANWACANA

Puji dan syukur penulis hanturkan kepada Allah SWT, atas Rahmat, Hidayah dan Ridho-Nya yang tak terkira, serta sholawat beriring salam kepada suri tauladan kita, Rasulullah Muhammad SAW yang kita nanti-nantikan syafaatnya di yaumul akhir kelak.

Dalam pelaksanaan dan penyelesaian skripsi dengan judul “**Analisis Energi Potensial Gempa Bumi Sebagai Parameter Pemodelan Tsunami Di Laut Kepulauan Nias-Simelue**” yang tentunya tidak lepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang bersangkutan, yaitu:

1. **Ayah dan Ibu**, yang tiada hentinya memberi penulis semangat, kritik, saran, motivasi serta do’a yang selalu mengiringi perjalananan penulis.
2. **Saudara laki-laki** atas semua motivasi kritik dan saran kepada penulis.
3. **Prof. Drs. Suharno, B.Sc., M.S., M.Sc., Ph.D., IPU.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. **Bapak Syamsurijal Rasimeng, S.Si. M.Si.** selaku pembimbing 1 Tugas Akhir atas bimbingan berupa kritik dan saran serta motivasi dalam proses skripsi ini.
5. **Bapak Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.** selaku pembimbing 2 Tugas Akhir

sekaligus Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung atas bimbingan serta motivasi yang terus di suarkan demi penyelesaian skripsi ini.

6. **Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si. M.T.** selaku penguji Tugas Akhir sekaligus Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Lampung atas bimbingan dan ilmu serta kritik dan saran yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
7. **Bapak Adhi Wibowo** selaku pembimbing saya di kantor BMKG Kota Bumi atas segala ilmu serta masukan agar penelitian saya berjalan lancar.
8. **Bapak Rustadi, S.Si., M.T.** selaku pembimbing akademik serta **Seluruh Dosen** pengajar jurusan Teknik Geofisika yang telah mengajarkan ilmu yang sangat berguna bagi penulis, terutama di bidang keilmuan geofisika.
9. **Staff jurusan, Pak Legino, Mas Pujono, Babe, Mba Dea,** yang telah membantu menyelesaikan administrasi jurusan.
10. **Lesda Rafli Dhea Ikatari,** yang telah memberi saran dan motivasinya dalam banyak hal.
11. **Roh Penunggu “UYE”**, kuple, nana, tomo, pajar, alpa, pariji, aldi, mora, auler, celeng, aji, onta, giat, gopur, ical, batu, desta, tiwi, jubir, ifeh, delpia, jawir, idenk, yang amat sangat memberi penulis inspirasi ketika hendak menyelesaikan penelitian.
12. **Alfa dan Farizi** sebagai rekan seperjuangan Tugas Akhir di BMKG Kota Bumi atas segala cerita, semangat dan keikhlasan yang sudah di bagikan.
13. **Fitria, Ummi, dan Arief** yang sudah banyak membantu saya dalam penyusunan format, pembuatan kurva dan segala macam kerepotan skripsi yang lainnya.

14. **Rekan seperjuangan, TG14** untuk segala dukungan, suka dan duka pada masa perkuliahan.
15. **Teman Teman Masa Kecil** atas segala cerita yang sudah di bagikan agar menginspirasi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
16. **Kantin Uye dan Kantin Bude** atas ketersediaan tempat dan makanan nikmat untuk mengisi tenaga dalam proses penyelesaian skripsi ini.
17. **Mas Santos Bolala** yang selalu menghibur penulis dengan lelucon-lelucon *mindblowing* nya.
18. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan banyak perhatian dukungan, semangat, kritik dan saran.

Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapat balasan kebaikan pula dari Allah SWT. Demikianlah, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan pengetahuan baru kepada setiap orang yang membacanya.

Bandar Lampung, 15 Oktober 2019

Sofyan Frida Yendra

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	x
PERSEMBAHAN	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Batasan Masalah	6
1.5. Manfaat Penelitian	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Letak dan Lokasi Penelitian	8
2.2. Tektonik dan Struktur Geologi Penelitain	10

2.3. Sejarah dan Zonasi Gempa Bumi di Zona Subduksi	12
III. TEORI DASAR	
3.1. Gempa Bumi	15
3.2. Gelombang Seismik	16
3.3. Parameter Gempa Bumi	18
3.4. Energi Gempa Bumi	22
3.5. Parameter Bidang Sesar	24
3.6. Tsunami.....	26
3.7. Teori <i>Shallow Water</i>	29
3.8. EasyWave	30
IV. METODELOGI PENELITIAN	
4.1. Waktu dan Lokasi Penelitian	31
4.2. Alat dan Bahan.....	31
4.3. Data Penelitian	32
4.4. Pengolahan Data	32
4.5. Diagram Alir Penelitian	35
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	
5.1. Analisis Energi Potensial Gempa Bumi.....	36
5.2. Peta Persebaran <i>Focal Mechanism</i>	42
5.3. Pemodelan Simulasi Tsunami.....	45
5.3.1. Skenario Pertama.....	46
5.3.2. Skenario Kedua	47
5.3.3. Skenario Ketiga	48
5.3.4. Skenario Keempat	49
5.3.5. Peringatan Dini Tsunami.....	50
VI. KESIMPULAN	
6.1. Kesimpulan	53
6.2. Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta tektonik Kepulauan Indonesia dan sekitarnya.....	2
2. Peta daerah penelitian	9
3. Pergerakan relatif tiga lempeng bumi dari data GPS.....	11
4. Tektonik aktif Pulau Sumatera dan sumber sumber utamanya.....	13
5. Ilustrasi gerak gelombang primer	17
6. Ilustrasi gerak gelombang sekunder.....	17
7. Contoh geometri <i>focal mechanism</i> sesuai pola <i>beach ball</i>	25
8. Jenis jenis pergerakan sesar digambarkan dalam bola mekanisme focus	26
9. Diagram Alir	35
10. Kurva energi potensial dalam tahun.....	39
11. a. Kurva energi potensial tahun ke 1 dan tahun ke 97 dengan kurva energi kumulatif selama 98 tahun	40
b. Kurva energi potensial tahun ke 1 dan tahun ke 97 dengan kurva energi potensial per tahun yang dihitung secara manual	41
12. Peta kecenderungan <i>focal mechanism</i> dari gempa yang berpotensi membangkitkan tsunami	43
13. <i>Focal mechanism</i> pada gempa 28 Maret 2005.....	44
14. Peta estimasi ketinggian maksimum gelombang tsunami pada skenario pertama simulasi tsunami	47
15. Peta estimasi ketinggian maksimum gelombang tsunami pada skenario kedua simulasi tsunami.....	48

16. Peta estimasi ketinggian maksimum gelombang tsunami pada skenario ketiga simulasi tsunami	49
17. Peta estimasi ketinggian maksimum gelombang tsunami pada skenario keempat simulasi tsunami.....	50

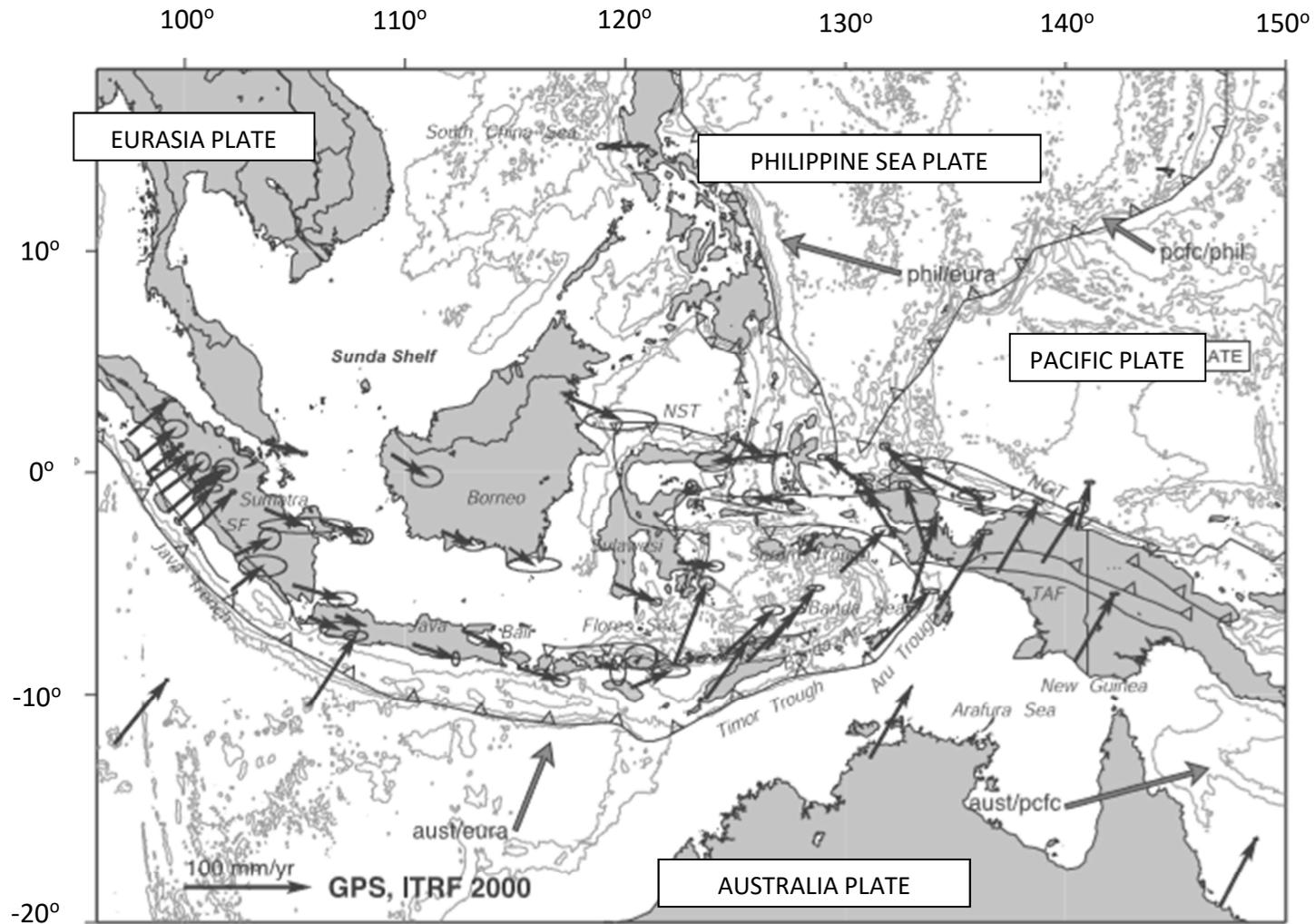
DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rangkuman dari penelitian-penelitian sebelumnya	5
2. Klasifikasi Ketinggian Gelombang Tsunami	27
3. Energi gempa bumi lepas per tahun dan energi potensial gempa bumi dalam kurun waktu 97 tahun.....	37
4. Nilai potensi magnitudo momen yang dikonversi dari energi potensial gempa bumi dalam kurun waktu 20 tahun, 40 tahun, 60 tahun dan 80 tahun	40
5. Parameter dari masing masing skenario pemodelan simulasi tsunami	45
6. Informasi peringatan dini tsunami.....	52

