

**ANALISIS PERUBAHAN LAJU SEISMIK
(*SEISMIC RATE CHANGE*) BERDASARKAN DISTRIBUSI
SPASIAL SEISMOTEKTONIK WILAYAH SUMATERA
BAGIAN UTARA**



**Vicky Fikrotu Zakiyah
NIM. 17034033**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021**

**ANALISIS PERUBAHAN LAJU SEISMİK
(SEISMIC RATE CHANGE) BERDASARKAN DISTRIBUSI
SPASIAL SEISMOTEKTONIK WILAYAH SUMATERA
BAGIAN UTARA**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



**Oleh:
Vicky Fikrotu Zakiyah
NIM. 17034033**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021**

PERSETUJUAN SKRIPSI

ANALISIS PERUBAHAN LAJU SEISMİK (*SEISMIC RATE CHANGE*) BERDASARKAN DISTRIBUSI SPASIAL SEISMOTEKTONIK WILAYAH SUMATERA BAGIAN UTARA

Nama : Vicky Fikrotu Zakiyah
NIM : 17034033
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Ilmu Pengetahuan Alam dan Matematika

Padang, 1 November 2021

Mengetahui :
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Ratnawulan, M.Si.
NIP.196901201993032002

Disetujui Oleh :
Pembimbing



Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D.
NIP.197403051998022001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Vicky Fikrotu Zakiyah
NIM : 17034033
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Ilmu Pengetahuan Alam dan Matematika

**ANALISIS PERUBAHAN LAJU SEISMIC
(SEISMIC RATE CHANGE) BERDASARKAN DISTRIBUSI
SPASIAL SEISMOTEKTONIK WILAYAH SUMATERA
BAGIAN UTARA**

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 1 November 2021

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D.
Anggota	: Dr. Hamdi, M.Si.
Anggota	: Drs. Letni Dwiridal, M.Si.

Tanda Tangan

ANALISIS PERUBAHAN LAJU SEISMIK (*SEISMIC RATE CHANGE*) BERDASARKAN DISTRIBUSI SPASIAL SEISMOTEKTONIK WILAYAH SUMATERA BAGIAN UTARA

ABSTRAK

Wilayah Sumatera bagian utara memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi. Sebelum terjadi gempa bumi signifikan, biasanya didahului oleh fenomena penurunan aktivitas seismik (*seismic quiescence*). Fenomena ini dapat diamati pada perubahan laju seismik atau *seismic rate change* di suatu wilayah berdasarkan distribusi spasial *z-value*. Penulis tertarik untuk mengamati perubahan laju seismik di wilayah Sumatera bagian utara berdasarkan distribusi spasial *z-value*.

Data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari situs USGS dengan periode tahun 1990-2021. Penelitian dilakukan pada lima zona fokus, tiga zona pada event gempa bumi 2004 (8,1 SR), 2005 (7,8 SR), 2010 (7,1 SR), dua zona dengan koordinat 0,6-1,8 LU dan 96,8-97,6 BT dan zona dengan koordinat 3,6-4,8 LU dan 97,8-98,6 BT. Menggunakan metode distribusi spasial *z-value*, wilayah dibagi menjadi beberapa grid. *Z-value* dihitung pada setiap grid dan menggambarkan *seismic rate change* wilayah Sumatera bagian utara. Fenomena *seismic quiescence* dapat dilihat berdasarkan perubahan laju seismik yang telah didapatkan.

Hasil yang diperoleh dari pengamatan di wilayah Sumatera bagian utara, yaitu sebelum terjadi event gempa bumi tahun 2004, 2005 dan 2010 terdapat fenomena *seismic quiescence* yang mendahului event gempa bumi tersebut. Zona yang memiliki aktivitas seismik yang tinggi muncul fenomena *seismic quiescence* lima tahun di permulaan tahun 2021. Sementara itu pada zona yang memiliki tingkat aktivitas seismik yang rendah peningkatan aktivitas seismik muncul enam tahun sebelum permulaan tahun 2021. Berdasarkan distribusi spasial *z-value* pada permulaan tahun 2021 terdapat fenomena penurunan aktivitas seismik di beberapa wilayah Sumatera bagian utara. Hal ini patut dicurigai menjadi gejala awal akan terjadinya gempa bumi pada masa mendatang.

Kata kunci : gempa bumi, *seismic quiescence*, *seismic rate change*, *z-value*

SEISMIC RATE CHANGE ANALYSIS BASED ON
SPATIAL DISTRIBUTION OF SEISMOTECTONICS
IN NORTHERN SUMATRA

Abstract

The northern Sumatra has a high level of seismic activity. Before a significant earthquake occurs, it is usually preceded by the phenomenon of a decrease in seismic activity (seismic quiescence). This phenomenon can be observed in seismic rate change in an area based on the spatial distribution of z-value. The author is interested in observing seismic rate changes in the northern Sumatra based on the spatial distribution of z-value.