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia letaknya diantara pertemuan 4 lempeng bumi besar, yaitu: Lempeng Hindia dan Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pacific. 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 Sumatera memanjang hingga ke 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 Pacific 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 (Natawidjaja, 2007). Pergerakan lempeng lempeng tersebutlah yang kemudian membuat Indonesia memiliki tingkat ancaman yang besar terhadap bencana gempa bumi, baik di darat ataupun di laut.



Gambar 1. Peta tektonik kepulauan Indonesia dan sekitarnya. Tanda panah menunjukkan arah pergerakan relatif lempeng tektonik (Bock dkk, 2003).

Pulau Sumatera merupakan salah satu wilayah tektonik aktif. Subduksi yang terjadi antara lempeng Indo-Australia terhadap Eurasia menyebabkan *oblique* konvergen muncul. *Oblique* konvergen dibagi menjadi dua komponen, yaitu komponen *dip-slip* yang terdapat di zona subduksi antara lempeng, dan komponen *strike-slip* di sesar besar Sumatera (Natawidjaya 2002). Zona subduksi Sumatera merupakan jalur gempa bumi di Indonesia yang paling banyak menyerap dan mengeluarkan energi gempa bumi dengan magnitudo $M_w \geq 8$ SR, sehingga berpotensi menimbulkan tsunami (Newcomb dan McCann 1987; Natawidjaya 2002). Salah satu segmen yang berada persis di atas zona *megathrust* (sumber gempa zona subduksi) dan pernah menimbulkan gempa bumi yang sampai membangkitkan tsunami adalah Nias-Simeulue. Pada 200 tahun terakhir, segmen ini sudah mengalami empat kali bencana gempa bumi dan tsunami, yaitu tahun 1861 (M 8,5), 1907 (M 7,4), 2004 (M 9,2) dan 2005 (M 8,7). Gempa bumi sebelumnya yang memecahkan segmen (sumber gempa) yang sama dengan gempa 2005 adalah gempa bumi tahun 1861. Segmen ini terakhir melepaskan simpanan energinya 145 tahun yang lalu. Dengan kata lain, segmen gempa Nias-Simeulue ini terakhir melepaskan simpanan energi tektoniknya 145 tahun lalu (Natawidjaya, 2007).

Jadi sejak gempa raksasa tahun 1861 (M 8,5) di segmen Nias-Simeulue, sudah 145 tahun-an zona subduksi ini mengumpulkan energi regangan kembali akibat himpitan tektonik; artinya sudah cukup matang. Proses pergerakan lempeng yang terjadi pada suatu segmen sumber gempa pada waktu gempa bumi akan melepaskan ketegangan akibat tekanan tektonik yang terkumpul selama beratus tahun sehingga segmen patahan itu menjadi rileks (Natawidjaya, 2007)

Meskipun gempa Nias-Simelue pada tahun 2005 memakan korban jiwa hampir dua ribu orang dan menghancurkan bangunan di daratan, namun tsunami yang terjadi akibat gempa tidak besar sehingga tidak ada korban seperti yang terjadi ketika gempa Aceh-Andaman pada tahun 2004. Menurut Natawidjaja (2007) ada tiga fakta kenapa gempa Nias-Simelue tidak menyebabkan tsunami seperti pada gempa Aceh-Andaman. Yang pertama, panjang zona subduksi yang pecah dan bergeser pada gempa Aceh 2004 adalah sepanjang 1600 km. Sedangkan pada waktu gempa 2005 hanya 400 km. Kedua, pengangkatan tektonik yang terjadi pada waktu gempa 2004 mencapai 5,4 m, sedangkan gempa 2005 hanya 2,9 m. Ketiga, pada waktu gempa 2004 pengangkatan maksimum banyak terjadi pada bagian laut yang dalam, sedangkan pada gempa 2005 pengangkatan terfokus pada bagian daratan (P. Nias dan P. Simelue) dan laut dangkal disekitarnya. Ketiga fakta ini menunjukkan bahwa volume air laut yang terdorong ke atas pada waktu gempa Nias-Simelue 2005 jauh lebih sedikit dibandingkan dengan yang pada waktu gempa Aceh-Andaman 2004.

Dari penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya, belum banyak penelitian yang secara khusus membahas potensi energi gempa bumi tsunami di wilayah pantai barat Sumatera, khususnya Kepulauan Nias-Simeulue sebagai objek penelitian. Berikut adalah tabel daftar penelitian-penelitian sebelumnya mengenai gempa dan tsunami di pantai barat Sumatera.

Tabel 1. Rangkuman dari penelitian-penelitian sebelumnya

Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil
Khoiridah, S., dkk.	2017	Validasi Potensi Tsunami Berdasarkan Estimasi Durasi Patahan dan Pemodelan Tsunami di Wilayah Barat Sumatra (Studi Kasus: Gempa Bumi Nias 2005 dan Mentawai 2010)	Mengetahui karakteristik gempa pembangkit tsunami melalui hasil estimasi durasi patahan dan pemodelan tsunami.	Daerah terdampak tsunami di Nias dan Mentawai
Jihad, A.	2017	Kajian Potensi Gempabumi Pembangkit Tsunami Sebagai Dasar Penyusunan Strategi Pengurangan Risiko Bencana Tsunami Di Pantai Barat Sumatera (Kasus Potensi Tsunami Di Kota Bengkulu)	Mengidentifikasi zona celah kegempaan, mengkaji potensi energi gempabumi yang tersimpan, mengkaji karakteristik patahan dan pemodelan tsunami sebagai strategi PRB tsunami	Zona celah kegempaan, energi potensial gempa bumi, model tsunami (ketinggian maksimum dan waktu tiba gelombang tsunami).

Dalam upaya meminimalisir resiko atau bahaya dari kejadian gempa dan tsunami yang dapat terjadi di daerah kepulauan Nias-Simeulue, maka pada penelitian kali ini akan dilakukan analisa mengenai energi potensi gempa bumi serta melakukan simulasi penjalaran gelombang tsunami dengan memperhatikan kondisi seismisitas dan historis gempa pada laut sekitar Kepulauan Nias-Simeulue.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian kali ini adalah bagaimana menganalisis energi potensial gempa bumi serta resiko terjadinya tsunami.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukan penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Menghitung energi potensial gempa bumi di sekitar kepulauan Nias-Simeulue.
2. Menganalisis jenis patahan gempa yang menimbulkan tsunami di sekitar kepulauan Nias-Simeulue menggunakan *focal mechanism*.
3. Membuat simulasi tsunami dengan menggunakan parameter analisis energi potensial.

1.4. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan serta tujuan diatas, maka penelitian kali ini memiliki batasan masalah antara lain:

1. Data gempa yang digunakan dalam menganalisis energi potensial gempa adalah data gempa yang terjadi sejak tahun 1900 sampai tahun 2017 dengan koordinat 0,121 LS – 3,02 LU dan 94,911 BT – 98,207 BT.
2. Dalam menganalisis jenis patahan menggunakan bola *focal mechanism*, peneliti menggunakan data gempa yang terjadi di laut dimana memiliki koordinat 0,121 LS – 3,02 LU dan 94,911 BT – 98,207 BT, dengan $10 > \text{magnitude} > 6,5$ sejak tahun 2005 sampai 2017.
3. Simulasi tsunami terdiri dari empat skenario. Simulasi tsunami menggunakan parameter parameter antara lain; lokasi sumber gempa, magnitudo, *strike*, *dip*, dan kedalaman.

1.5. Manfaat Penelitian

Meningkatan pemahaman, kesadaran, dan perbaikan kesiapsiagaan masyarakat terhadap bencana tsunami. Melalui tulisan ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk melakukan mitigasi bencana tsunami di area bencana, dan dapat menjadi sumbangan ilmu pengetahuan untuk mengetahui daerah-daerah yang bahaya terhadap bencana tsunami.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Letak dan Lokasi Penelitian

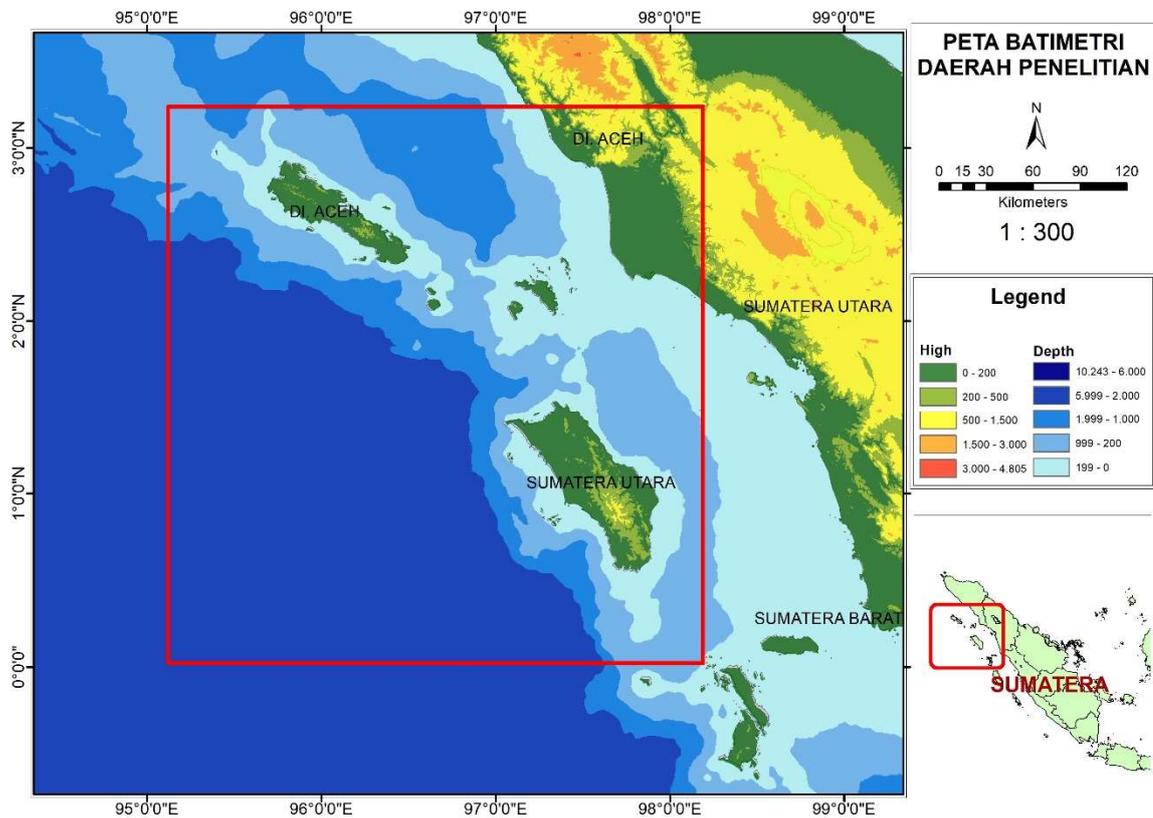
Penelitian kali ini dilakukan di Kepulauan Nias-Simeulue dengan koordinat 0,12 LS – 3,02 LU dan 94,91 BT – 98,21 BT. Nias adalah daerah kepulauan yang terletak di sebelah barat pulau , Indonesia, dan secara administratif berada dalam wilayah Provinsi Utara.

Kepulauan Nias terdiri dari 132 pulau, memiliki luas daratan kurang lebih 5.625 km² (7,8 % dari wilayah Sumatera Utara), yang terletak diantara 0° 12' LU dan 1° 32' LU serta 97° BT dan 98° BT. Kepulauan Nias berbatasan dengan:

- Di bagian utara dengan pulau-pulau banyak Aceh
- Di bagian selatan dengan Pulau Mentawai
- Di Bagian Timur dengan Tapanuli Tengah
- Di bagian Barat dengan Samudra Hindia

Untuk Kepulauan Simeulue terletak pada koordinat $2,35^{\circ}$ LU - $92,82^{\circ}$ BT. Luas wilayah Kabupaten Simeulue adalah 183.809,50 Ha, atau berkisar 3,26 % luas wilayah daratan Provinsi Aceh, dengan batas wilayah sebagai berikut:

- Sebelah Utara berbatasan dengan Samudera Hindia
- Sebelah Timur berbatasan dengan Samudera Hindia
- Sebelah Barat berbatasan dengan Samudera Hindia
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Samudera Hindia (RPJMD Simeulue, 2017).

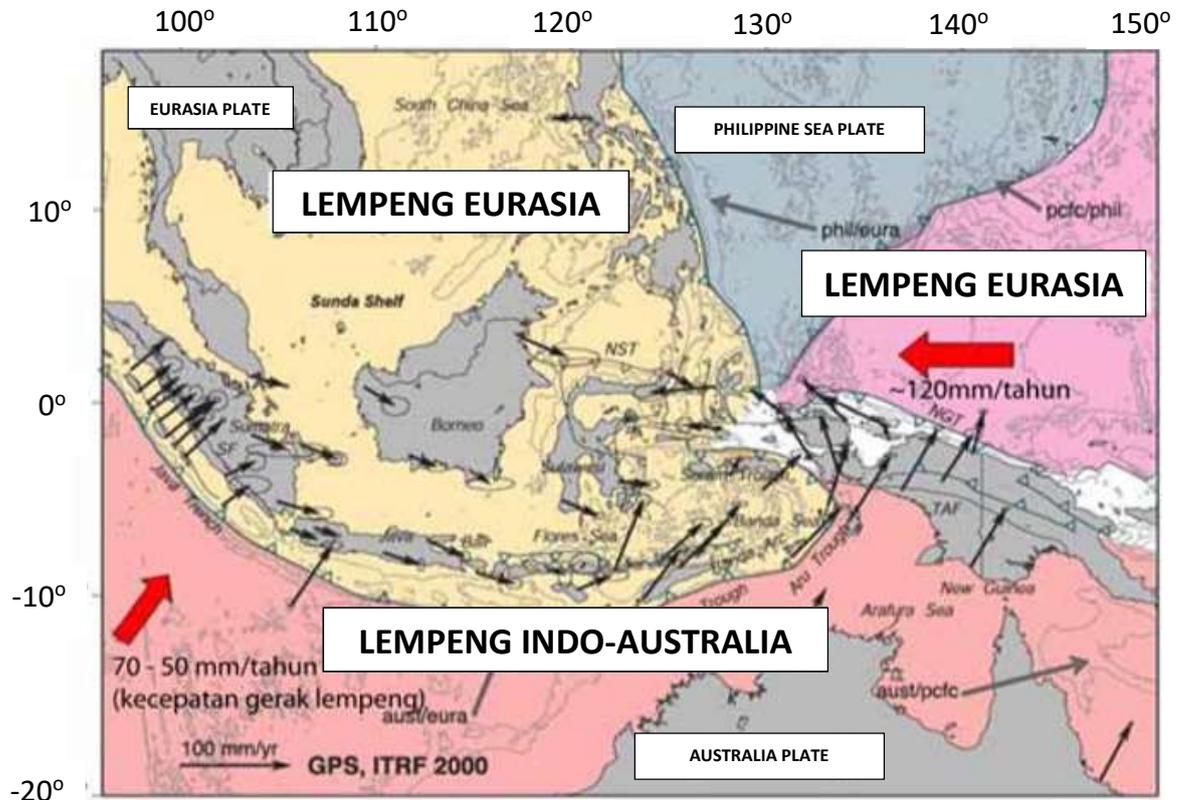


Gambar 2. Peta daerah penelitian

2.2. Tektonik dan Struktur Geologi Penelitian

Indonesia letaknya diantara pertemuan 4 lempeng bumi besar, yaitu: Lempeng Hindia dan Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pacific (Gambar 3). 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 Sumatera – 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 Pasific bergerak dengan kecepatan ~120 mm/tahun kearah barat-baratdaya menabrak tepian utara dari Pulau Papua New Guinea - Irian Jaya, dan terus ke arah barat sampai ke daerah tepian timur Sulawesi (Natawidjaja, 2007).