The data used are from the USGS site for the period 1990-2021. The study was conducted in five focus zones, three zones in the earthquake event of 2004 (8.1 SR), 2005 (7.8 SR), 2010 (7.1 SR), two zones with coordinates 0.6-1.8 LU and 96 ,8-97.6 East Longitude and zones with coordinates 3.6-4.8 North Latitude and 97.8-98.6 East Longitude. Using the z-value spatial distribution method, the region is divided into several grids. Z-value is calculated on each grid and describes the seismic rate change in the northern Sumatra. The phenomenon of seismic quiescence can be seen based on the seismic rate change that has been obtained.

The results obtained from observations in the northern Sumatra, namely before the earthquake event in 2004, 2005 and 2010 there was a seismic quiescence phenomenon that preceded the earthquake event. Zones that have high seismic activity will appear a few years seismic quiescence phenomenon in early 2021. Meanwhile in zones that have low seismic activity levels an increase in seismic activity will appear six years before the beginning of 2021. Based on the spatial distribution of z-values in early 2021 there is a phenomenon of a decrease in seismic activity in several areas of northern Sumatra. This should be suspected as an early symptom of an earthquake in the future.

Keywords: earthquake, seismic quiescence, seismic rate change, z-value

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran tuhan yang maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan kasih sayang-Nya. Tidak lupa pula shalawat dan salam senantiasa tercurahkan bagi Rasulullah Saw yang telah membawa manusia dari zaman kegelapan hingga menuju zaman yang terang benderang, sehingga penulis diberikan kesempatan, kemampuan dan kekuatan untuk menyelesaikan skripsi yang berjudul **Analisis Perubahan Laju Seismik (*Seismic Rate Change*) Berdasarkan Distribusi Spasial Seismotektonik Wilayah Sumatera Bagian Utara**. Penulisan Skripsi ini adalah sebagai syarat dalam menyelesaikan Program Studi Strata Satu (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Dalam menyelesaikan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan bimbingan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr Hj. Ratnawulan, M.Si sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNP.
2. Ibu Syafriani, S.Si., M.Si., Ph.D sebagai Ketua Prodi Fisika, penasehat akademik dan pembimbing tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Hamdi, M.Si., dan bapak Drs. Letmi Dwiridal, M.Si., sebagai tim penguji.
4. Kedua orang tua yang selalu memberikan semangat dan do'a.
5. Seluruh Tim Seismik yang telah melakukan penelitian bersama penulis dan memberikan semangat kepada penulis.

6. Semua rekan-rekan yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Skripsi ini masih sangat jauh dari kata sempurna, meskipun penulis sudah melakukan usaha terbaik untuk menjadikan skripsi ini lebih baik. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membantu penulis dalam menjadikan skripsi ini lebih baik.

Padang , 2 November 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	7
C. Batasan Masalah.....	7
D. Rumusan Masalah	7
E. Tujuan Penelitian.....	8
F. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II KERANGKA TEORITIS.....	8
A. Gempabumi	9
B. Seismotektonik Wilayah Sumatera Bagian Utara	17
C. Aktivitas Kegempaan Wilayah Sumatera Bagian Utara	20
D. <i>Seismic Rate Change</i>	21
E. Distribusi Spasial Seismotektonik.....	24
F. Penelitian-penelitian Relevan.....	27
G. Kerangka Berpikir Penelitian	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	34
A. Jenis Penelitian	34
B. Variabel Penelitian	34

C.	Data Penelitian	34
D.	Teknik Pengumpulan Data	36
E.	Teknik Pengolahan Data	36
F.	Teknik Interpretasi Data	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		39
A.	Hasil.....	39
B.	Pembahasan	52
BAB V PENUTUP.....		58
A.	Kesimpulan.....	58
B.	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA		60
LAMPIRAN		63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Seismisitas Sumatera bagian Utara Periode 2009-2012.....	4
Gambar 2. Ilustrasi <i>Elastic Rebound Theory</i>	10
Gambar 3. Siklus Gempabumi (a) <i>Interseismic</i> (b) <i>Coseismic</i> (c) <i>Postseismic</i>	12
Gambar 4. Peta jalur patahan aktif Sumatera.....	19
Gambar 5. Kurva Long Term Average (LTA).....	25
Gambar 6. Kerangka Berpikir Penelitian	31
Gambar 7. Peta lokasi penelitian wilayah Sumatera bagian utara	35
Gambar 8. Seismisitas wilayah sumatera bagian utara periode 1990-2021	39
Gambar 9. Grafik tiga dimensi variasi latitude dan longitude	40
Gambar 10. Distribusi frekuensi magnitudo gempa wilayah.....	41
Gambar 11. Tiga episenter gempabumi besar.....	42
Gambar 12. Dua zona fokus berdasarkan sebaran seismisitas.....	43
Gambar 13. Kurva LTA dengan <i>z-value</i>	43
Gambar 14. Distribusi spasial <i>z-value</i> sebelum event gempa 2004 (8,1 SR)	45
Gambar 15. Distribusi spasial <i>z-value</i> sebelum event gempa 2005 (7,8 SR)	47
Gambar 16. Distribusi spasial <i>z-value</i> sebelum event gempa 2010 (7,1SR)	48
Gambar 17. Distribusi spasial <i>z-value</i> pada zona aktivitas tinggi.....	49
Gambar 18. Distribusi spasial <i>z-value</i> pada zona aktivitas rendah	50
Gambar 19. Distribusi spasial <i>z-value</i> pada wilayah Sumatera bagian utara.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Skala MMI	16
--------------------------	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data awal USGS	63
Lampiran 2. Data input ZMAP	63

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Gempabumi menjadi salah satu fenomena alam yang sering terjadi di Indonesia. Fenomena ini terjadi dalam bentuk guncangan atau getaran yang terjadi secara tiba-tiba dalam waktu yang tidak bisa ditentukan. Gempabumi sering terjadi karena adanya patahan-patahan di Zona Subduksi dan Sesar Sumatera. Dimana Indonesia merupakan wilayah yang menjadi zona pertemuan dari 4 lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Filipina (Rohadi, 2008). Hal ini yang menyebabkan Indonesia banyak terjadi gempabumi.

Indonesia telah banyak dilanda gempa yang merusak. Selain itu tak sedikit juga diikuti oleh gelombang tsunami yang dahsyat. Kepulauan di Indonesia mempunyai resiko besar terhadap gempabumi, dimana 80% dari wilayah Indonesia terletak di daerah seismik yang beresiko tinggi di dunia (Naryanto, 2008). Salah satu pulau di Indonesia yang memiliki tingkat kegempaan yang tinggi yaitu pulau Sumatera.

Pulau Sumatera memiliki 2 kondisi tektonik yang mempengaruhi aktivitas seismik di sekitarnya. Pertama, Zona Subduksi yang merupakan batas antara lempeng indo-Australia dan lempeng Eurasia. Zona Subduksi ini sejajar dengan garis pantai Sumatera. Kedua, Zona Sesar Sumatera atau Sesar Semangko, Sesar Sumatera berada di darat Pulau Sumatera yang membelah Pulau Sumatera menjadi dua (Naryanto, 2008). Wilayah Sumatera bagian utara termasuk ke dalam wilayah yang berada di zona Subduksi dan Sesar Sumatera.

Wilayah Sumatera bagian Utara meliputi wilayah Nanggroe Aceh Darussalam, Kepulauan Nias dan Sumatera Utara. Sejarah mencatat hingga saat ini Sumatera bagian utara telah terjadi banyak gempa signifikan merusak, merugikan dan menimbulkan korban jiwa. Salah satu sejarah gempa yang pernah terjadi di Nias yaitu gempa pada tanggal 28 Maret 2005 luasnya hingga ke segmen Kepulauan Batu. Gempa dengan kekuatan 8,7 SR magnitudo dan tidak menimbulkan tsunami. Sebelumnya di Nias pernah terjadi gempa yang menyebabkan tsunami, yaitu gempa 16 Februari 1861 dengan kekuatan 8,5 magnitudo (46 tahun sebelum gempa 2005) (Karih, 2011). Gempa Nias 2005 memiliki bidang patahan yang sama dengan gempa Nias 1861 (Newcomb, 1987). Selain gempa Nias, pada tanggal 26 Desember 2004 juga terjadi gempa di Aceh dengan kekuatan 9,2 M. Gempabumi ini mengakibatkan tsunami yang menelan sangat banyak korban jiwa. Dipastikan lebih dari 150.000 jiwa tewas (Andreas, 2006). BMKG banyak mencatat gempa signifikan yang terjadi di Wilayah Sumatera bagian utara.