Sumatera 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 Sumatera sampai ke Kepulauan Andaman. Lempeng Hindia menunjam di bawah Sumatera dengan kecepatan 50–60 mm/tahun dan kemiringan dari zona penunjamannya sekitar 12° (Natawidjaja, 2003; Prawirodirdjo, 2000)



Gambar 3. Pergerakan relatif tiga lempeng bumi dari data GPS (Bock dkk, 2003 dalam Natawidjaja, 2007)

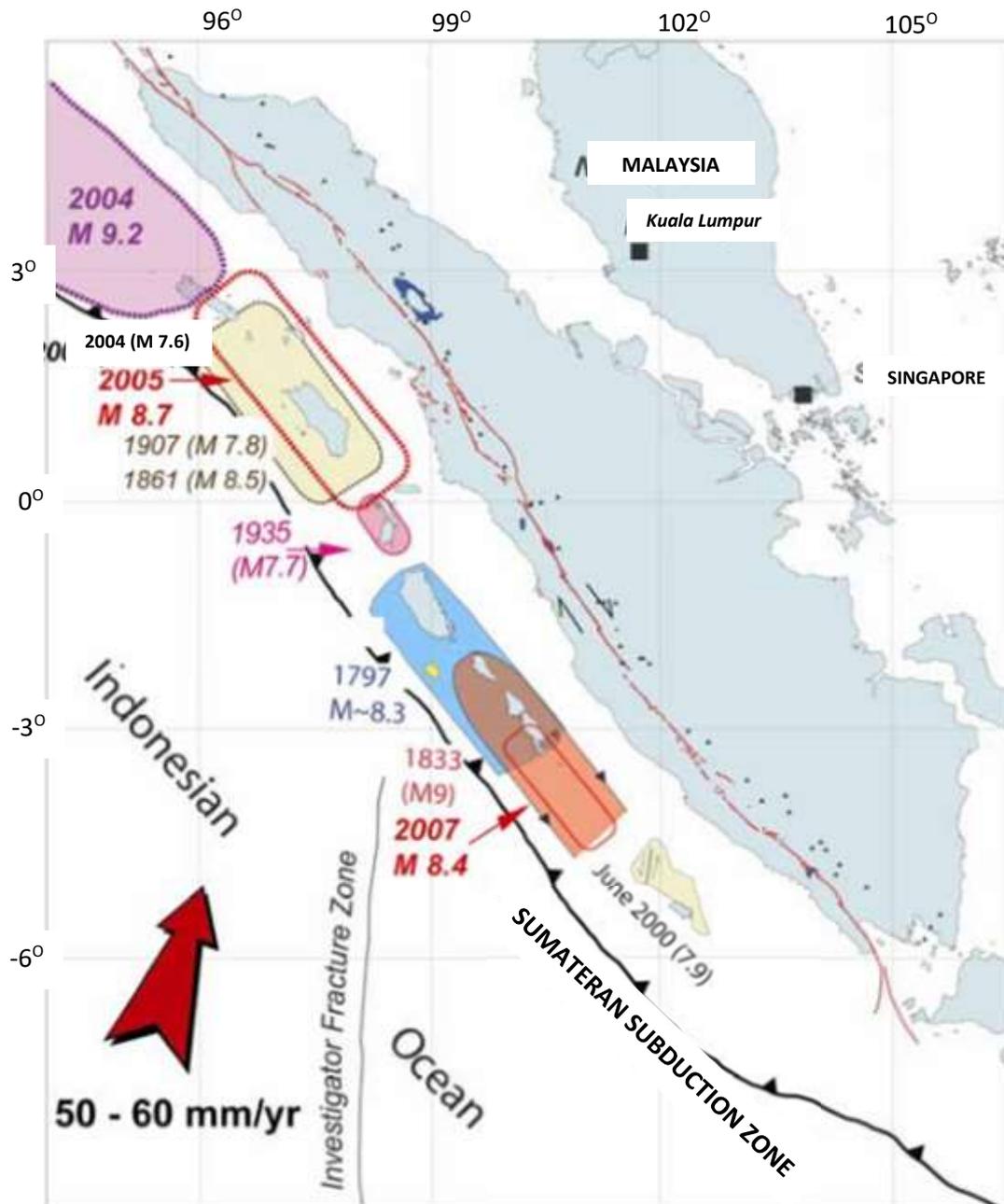
Pulau terbentuk akibat adanya interaksi antara lempeng samudera Hindia dan lempeng Benua Eurasia. Interaksi ini merupakan pertemuan lempeng konvergen dimana lempeng Samudera Hindia yang tersubduksi ke bawah lempeng Benua Eurasia. Pulau dapat diklasifikasikan menjadi 5 unit tektono-struktural (Pulunggono, 1993, op. cit. Darman dan Sidi, 2000), yaitu:

- Punggungan Luar-busur Sunda (*Sunda Outer-arc Ridge*), terletak sepanjang tepi cekungan depan-busur Sunda (*Sunda Fore-arc Basin*), merupakan punggungan non-vulkanik yang memanjang dari Laut Andaman hingga tenggara Jawa. Geologi unit ini diwakili oleh geologi Nias dan Pulau Simeulue.

- Cekungan Depan-busur (*Sunda Fore-arc Basin*), terletak di antara punggung luar-busur Sunda non-vulkanik (*Sunda Outer-arc Ridge*) dengan pegunungan Barisan. Secara umum, ada 2 cekungan depan busur Sunda, yaitu: cekungan Sibolga di barat laut , dan Cekungan Bengkulu di barat daya .
- Cekungan Belakang-busur (*Back-arc Basin*), merupakan unit yang terbentuk dari kumpulan cekungan-cekungan, seperti: cekungan Utara, Cekungan Tengah, dan Cekungan Selatan.
- Pegunungan Barisan (*Barisan Mountain Range*), merupakan busur vulkanik yang umumnya berkomposisi batuan berumur Permian-Karbon hingga Mesozoikum. Daerah penelitian terletak pada unit tektono-struktural ini.
- *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 berkisar 120 km. Cekungan ini sangat dalam, terisi oleh endapan sedimen Tersier dengan umur Eosen hingga awal Miosen Tengah.

2.3. Sejarah dan Zonasi Gempa Bumi di Zona Subduksi

Menurut Natawidjaja (2007) di utara khatulistiwa, gempa dan tsunami besar pernah terjadi di wilayah Nias-Semelue pada tahun 1861. Gempa tahun 1861 ini diperkirakan berkekuatan lebih dari 8,5 skala magnitudo. Tercatat dalam sejarah bahwa tsunami yang terjadi cukup besar (Newcomb dan McCann, 1987).



Gambar 4. Tektonik aktif Pulau dan sumber sumber utamanya (Natawidjaja, 2007)

Di Selatan khatulistiwa, gempa besar pernah terjadi tahun 1833 (M 8,9) dan pada tahun 1797 (M 8,3 - 8,7). Kedua gempa ini menghasilkan tsunami besar yang menghantam perairan Sumatera barat dan Bengkulu. Catatan sejarah dari dua gempa besar di wilayah Mentawai, Sumatera barat dan Bengkulu ini akan di bahas secara khusus di sub-bab berikut di bawah. Wilayah zona subduksi di selatan ini

disebut sebagai segmen Mentawai. Segmen ini sudah dua tahun terakhir kami waspadai sebagai sumber gempa besar dan tsunami berikutnya di pantai barat Sumatera setelah gempa Aceh-Andaman tahun 2004 dan gempa Nias-Simelue tahun 2005 (Natawidjaja, 2007).

III. TEORI DASAR

3.1. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran atau getar getar yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Adapun menurut Hoernes (Soebardjo dan Ibrahim, 2004), gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis berdasarkan sumber kejadiannya yakni:

1. Gempa tektonik, yakni merupakan gerakan yang diakibatkan lepasnya sejumlah energi ketika terjadinya pergeseran lempeng.
2. Gempa vulkanik, yakni gerakan yang diakibatkan oleh aktivitas gunung berapi.
3. Gempa runtuh, yakni gerakan yang diakibatkan runtuh dari lubang-lubang interior bumi.

Jika kita lihat dari klasifikasi besarnya gempa, menurut Hagiwara (1964) dapat dilihat dari magnitudonya yang terdiri atas:

1. Gempa sangat besar (*Great Earthquake*) : $M > 8$
2. Gempa besar (*Major Earthquake*) : $7 < M \leq 8$
3. Gempa sedang (*Moderate Earthquake*) : $5 < M \leq 7$
4. Gempa kecil (*Small Earthquake*) : $3 < M \leq 5$
5. Gempa mikro (*Micro Earthquake*) : $1 < M \leq 3$

6. Gempa ultramikro (*Ultramicro Earthquake*) : $M \leq 1$

Berdasarkan buku Sunarjo dkk, menurut Fowler (1990), gempa bumi dapat di klasifikasikan menjadi:

1. Gempa dangkal, pusat gempa pada kedalaman < 70 km
2. Gempa menengah, pusat gempa pada kedalaman < 300 km
3. Gempa dalam, pusat gempa pada kedalaman > 300 km.

3.2. Gelombang Seismik

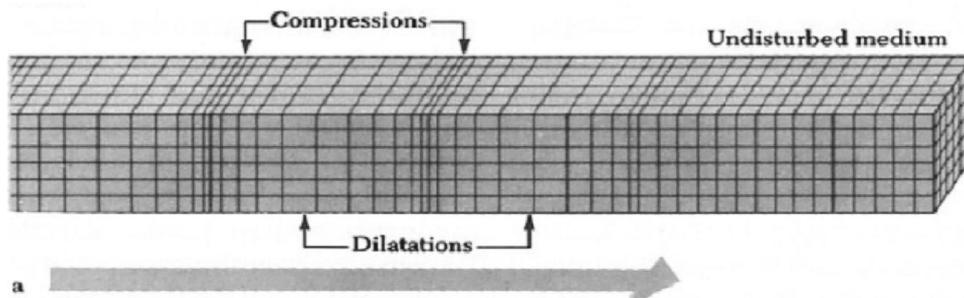
Berdasarkan cuplikan dari Dewi (2018), gelombang seismik adalah gelombang energi yang merambat disebabkan karena adanya gangguan di dalam kerak bumi, seperti adanya patahan atau ledakan. Energi tersebut akan merambat ke seluruh bagian bumi dan terekam oleh seismometer. Akibat yang ditimbulkan dari adanya gelombang seismik tersebut adalah berupa kejadian gempabumi. Perambatan dari gelombang seismik tergantung pada sifat keelastisitasan yang dimiliki oleh suatu batuan yang dilewati. Gelombang seismik terdiri dari Gelombang badan dan Gelombang Permukaan.