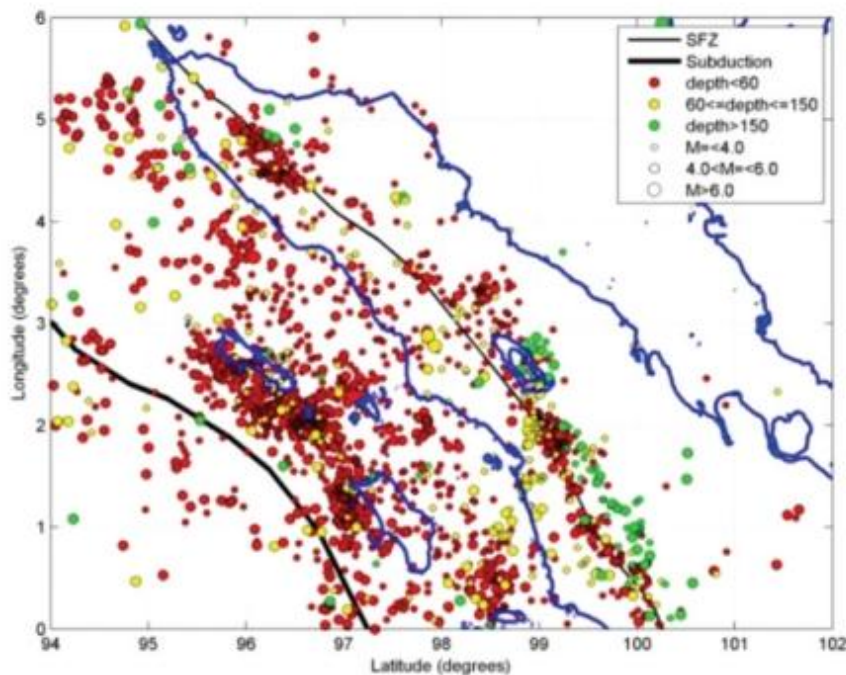
Berdasarkan katalog gempabumi signifikan dan merusak Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), gempabumi tersebut diantaranya; gempabumi Pangkalan Brandan (1936) dengan kekuatan 7,2 SR, gempabumi Gunung Sitoli (2005) dengan magnitudo 8,6 SR yang berpotensi tsunami. Menimbulkan kerusakan parah dan kerugian yang besar serta banyaknya korban jiwa. Gempabumi Sumatera Utara (1984) dengan magnitudo 7,4 SR. Lokasi gempa terjadi di laut lepas dekat Pulau Nias. Gempabumi yang berpotensi tsunami juga terjadi pada tahun 1843 di Gunung Sitoli dan 1861 di Tapanuli-Sibolga. Gempa Meulaboh (2010) dengan

kekuatan 7,4 SR. Gempabumi Aceh (1936) dengan magnitudo 7,3 SR yang menimbulkan korban jiwa dan kerusakan parah pada bangunan disekitarnya. Gempabumi Aceh (1967) dengan magnitudo 6,1 SR, menimbulkan kerusakan dan kerugian bahkan pada jembatan dan bangunan sekolah (BMKG, 2010).

Berdasarkan data katalog gempa di atas menunjukkan bahwa wilayah Sumatera bagian Utara memiliki tingkat seismisitas yang tinggi. Tingkat seismisitas suatu wilayah dapat dianalisis dengan menggunakan distribusi frekuensi-magnitudo. Dimana nilai-a (tingkat keaktifan gempa) dan nilai-b (*stress* lokal batuan) merupakan parameter seismisitas yang digunakan untuk menentukan tingkat seismisitas suatu wilayah yang didapatkan dari analisa distribusi frekuensi-magnitudo tersebut.

Nilai b merupakan nilai konstanta yang berkaitan dengan kerapuhan batuan suatu wilayah. Semakin besar nilai b suatu wilayah menunjukkan tingkat kerapuhan batuan yang tinggi. Tingkat kerapuhan batuan menandakan daya tahan batuan terhadap *stress* yang diterima oleh tenaga endogen di dalam lapisan bumi. Penurunan nilai b berbanding lurus dengan peningkatan tingkat *stress* sebelum terjadinya gempabumi. Nilai a merupakan parameter seismik yang besarnya tergantung pada banyaknya *event* gempabumi yang terjadi pada suatu wilayah (Priadi, 2017).

Jatnika (2015) melakukan penelitian terkait sebaran seismisitas wilayah Sumatera bagian utara periode 2009-2012, yang ditampilkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Seismisitas Sumatera bagian Utara Periode 2009-2012
Sumber: BMKG (Jajat Jatnika, 2015)

Berdasarkan gambar 1 terlihat wilayah Sumatera bagian utara banyak terjadi gempa pada tahun 2009-2012 yang didominasi oleh gempa dangkal dengan kedalaman $D < 6$ SR, ditandai dengan simbol lingkaran berwarna merah (Jatnika, 2015). Tingkat seismisitas yang tinggi terdapat di bagian barat wilayah Sumatera bagian utara dan seismisitas rendah di bagian timur wilayah Sumatera bagian utara. Banyaknya gempa yang terjadi ini menandakan wilayah Sumatera bagian utara merupakan wilayah aktif seismik.

Tingginya tingkat seismisitas suatu wilayah dapat dilihat dari banyaknya gempa yang terjadi. Gempabumi terjadi dikarenakan energi yang tersimpan di dalam bumi dihamburkan keluar. Energi yang keluar tergantung pada karakteristik batuan yang ada dan besarnya *stress* yang didukung oleh struktur geologi batuan suatu wilayah.

Stress yang melewati batas daya dukung batuan wilayah tersebut dapat menyebabkan batuan mengalami deformasi dan terjadi gempa. Sedangkan

wilayah yang jarang terjadi gempa akan mengalami akumulasi energi. Dimana sewaktu waktu energi tersebut akan dikeluarkan dalam bentuk gempabumi dan akan menimbulkan kerusakan pada wilayah tertentu.