1. Gelombang Pusat (*Body Wave*)

a. Gelombang Primer

Gelombang Primer atau gelombang kompresi merupakan gelombang badan (*body wave*) yang memiliki kecepatan paling tinggi dari gelombang *S*. Gelombang ini merupakan gelombang longitudinal partikel yang merambat bolak balik dengan arah rambatnya. Gelombang ini terjadi karena adanya tekanan. Karena memiliki kecepatan tinggi gelombang ini memiliki waktu tiba

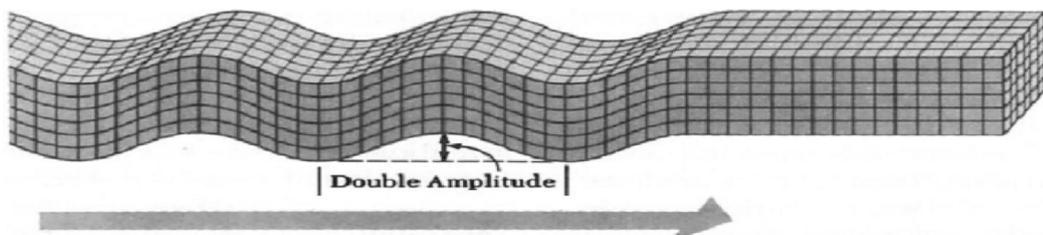
terlebih dahulu dari pada gelombang S . Kecepatan gelombang P (V_p) adalah $\pm 5 - 7$ km/s di kerak bumi, > 8 km/s di dalam mantel dan inti bumi, $\pm 1,5$ km/s di dalam air, dan $\pm 0,3$ km/s di udara.



Gambar 5. Ilustrasi gerak gelombang primer (Hidayati, 2010)

b. Gelombang Sekunder

Gelombang S atau gelombang transversal (*Shear wave*) menurut Hidayati (2010), adalah salah satu gelombang badan (*body wave*) yang memiliki gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambatnya serta waktu tibanya setelah gelombang P . Gelombang ini tidak dapat merambat pada fluida, sehingga pada inti bumi bagian luar tidak dapat terdeteksi sedangkan pada inti bumi bagian dalam mampu dilewati. Kecepatan gelombang S (V_s) adalah $\pm 3 - 4$ km/s di kerak bumi, $> 4,5$ km/s di dalam mantel bumi, dan $2,5 - 3,0$ km/s di dalam inti bumi.



Gambar 6. Ilustrasi gerak gelombang sekunder (Hidayati, 2010)

2. Gelombang Permukaan

a. Gelombang Love

Menurut Hidayati (2010), gelombang ini merupakan gelombang yang arah rambat partikelnya bergetar melintang terhadap arah penjarannya. Gelombang love merupakan gelombang transversal, kecepatan gelombang ini di permukaan bumi (V_l) adalah $\pm 2,0 - 4,4$ km/s.

b. Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh menurut Hidayati (2010), merupakan jenis gelombang permukaan yang memiliki kecepatan (V_r) adalah $\pm 2,0 - 4,2$ km/s di dalam bumi. Arah rambatnya bergerak tegak lurus terhadap arah rambat dan searah bidang datar.

3.3. Parameter Gempa Bumi

Setiap kejadian gempa bumi akan menghasilkan informasi seismik berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang yang setelah melalui proses manual atau non manual akan menjadi data bacaan fase. Informasi seismik selanjutnya mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan analisis sehingga menjadi parameter gempa bumi.

Parameter gempa bumi tersebut meliputi:

a. Waktu Terjadinya Gempa (*Origin Time*)

Origin time atau waktu terjadinya gempa bumi merupakan waktu dimana pelepasan energi pertama kali terjadi pada lempeng tektonik bumi yang mengalami tekanan akibat tumbukan atau gesekan dan dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinated*).

b. Hiposenter

Hiposenter merupakan pusat gempa bumi yang berada di dalam permukaan bumi. Untuk memudahkan terkadang hiposenter diasumsikan sebagai sebuah titik, namun pada kenyataannya hiposenter merupakan sebuah bidang yang luasnya tergantung pada besarnya energi yang dilepaskan.

c. Episenter

Episenter merupakan titik di permukaan bumi yang merupakan reflektifitas tegak lurus dari hiposenter. Lokasi episenter dibuat dalam koordinat kartesian bola bumi atau sistem koordinat geografis dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur.

d. Magnitudo

Kekuatan gempabumi atau magnitudo adalah ukuran kekuatan gempabumi, menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempabumi terjadi dan merupakan hasil pengamatan Seismograf. Magnitude menggunakan skala Richter (SR) (Subardjo dan Ibrahim, 2004).

Terdapat empat jenis Magnitudo yang umum digunakan yaitu : Magnitudo lokal, Magnitudo bodi, Magnitudo permukaan dan Magnitudo momen (Lay dan Wallace.,1995).

- Magnitudo Lokal (ML)

Menurut Richter dengan mengetahui jarak episenter ke seismograf dan mengukur amplitudo maksimum dari sinyal yang tercatat di seismograf maka dapat dilakukan pendekatan untuk mengetahui besarnya gempa bumi yang terjadi. Magnitudo lokal mempunyai rumus empiris sebagai berikut :

$$ML = \log a + 3 \log D - 2.92 \quad (3.1)$$

Dengan:

a = Amplitudo getaran tanah (mm),

D = Jarak Stasiun pencatat ke sumber gempa bumi (Km) dengan $D \geq 600$ km.

- *Magnitudo Body* (Mb)

Magnitudo ini didefinisikan berdasarkan catatan amplitudo dari gelombang P yang menjalar melalui bagian dalam bumi (Lay dan Wallace.,1995). Secara umum dirumuskan dengan persamaan

$$Mb = \log (a / T) + Q (h, D) \quad (3.2)$$

Dengan:

a = Amplitudo getaran (mm),

T = Periode getaran (detik)

$Q (h, D)$ = koreksi jarak D dan kedalaman h yang didapatkan dari pendekatan empiris.

- *Magnitude Surface (Ms)*

Magnitudo tipe ini didapatkan sebagai hasil pengukuran terhadap gelombang permukaan (*surface waves*). Magnitudo jenis ini mempunyai rumus empiris sebagai berikut

$$M_s = \log a + a \log D + b \quad (3.3)$$

Dengan:

a = amplitudo maksimum dari pergeseran tanah Horizontal pada periode 20 s.

D = Jarak (km),

(a dan b adalah koefisien dan konstanta yang didapatkan dengan pendekatan empiris. Persamaan ini digunakan hanya untuk gempa dengan kedalaman sekitar 60 km).

- *Magnitudo Momen (Mw)*

Momen seismik dapat diestimasi dari dimensi pergeseran bidang sesar atau dari analisis karakteristik gelombang gempabumi yang direkam di stasiun pencatat khususnya dengan seismograf periode bebas (*broadband seismograph*).

$$M_o = \mu D A \quad (3.4)$$

Dengan:

M_o = Momen seismik (N/m)

μ = Rigiditas (N/m²)

D = Pergeseran rata-rata bidang sesar (m)

A = Area sesar (m²)

Berdasarkan buku Boorman (2002), Ambrasseys (1990) dalam usahanya untuk menyeragamkan magnitudo pada gempa di Eropa, mengevaluasi kembali magnitudo dengan $3 < M < 8$. Ambrasseys menurunkan *orthogonal regression relationships* antara variasi umum skala magnitudo:

$$0,77 M_b - 0,64 M_L = 0,73 \quad (3.5)$$

$$0,86 M_b - 0,49 M_s = 1,94 \quad (3.6)$$

$$0,80 M_L - 0,60 M_s = 1,04 \quad (3.7)$$

3.4. Energi Gempa Bumi

Menurut Subardjo dan Ibrahim (2004), pembangkit utama terjadinya gempa bumi adalah pergerakan lempeng tektonik. Akibat pergerakan lempeng maka di sekitar perbatasan lempeng akan terakumulasi energi, dan jika lapisan batuan telah tidak mampu manahannya maka energi akan terlepas yang menyebabkan terjadinya patahan ataupun deformasi pada lapisan kerak bumi dan terjadilah gempa bumi tektonik. Sementara kekuatan gempa bumi atau Magnitudo adalah ukuran kekuatan gempa bumi, menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempa bumi terjadi dan merupakan hasil pengamatan Seismograf.

Bentuk energi yang dilepaskan saat terjadinya gempa bumi antara lain adalah energi deformasi gelombang. Energi deformasi dapat dilihat pada perubahan bentuk

volume sesudah terjadinya gempa bumi, seperti misalnya tanah naik, tanah turun, pergeseran batuan, dan lain-lain. Sedangkan energi gelombang akan menggetarkan medium elastis disekitarnya dan akan menjalar ke segala arah.