Upaya yang digunakan untuk mengurangi resiko atau dampak gempabumi berkekuatan besar yaitu dilakukannya pemantauan prekursor pada suatu wilayah yang dianggap mempunyai potensi gempabumi besar. Prekursor gempabumi ini digunakan untuk memprediksi dan mengamati gejala yang muncul sebelum terjadinya gempabumi signifikan. Pengamatan gejala yang muncul dapat dilakukan dengan menganalisis perubahan laju seismik.

Perubahan laju seismik merupakan perubahan dari jumlah gempa atau energi di wilayah aktif seismik per satuan waktu. Perubahan jumlah gempa yang terjadi di suatu wilayah tergantung pada *stress* dan juga *strain* pada batuan di wilayah tersebut. Batuan yang memiliki tingkat *stress* yang tinggi dan melewati batas elastisitas batuan akan terdeformasi dan mengalami perubahan bentuk atau ukuran. Wilayah yang batuanannya tidak terdeformasi atau *stress* yang diberikan belum melewati batas daya dukung batuan, energi di dalamnya akan terus terakumulasi. Saat energi terakumulasi akan terjadi penurunan aktivitas seismik di wilayah tersebut. Hal ini merupakan salah satu fenomena aktivitas seismik, yaitu fenomena *seismic quiescence*.

Seismic quiescence merupakan salah satu fenomena yang dapat diamati berdasarkan perubahan laju seismik. Prekursor ini merupakan penurunan relatif jumlah gempa atau energi di suatu wilayah aktif seismik dalam selang waktu tertentu (Wyss, 2004). Saat terjadi fenomena *seismic*

quiescence masih ada *stress dan strain* pada batuan, tetapi dalam jumlah yang kecil dan terjadi akumulasi energi.

Pengamatan perubahan laju seismik dapat diamati pada metode standar deviasi *Z*. Dimana metode ini bertujuan untuk mendeteksi kemungkinan periode kegempaan yang rendah anomali sebelum guncangan utama di dekat pusat gempa.

Z-value merupakan salah satu parameter statistik yang digunakan untuk menganalisis perubahan laju seismik. Dimana pada *Z-value* positif menandakan terjadinya penurunan laju seismik dan pada *Z-value* negatif menandakan terjadinya peningkatan atau kenaikan laju seismik. Penurunan tingkat kegempaan rata-rata beberapa tahun menjelang kejadian gempabumi kuat patut diduga sebagai prekursor gempabumi (Katsumata, 2011).

Berdasarkan uraian yang dijelaskan sebelumnya, penulis tertarik untuk melakukan analisa statistik dalam memperkirakan fenomena alam yang muncul sebelum terjadinya gempabumi signifikan. Berdasarkan distribusi spasial seismotektonik wilayah penelitian penulis dapat mengetahui prekursor gempabumi tersebut. Dengan mengetahui prekursor gempabumi maka kemungkinan terjadinya gempabumi signifikan pada masa mendatang dapat diperkirakan. Selain itu dapat juga diprediksi daerah-daerah yang berpotensi mengalami gempabumi signifikan. Hal ini dapat digunakan untuk meminimalisir dampak yang diakibatkan oleh gempabumi. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian dengan topik “Analisis perubahan laju seismik (*seismic rate change*) berdasarkan distribusi spasial seismotektonik wilayah Sumatera bagian Utara”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat ditentukan identifikasi masalah dalam penelitian, yaitu :

1. Terdapat aktivitas seismik yang tinggi di bagian barat dan aktivitas seismik yang rendah di bagian timur wilayah Sumatera bagian utara.
2. Apabila terdapat fenomena *seismic quiescence* pada wilayah maka dapat dilihat perubahan laju seismik untuk mengamati fenomena *seismic quiescence* nya.

C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan pada penelitian dan keterbatasan penulis, maka dilakukan pembatasan masalah, yaitu :

1. Dalam pengamatan aktivitas seismik pada wilayah digunakan data dengan koordinat $0,5^{\circ}$ - 6° LU dan 94° - 100° BT di wilayah Sumatera bagian utara.
2. Dalam pengamatan *seismic quiescence* yang diamati dari analisis perubahan laju seismik menggunakan data gempabumi di tahun 1990-2021.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka didapatkan rumusan masalah, yaitu :

1. Bagaimana sebaran seismisitas untuk wilayah Sumatera bagian Utara pada tahun 1990-2021?
2. Apakah ada fenomena penurunan aktivitas seismik sebelum terjadinya gempabumi signifikan pada tahun 1990 – 2021?

3. Apabila terdapat anomali *seismic quiescence* bagaimana perubahan laju seismik di wilayah Sumatera bagian utara berdasarkan distribusi spasial seismotektonik?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian, yaitu :

1. Mengetahui sebaran seismisitas wilayah Sumatera bagian utara pada tahun 1990-2021.
2. Mengetahui ada atau tidaknya fenomena awal sebelum terjadinya gempa signifikan.
3. Mengetahui perubahan laju seismik (*seismic rate change*) di wilayah Sumatera bagian utara berdasarkan distribusi spasial seismotektonik.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu sebagai berikut :

1. Memberi informasi terkait tingkat kegempaan di wilayah Sumatera bagian utara.
2. Memberikan informasi daerah yang diprediksi akan terjadi gempa signifikan pada masa mendatang.
3. Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai kegempaan bagi masyarakat.
4. Guna meningkatkan kewaspadaan sebelum terjadinya gempa signifikan.
5. Sebagai syarat yang harus dipenuhi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

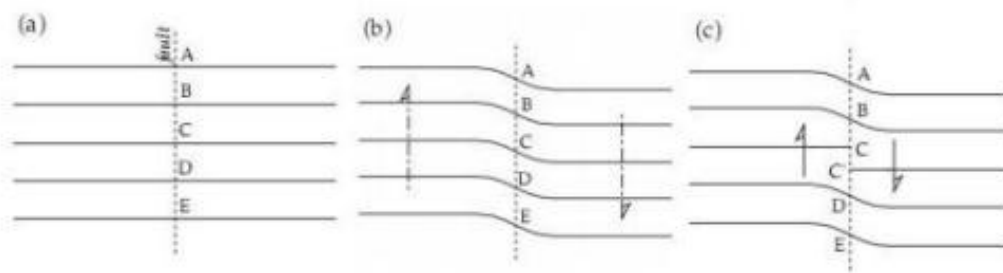
BAB II KERANGKA TEORITIS

A. Gempabumi

Gempabumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat dari pelepasan energi di bawah permukaan yang terjadi secara tiba-tiba. Hal ini ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Gempabumi biasanya disebabkan oleh pergerakan kerak bumi atau lempeng bumi dan letusan gunungapi. Pergerakan tiba-tiba dari lapisan batuan di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempabumi atau gelombang seismik. Gelombang seismik merambat melalui bumi, ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, getarannya dapat merusak segala sesuatu di permukaan bumi seperti bangunan dan infrastruktur lainnya sehingga dapat menimbulkan korban jiwa dan kerusakan (Sunarjo, 2012).

Dalam teori elastisitas *rebound*, energi yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran yang dikenal sebagai gempabumi. Pelepasan energi terjadi pada wilayah yang mengalami deformasi. Dimana deformasi terjadi akibat adanya tegangan (*stress*) dan tarikan (*strain*) pada lapisan bumi. (Linda, 2019).

Deformasi batuan merupakan perubahan bentuk batuan yang disebabkan oleh gaya luar yang bekerja pada batuan. *Stress* yang diberikan berupa gaya yang dapat menyebabkan perubahan pada batuan. Akibat dari gaya tersebut batuan mengalami *strain*, perubahan yang terjadi adalah perubahan ukuran, bentuk dan volume selama proses deformasi. Gambar 1 menggambarkan proses yang terjadi pada deformasi batuan.



Gambar 2. Ilustrasi *Elastic Rebound Theory* (Lowrie, 2007)

Berdasarkan Gambar 2 (a) menunjukkan keadaan awal dengan A,B merupakan batuan kompak. Terlihat pada gambar 2 (b) kiri batuan bergerak ke atas dan kanan batuan bergerak ke bawah. Ketika dua buah gaya yang bekerja dengan arah yang berlawanan pada batuan kulit bumi mengalami perubahan bentuk maka batuan tersebut akan terdeformasi. Dikarenakan batuan memiliki sifat elastis, apabila gaya pada batuan bekerja dalam waktu yang lama dan terus menerus atau terdapat *stress* yang diberikan pada batuan tersebut, maka lama kelamaan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan akan mulai terjadi pergeseran seperti gambar 2 (c). Semakin tinggi kekuatan batuan untuk menahan stress maka akan semakin besar energi yang dikeluarkan (Lowrie, 2007). *Stress* dirumuskan dengan (Sulaeman, 2018).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

tegangan (*stress*) dapat didefinisikan sebagai gaya (N) persatuan luas (m^2). Tegangan (*stress*) merupakan sebuah besaran vektor dan memiliki satuan N/m^2 atau Pascal (Pa). Berdasarkan persamaan (1) dapat dilihat bahwa *stress* dan gaya berbanding lurus. Semakin besar gaya yang diberikan maka tegangan yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Apabila tegangan yang dihasilkan melewati batas maksimum dari batuan, akibatnya batuan akan mengalami patah secara tiba-tiba sepanjang