Berdasarkan cuplikan dari Gunawan Ibrahim dan Subardjo (2004), rumusan energi yang disepakati oleh Internasional adalah rumusan dari Bath yakni untuk M_b (*magnitude body*) dan M_s (*magnitude surface*) sebagai berikut:

$$\log E = 5,78 + 2,48 M_b \quad (3.8)$$

$$\log E = 12,24 + 1,44 M_s \quad (3.9)$$

Sedangkan rumusan yang asli dari Guttentberg dan Richter (1942) adalah :

$$\log E = 11,3 + 1,8 M_s \quad (3.10)$$

Sedangkan hubungan magnitudo permukaan (M_s) terhadap magnitudo momen (M_w) dinyatakan dalam persamaan:

$$\text{Log } M_0 = 1,5 M_s + 16,1 \quad (3.11)$$

$$M_w = (\text{Log } M_0 / 1,5) - 10,73 \quad (3.12)$$

3.5. Parameter Bidang Sesar

Mekanisme fokus memberikan tambahan informasi mengenai parameter gempa bumi seperti jenis sesar gempa bumi. Parameter sesar terdiri dari ukuran sesar yang dinyatakan dalam km (kilometer) yaitu panjang dan lebar. Selain itu terdapat jarak pergeseran, momen seismik, *stress drop*, serta *source process* atau proses pecahnya batuan saat terjadi gempa atau *rupture process*. *Strike* adalah arah sesar yang diukur searah jarum jam dari titik utara. Kisaran derajatnya dari arah 0° - 360° . *Dip* adalah sudut kemiringan sesar dari blok yang tegak (*foot-wall block*) diukur dari bidang mendatar horizontal. Ukuran sudut nilainya dari 0° - 90° . Sedangkan *rake* atau *slip* adalah arah pergerakan sesar tersebut diukur dari penampang muka sesar dengan arah diukur dari arah *strike* ke arah mana *slip* bergerak (berlawanan arah *strike* dan *dip*). Ukuran sudutnya dari arah -180° - 180° . Jarak pergeseran *slip* atau *dislocation* dinyatakan dalam satuan meter (Sunarjo, dkk., 2010)

Bidang patahan meliputi panjang patahan di permukaan, maksimum panjang patahan di bawah permukaan, maksimum perpindahan (*displacement*), rata rata perpindahan (*displacement*) berdasarkan metode *scaling law* oleh Wells and Coppersmith (1994) yang semuanya dinyatakan dalam kilometer (km). Secara empiris, persamaan *scaling law* di tulis dalam persamaan:

$$M_w = 5,08 + 1,16 \times \text{Log} (SRL) \quad (3.13)$$

$$M_w = 6,69 + 0,74 \times \text{Log} (MD) \quad (3.14)$$

$$M_w = 6,93 + 0,82 \times \text{Log} (AD) \quad (3.15)$$

$$M_w = 4,38 + 1,49 \times \text{Log} (RLD) \quad (3.16)$$

Dimana :

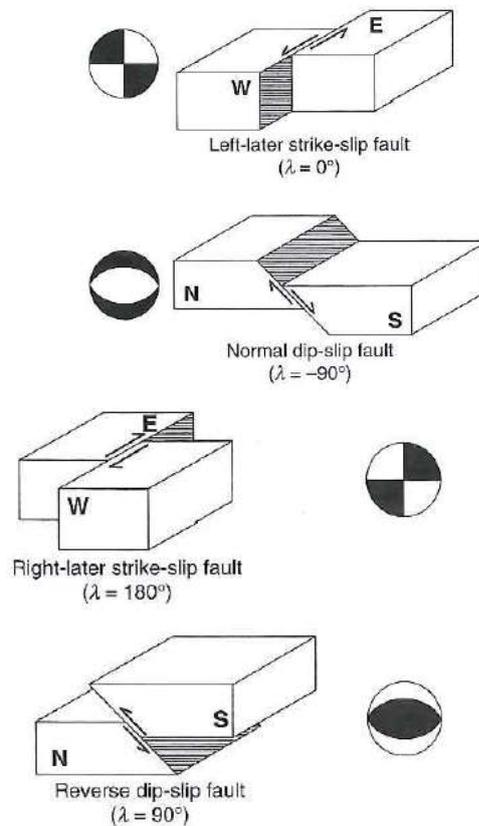
RLD : panjang patahan bawah permukaan

SRL : panjang patahan permukaan

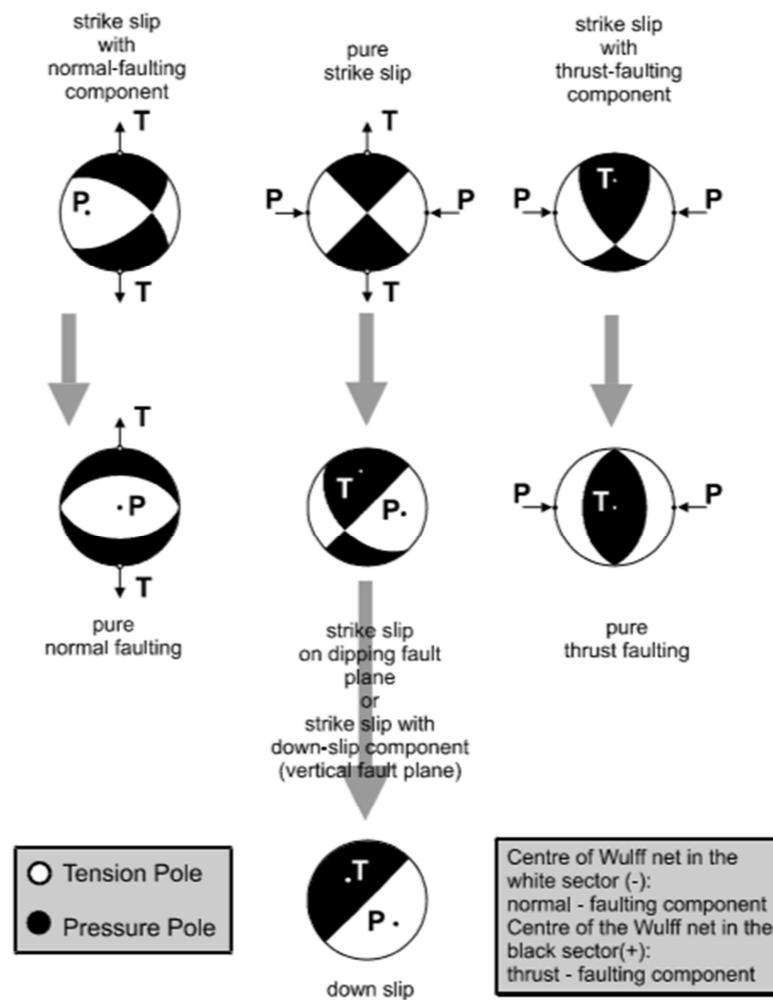
MD : maksimum perpindahan

AD : rata rata perpindahan

Menurut Sunarjo dkk (2010), dalam keadaan yang sebenarnya permukaan sesar (patahan) atau fault dapat mempunyai keadaan yang berbeda dan demikian pula dengan gerakannya dapat mempunyai arah yang berlainan sepanjang permukaannya. Dapat dibedakan atas tiga bentuk gerakan dasar dari sesar, yaitu: sesar mendatar, turun, dan naik.



Gambar 7. Contoh geometri focal mechanism sesuai pola beachball (Stein dan Wyssession, 2003).



Gambar 8. Jenis-jenis pergerakan sesar digambarkan dalam bola mekanisme fokus (Boorman, 2002)

3.6. Tsunami

Tsunami adalah gelombang laut yang terjadi karena adanya gangguan impulsif pada laut. Gangguan impulsif tersebut terjadi akibat adanya perubahan bentuk dasar laut secara tiba-tiba dalam arah vertikal (Pond and Pickard, 1983). Perubahan tersebut disebabkan oleh tiga sumber utama, yaitu gempa tektonik, letusan gunung api, atau longsor yang terjadi di dasar laut (Ward, 1982). Istilah tsunami murni berasal dari kosakata bahasa Jepang (Hiragana), yaitu *Tsu* yang berarti gelombang dan *Nami*

yang berarti pelabuhan atau bandar, sehingga tsunami dapat didefinisikan sebagai gelombang pelabuhan. Pengertian lain bahwa tsunami adalah gelombang besar yang terjadi ketika bagian lantai samudera berubah akibat letusan gunung berapi, longsor bawah laut, atau gempa bumi bawah laut (Sunarjo, dkk., 2010). Sementara menurut BMKG dalam tesis Jihad (2017), klasifikasi ketinggian gelombang tsunami di klasifikasikan menjadi 3 status, yakni SIAGA, WASPADA dan AWAS, seperti pada Tabel 1.