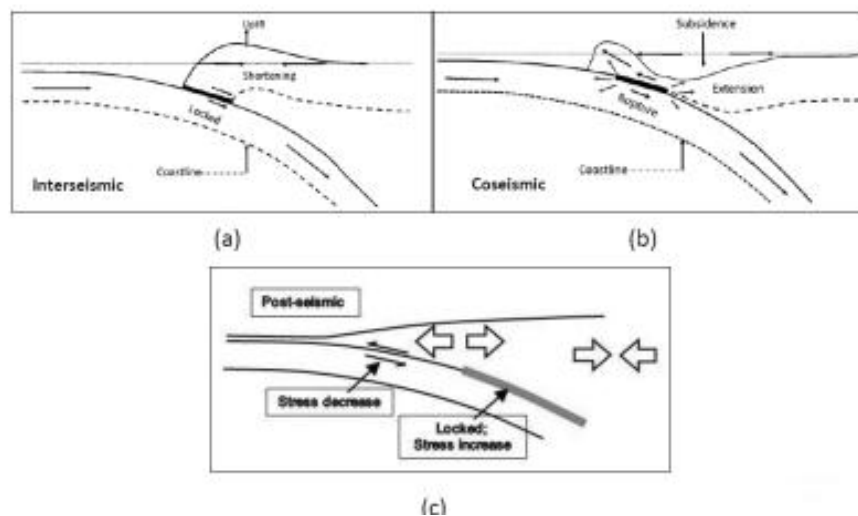
bidang *fault*. Hal ini karena *stress* yang diberikan melewati batas elastisitas atau regangan batuan, maka batuan tersebut akan patah. Setelah mengalami patahan batuan akan kembali stabil atau kembali ke bentuk asalnya (*rebound*), namun batuan sudah mengalami perubahan bentuk dan posisi. *Strain* dirumuskan dengan : (Sulaeman, 2018).

$$e = \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2) Regangan (*Strain*) yang disimbolkan dengan e . Δl merupakan perubahan dimensi panjang (m) dan l merupakan panjang mula-mula dari bidang (m). Regangan merupakan perubahan dimensi panjang per panjang mula-mula dari bidang. Benda elastis yang mengalami *stress* akan terdeformasi dan mengalami perubahan bentuk maupun dimensi. Dimana perubahan ini disebut dengan *strain*.

Saat batuan mengalami gerakan yang terjadi secara tiba-tiba, energi *stress* yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran yang biasa dirasakan sebagai gempa bumi (Chasanah, 2013). Gempa bumi memiliki sifat perulangan gempa yang terjadi akibat adanya deformasi batuan.

Perulangan gempa bumi yaitu dimana gempa bumi di suatu daerah akan terjadi lagi di masa yang akan datang dalam periode waktu tertentu. Siklus perulangan ini sering disebut dengan *earthquake cycle*. Terdapat beberapa fase dalam satu siklus gempa, yaitu *interseismic*, *pre-seismic*, *coseismic*, dan *post-seismic*. Satu siklus gempa bumi ini biasanya berlangsung selama kurun waktu 100 tahun tergantung pada banyaknya energi yang terakumulasi di dalam bumi (Sarsito, 2005). Siklus gempa bumi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 3. Siklus Gempabumi (a) *Interseismic* (b) *Coseismic* (c) *Postseismic* (Savage, 1983)

Berdasarkan gambar 3 terlihat 3 tahap siklus gempabumi. Gambar 3 (a) merupakan fase *interseismic* yang menjadi fase awal dari siklus gempabumi. Saat fase *interseismic*, lempeng mengalami locking sehingga material lempeng yang tersubduksi mengalami sorting. Energi yang terkumpul semakin lama akan semakin meningkat sehingga memasuki fase selanjutnya yaitu fase *coseismic*. Fase ini merupakan fase dimana gempabumi terjadi. Gambar 3 (b) menjelaskan saat akumulasi energi melebihi kekuatan destruktif dari area *locking* maka akan terjadi pelepasan energi dalam bentuk gempabumi. Material lempeng pada fase ini mengalami ekstensi. Selanjutnya yaitu fase *post-seismic*, fase ini merupakan tahapan ketika sisa-sisa energi gempabumi terlepas secara perlahan dalam kurun waktu yang lama sampai kondisi ke tahap keseimbangan awal (*interseismic*) yang dapat dilihat pada gambar 3 (c) (Sarsito, 2005).

1. Jenis-jenis gempabumi

a. Berdasarkan proses terjadinya

Berdasarkan proses terjadinya gempabumi dapat dikelompokkan menjadi empat jenis, yaitu gempa vulkanik, gempa tektonik, gempa runtuh dan gempa buatan (Naryanto, 1997).