Tabel 2. Klasifikasi Ketinggian Gelombang Tsunami (BMKG dalam Jihad, 2017)

Ketinggian Gelombang	Status
0,5 meter	SIAGA
$0,5 \text{ meter} < h < 3 \text{ meter}$	WASPADA
$h > 3 \text{ meter}$	AWAS

3.6.1. Mekanisme Pembangkit Tsunami

Tsunami bisa diakibatkan oleh gempa. Gempa bumi itu sendiri penyebabnya bisa terjadi oleh tiga faktor, yaitu: akibat pergerakan lempeng tektonik (gempa bumi tektonik), akibat aktivitas gunung berapi (gempa bumi vulkanik), dan akibat ledakan (gempa bumi runtuh). Dengan adanya perubahan (dislokasi) struktur batuan akibat gempa bumi pada lantai samudera secara mendadak, hal ini dapat mempengaruhi kolom air di atasnya sampai ke permukaan laut. Perubahan muka air laut ini yang selanjutnya dapat menimbulkan gelombang tsunami. Meski demikian gempa bumi tsunami (*earthquakegenic tsunami*) akan terjadi bila beberapa persyaratan lingkungan pendukungnya terpenuhi, antara lain:

1. Lokasi pusat gempa bumi (episenter) berada di laut

2. Kedalaman pusat gempa bumi (hiposenter) relatif dangkal kedalaman kurang dari 60 km dari dasar laut (*seabed*)
3. Magnitudo lebih besar dari 6,5 SR
4. Mekanisme sesar gempa bumi bertipe sesar gempa bumi vertikal naik (*reverse fault*) atau vertikal turun (*normal fault*) yang menimbulkan pergeseran dasar laut
5. Terjadi di zona subduksi lempeng tektonik
6. Bentuk muka pantai landai (Sunarjo, dkk., 2010)

Sementara itu menurut Marwanta (2005), ada beberapa kriteria gempa bumi agar dapat dikatakan sebagai potensi tsunami, dimana dilihat dari parameter gempa bumi yakni:

1. Pusat gempa bumi (hiposenter) berada pada bawah permukaan laut,
2. Kedalaman gempa bumi dangkal ($0 < 0 \leq 60$ km),
3. Mekanisme sumber vertikal,
4. Kekuatan (magnitudo) besar, dimana kekuatan gempa ini menjadi faktor dominan terhadap ketinggian gelombang tsunami

Berdasarkan cuplikan dari Tesis Jihad (2017), hubungan empiris kekuatan gempa bumi dengan kekuatan tsunami dirumuskan pada persamaan berikut (Iida, 1963):

$$m = 2,26 M - 14,18 \quad (3.17)$$

3.7. Teori *Shallow Water*

Pergerakan tsunami terjadi secara lambat dan seperti gelombang perairan dangkal. Pada gelombang perairan dangkal cepat rambat gelombangnya normal dan sama dengan fase cepat rapat gelombang. Ketika gelombang memasuki perairan dangkal, kecepatan dan panjang gelombang tsunami menjadi semakin rendah sedangkan ketinggian gelombangnya semakin tinggi serta periode gelombang tidak berubah (UNESCO, 2006).

Shallow water dalam aproksimasi linier membawa gelombang tsunami sampai batas validitas model air dangkal linier dan kemudian memperkirakan amplitudo tsunami pesisir puncak dengan hukum *Green*. Dalam pemodelan tsunami menggunakan *EasyWave* maupun *software* lain seperti TUNA dan TUNAMI, bergantung pada konservasi massa dan perhitungan momentum yang telah dirata-rata kedalamannya. Penjalaran tsunami memenuhi syarat yang penting untuk menggunakan *Shallow Water Equation* (SWE):

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3.20)$$

dimana, perubahan *volume* per panjang unit (M,N) pada arah x- dan y- berhubungan dengan kedalaman rata-rata cepat rambat gelombang u dan v dengan $M =$

$u(h + \eta) = uD$, dan $N = v(h + \eta) = vD$, dimana h adalah kedalaman *mean sea* dan η adalah elevasi air sesuai dengan tsunami. Sebagai catatan, g adalah akselerasi gravitasi dan D adalah total kedalaman air ($D = h + \eta$) (Koh, 2009).

3.8. *EasyWave*

EasyWave adalah perangkat lunak yang ditulis dalam Bahasa C++ untuk mensimulasikan penjalaran tsunami dan peringatan dini, terutama untuk tsunami lokal yang membutuhkan akses yang sangat cepat dalam suatu simulasi tsunami. *EasyWave* menggunakan perhitungan shallow water dengan aproksimasi linier yang berarti tidak menghitung inundasi pantai dan detail runup secara langsung. *EasyWave* membawa gelombang tsunami hingga batas validasi linier dari model shallow water (biasanya pada kedalaman 20 – 50 meter) dan kemudian mengestimasi puncak amplitudo tsunami di pantai dengan Hukum Green. *EasyWave* menghasilkan output berupa 1D dan 2D. Waktu rambat gelombang akan terekam pada setiap lokasi POI (point of interest) dengan format text-table sederhana. Data resiko relevan seperti estimasi waktu datang gelombang (ETA) dan estimasi ketinggian gelombang (EWH) ditetapkan secara baik. Output 2D penjalaran gelombang akan disimpan pada interval waktu reguler sebagai format biner GRD-files (Golden Software Grid) (Babeyko, 2012).

IV. METODELOGI PENELITIAN

4.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kota Bumi yang dilaksanakan pada tanggal 13 Agustus 2018 sampai dengan 12 Oktober 2018. Judul dari penelitian Tugas Akhir ini adalah “ANALISIS ENERGI POTENSIAL GEMPA BUMI SEBAGAI PARAMETER PEMODELAN TSUNAMI DI LAUT KEPULAUAN NIAS-SIMELUE”.

4.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop
2. *Software* Microsoft Excel
3. *Software* GMT ver. 5.4.4.
4. *Software EasyWave*
5. *Golden Software Surfer 13*

4.3. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sebagai berikut:

1. Analisis energi potensial menggunakan data gempa berupa *longitude* dan *latitude* serta magnitudo pada wilayah Kepulauan Nias-Simeulue. Wilayah penelitian Tugas Akhir berada pada koordinat 0,121 LS – 3,02 LU dan 94,911 BT – 98,207 BT.
2. Pembuatan *focal mechanism* menggunakan data gempa dengan magnitudo momen > 7 dan kedalaman < 60 meter sejak tahun 2005. Data tersebut di peroleh dari GlobalCMT.

4.4. Pengolahan Data

1. Perhitungan energi potensial gempa bumi di sekitar kepulauan Nias

Perhitungan energi potensial gempa bumi ini dilakukan dengan metode kuadrat terkecil (*least square*). Energi lepas pertahun dapat kita tentukan dengan membuat persamaan linier $Y = A + E1 X$, dimana Y adalah energi gempabumi kumulatif; A adalah konstanta persamaan linier; E1 adalah jumlah energi lepas gempabumi pertahun; X adalah selang waktu dalam tahun dimana tahun ke-1 dimulai dari tahun 1970 (Gunawan 2010; Ardiansyah 2014)

Tahap tahap yang dilakukan dalam menghitung energi potensial pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung energi total pertahun, sejak tahun 1900 sampai dengan 2017.

Namun sebelum itu, dilakukan konversi pada skala kekuatan seluruh

gempa menjadi magnitudo permukaan (*magnitude surface*). Hal itu di karenakan rumusan internasional dalam perhitungan energi gempa adalah rumusan dari Bath (1970) dimana menggunakan skala Ms atau Mb. Namun pada skala kekuatan gempa *Magnitude* tidak dilakukan konversi menjadi magnitudo permukaan, karena perhitungan energi dilakukan menggunakan perumusan energi dari Gutenberg.

- b. Menghitung rata rata energi lepas pertahun (E1) menggunakan metode *Least Square* dimana $E1 = \frac{n\sum(Xi.Yi) - (\sum Xi)(\sum Yi)}{n\sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}$. Pada perhitungan E1 menggunakan nilai energi gempa per tahun sejak tahun 1900 sampai dengan 2017.
- c. Menghitung energi potensial gempa bumi. Perhitungan energi potensial gempa bumi dilakukan dengan mencari selisih antara jumlah total energi gempa bumi yang terlepas dalam kurun waktu 97 tahun dengan rata rata energi gempa bumi terlepas yang sudah dikali kan dengan jumlah tahun sesuai data (yakni 97 tahun). Setelah itu diperoleh nilai energi potensial yang terakumulasi dalam kurun waktu 97 tahun. Pada perhitungan energi potensial gempa bumi ini di dasarkan pada Jurnal Sabar Ardiansyah (2014) serta Tesis dari Abdi Jihad (2017)

2. Membuat peta persebaran *focal mechanism*

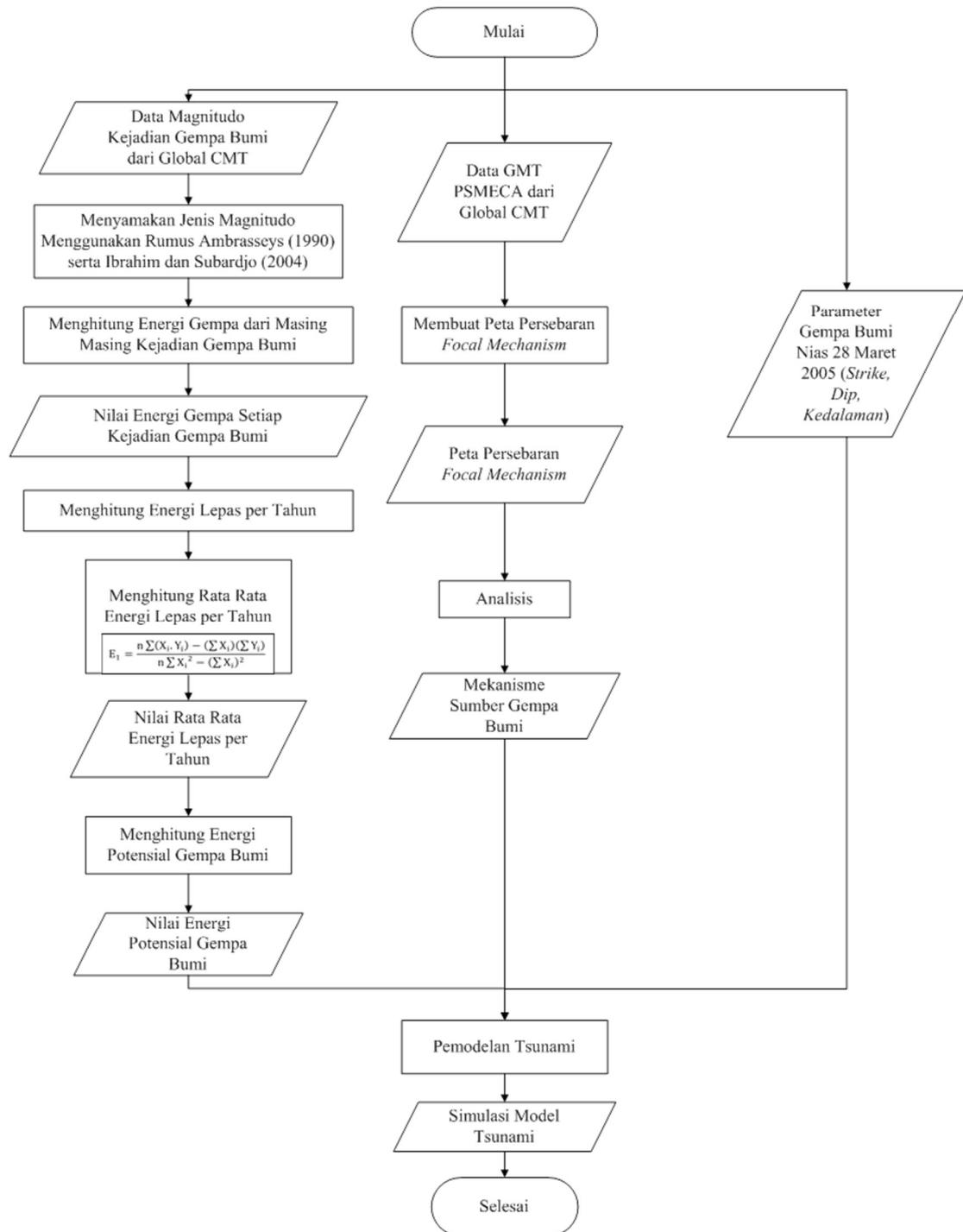
Pembuatan bola *focal* ini dilakukan dengan menggunakan *software* GMT

5.4.4. Pembuatan peta persebaran *focal mechanism* dilakukan dengan memasukan data gempa dari GlobalCMT dan menjalankan *software* GMT 5.4.4.

3. Membuat simulasi tsunami

Pembuatan simulasi tsunami menggunakan empat skenario dengan parameter gempa, yakni nilai magnitudo momen, *strike*, *dip*, serta kedalaman. Masing masing skenario memiliki parameter parameter yang sama, kecuali nilai magnitudo gempa buminya.. Nilai magnitudo momen gempa di peroleh dari hasil konversi analisis energi potensial menuju momen magnitudo. Masing masing skenario dibedakan pada tahun pengumpulan energi potensial berdasarkan perhitungan regresi linier. Pada skenario pertama menggunakan energi potensial pada periode tahun ke 20, tahun ke 40 untuk skenario kedua, tahun ke 60 untuk skenario ketiga dan tahun ke 80 untuk skenario keempat. Sedangkan nilai *strike* dan *dip* serta kedalaman di peroleh berdasarkan parameter gempa bumi Nias 28 Maret 2005 yang bersumber dari GlobalCMT.

4.5. Diagram Alir



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

VI. KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan energi potensial dalam kurun waktu 98 tahun adalah $2,245 \times 10^{24}$ atau yang jika dikonversikan dalam magnitudo momen (Mw) akan menghasilkan gempa bumi sebesar 8,4. Sementara itu diperoleh pula persamaan regresi $M_w = 0,0125Tahun + 7,1875$. Setiap kenaikan 1 satuan tahun akan menaikkan nilai Mw sebesar 0,0125 satuan ditambah 7,1875.
2. Lima gempa bumi berpotensi tsunami yang terjadi di sekitar Kepulauan Nias-Simeulue memiliki mekanisme sumber berupa patahan naik (*thrust fault*) dengan arah patahan Barat Laut – Tenggara.
3. Simulasi dilakukan dengan 4 skenario dimana masing masing skenario memiliki parameter koordinat, kedalaman, *strike* dan *dip* yang sama, namun dibedakan pada nilai magnitudonya. Nilai magnitudo berdasarkan dari hasil konversi energi potensial menuju Mw pada tahun ke 20, 40, 60 dan 80 menggunakan persamaan regresi. Pada skenario pertama dengan nilai Mw 7,4 menghasilkan gelombang

tsunami dengan ketinggian maksimum 1 meter. Pada skenario kedua dengan nilai Mw 7,7 menghasilkan gelombang tsunami dengan ketinggian maksimum 2,04 meter. Pada skenario ketiga dengan nilai Mw 7,9 menghasilkan gelombang tsunami dengan ketinggian maksimum 2,78 meter. Dan Skenario keempat dengan nilai Mw 8,2 menghasilkan gelombang tsunami dengan ketinggian maksimum setinggi 3,05 meter.

6.2. Saran

Penelitian ini dilakukan menggunakan data-data yang bersumber dari beberapa instansi terkait. Hal ini memungkinkan adanya ketidaksesuaian data terhadap metode yang digunakan. Selain itu, identifikasi kondisi lapangan secara langsung dinilai penting dalam penelitian ini sebagai koreksi terhadap hasil-hasil pemodelan yang diperoleh dan dalam penelitian ini belum dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiyansyah, S. 2014. Energi Potensial Gempabumi di Kawasan Segmen Mentawai Sumatra Barat. *Physics Sciences Journal*. Vol. 2 No.1. 2014.
- Babeyko, A. 2012. *EasyWave: Fast Tsunami Simulation Tool for Early Warning*. GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam.
- BMKG. 2012. *Evaluasi Sistem Peringatan Dini Tsunami, Gempabumi Aceh 11 April 2012*. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. Jakarta.
- BMKG. 2012. *GempaBumi Signifikan & Merusak 1821 – 2011*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.
- Bock, Y. Prawirodirdjo, L. Genrich, J, F. Stevens, C, W. McCaffrey, R. Subarya, C. Puntodewo, S, S, O. dan Calais, E. 2003. Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 108 No. B8. 2003.
- Boorman, P. 2002. *New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP)*. Germany: Geo Forschungs Zentrum Potsdam.
- Dewi, F, C. 2018. *Relokasi Hiposenter Gempabumi Wilayah Sumatera Bagian Selatan Menggunakan Metode Double-Difference (Hypodd)*. Jurusan Teknik Geofisika. Fakultas Teknik. Universitas Lampung.
- Gutenberg, B. dan Richter, C, F. 1942. Earthquake Magnitude Intensity, Energy and Acceleration. *Bulletin Of The Seismol. Soc. Am.* 32 : 163-19.
- Hagiwara, T. 1964. Brief Description of The Project Proposed by The Earthquake Prediction Group in Japan. *Prociding US-Japan Conference on research related to earthquake prediction problems*. Tokyo. 10-12.
- Hall, R. dan Blundell, D, J. 1996. Tectonic evolution of Southeast Asia. *Geological Society Special Publication*. No. 106. pp. vii-xiii.
- Hidayati, S. 2010. *Pengenalan Seismologi Gunungapi*. Bandung: Diklat Pelaksana Pemula Pengamat Gunungapi Baru. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

- Koh, H. L., The, S. Y., Majid, T. A., Lau, T. L., dan Ahmad, F. 2012. *Earthquake and Tsunami Research in USM: The Role of Disaster Research Nexus*. *Pertanika J. Sci. & Technol.* 20 (1): 151 – 163. ISSN : 0128-7680.
- Minster, J, B. dan Jordan, T, H. 1978. Present Day Plate Motions. California: *Journal of Geophysical Research Atmospheres*.
- Marwanta, B. 2005. Tsunami di Indonesia dan Upaya Mitigasinya. *Jurnal Alami* Vol. 10 No. 2. 2005.
- Natawidjaja, D, H. 2007. *Gempabumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam*. Jakarta: LIPI.
- Newcomb, K, R. dan McCan, W, R. 1987. Seismic History and Seismotectonics of Sunda Arc. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 92 No. B1. 1987.
- Pond, S. dan Pickard, G, L. 1983. *Introductory Dynamical Oceanography Second Edition*, Oxford London Boston: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Prawirodirdjo, L. Bock, Y. dan Genrich, J, F. 2000. One Century of Tectonic Deformation Along The Sumatran Fault from Triangulation and Global Positioning System Surveys. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 105. No. B12. 2000.
- RPJMD. 2017. *RPJMD Kabupaten Simeulue Tahun 2012 – 2017*. Aceh.
- Samuel, A, M. dan Harbury, N, A. 1996. The Mentawai fault zone and deformation of the Sumatran Forearc in the Nias area. *Geological Society, London, Special Publications*. Vol. 106. 1996.
- Setyonegoro, W. Sunardi, B. Sulastri. Nugraha, J. dan Susilanto, P. 2012. Analisis Sumber Gempabumi Pada Segmen Mentawai (Studi Kasus: Gempabumi 25 Oktober 2010). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*. Vol. 13 No. 2 Tahun 2012 : 139-148.
- Subardjo. dan Ibrahim, G. 2004. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Sunarjo. Gunawan, M, T. dan Pribadi, S. 2012. *GempaBumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Stein, S. dan Wysession, M. 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Blackwell: Garsington Road, Oxford.
- UNESCO. 2006. *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. IOC Manuals and Guides No.14, vol. IV : JCOMM Technical Report No.31: WMO/TD. No. 1339*. France.
- Ward, S, N. 1982. On Tsunami Nucleation: II. An Instantaneous modulate line source. *Phys. Earth Planet. Inter.* 27. 273-285.
- Wells, D, L. dan Coppersmith, K, J. 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface

Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 84 No. 4 Tahun 1994: 974-1002.