- 1) Gempa vulkanik yang diakibatkan karena aktivitas gunungapi
- 2) Gempa tektonik terjadi akibat tenaga endogen.
- 3) Gempa runtuh disebabkan oleh runtuh batuan, misalnya pada atas gua disebabkan oleh longsor tanah. Gempa runtuh mempunyai intensitas lemah dan terjadi secara lokal.
- 4) Gempa buatan disebabkan dari aktivitas manusia, contohnya seperti gempa akibat ledakan percobaan bom nuklir di bawah tanah (Ibrahim, 2005).

b. Berdasarkan kedalaman sumber gempa

Menurut (Bayong, 2003) berdasarkan kedalaman hiposenter gempabumi dibedakan atas gempa dalam, sedang, dan dangkal, dimana :

- 1) Gempabumi dalam memiliki hiposenter lebih dari 300 km, dapat mencapai permukaan tetapi memiliki amplitudo kecil sehingga tidak berbahaya.
- 2) Gempabumi sedang memiliki kedalaman hiposenter antara 60 dan 300 km.
- 3) Gempabumi dangkal mempunyai kedalaman hiposenter kurang dari 60 km.

Gempabumi dangkal menimbulkan efek goncangan dan kehancuran yang lebih dahsyat dibanding gempabumi dalam. Ini karena sumber gempabumi lebih dekat ke permukaan bumi sehingga energi gelombangnya lebih besar. Karena pelemahan energi gelombang akibat perbedaan jarak sumber ke permukaan relatif kecil (Bayong, 2003).

c. Berdasarkan kekuatan atau magnitudonya

Berdasarkan kekuatan atau magnitudonya gempabumi dibedakan atas :

- 1) Gempabumi sangat besar dengan magnitudo besar lebih dari 8 SR.
- 2) Gempabumi besar dengan magnitudo antara 7 hingga 8 SR.
- 3) Gempabumi merusak dengan magnitudo antara 5 hingga 6 SR.
- 4) Gempabumi sedang dengan magnitudo antara 4 hingga 5 SR.
- 5) Gempabumi kecil dengan magnitudo 3 hingga 4 SR.
- 6) Gempabumi mikro dengan magnitudo 1 hingga 3 SR.
- 7) Gempabumi ultra mikro dengan magnitudo lebih kecil dari 1 SR (Geofisika, 2015).

2. Parameter gempabumi

Setiap kejadian gempabumi akan menghasilkan informasi seismik berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang. Informasi seismik selanjutnya mengalami proses pengumpulan data, pengolahan, dan analisa sehingga menjadi parameter gempabumi. Parameter gempabumi tersebut, antara lain (Linda, 2019) :

- a. Waktu terjadinya gempa (*origin time*) adalah waktu saat terjadinya patahan atau runtuh yang menyebabkan terjadinya penjalaran gelombang seismik atau gempa.
- b. Kedalaman sumber gempabumi merupakan ukuran kedalaman pusat terjadinya suatu gempabumi. Kedalaman sumber gempa tersebut bervariasi mulai dari dangkal, menengah dan dalam. Batasan nilainya tergantung dari kondisi tektonik setempat.
- c. Hiposenter dan episenter, hiposenter merupakan pusat terjadinya gempabumi di bawah permukaan bumi, sedangkan episenter merupakan pusat terjadinya gempabumi di permukaan bumi. Lokasi hiposenter ditunjukkan dengan koordinat dan kedalaman, sedangkan lokasi episenter ditunjukkan dengan titik koordinat di permukaan bumi.
- d. Magnitudo gempabumi adalah ukuran kekuatan gempabumi yang menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempabumi terjadi dan merupakan hasil pengamatan seismograph. Beberapa jenis Magnitudo gempabumi yaitu :
 - 1) Magnitudo Lokal (ML).
 - 2) *Body-Wave* Magnitudo (Mb).
 - 3) *Magnitude Moment* (Mw).
- e. Intensitas gempabumi adalah besaran yang dipakai untuk mengukur gempabumi selain magnitudo. Intensitas menggambarkan besarnya kerusakan yang diakibatkan oleh gempabumi di suatu tempat. Harga intensitas merupakan fungsi

dari magnitudo, jarak episenter, lama getaran, kedalaman gempabumi, kondisi tanah dan keadaan bangunan. Skala Intensitas Modifikasi Mercalli (MMI) merupakan skala intensitas yang umum dipakai. Tabel berikut menampilkan tingkatan kekuatan gempabumi dengan skala MMI.

Berikut ini skala Modified Mercalli Intensity (MMI *scale*)

(BMKG, 2017) :

Tabel 1. Skala MMI

No.	Skala MMI	PGA (gal)	Deskripsi
1	I-II	<2.9	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang terekam oleh alat.
2	III-V	2.9-88	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang tergantung bergoyang dan jendela kaca bergetar.
3	VI	89-167	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan seperti retak pada dinding, genteng bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan.
4	VII-VIII	168-564	Banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh dan kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar genteng bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan hingga sedang.

No.	Skala MMI	PGA (gal)	Deskripsi
5	IX-XII	567	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.

Skala *modified mercalli intensity* (MMI scale) merupakan ukuran kekuatan gempabumi berdasarkan kerusakan yang diakibatkan oleh gempabumi. Skala *modified mercalli intensity* (MMI scale) memiliki tingkatan dari 1-12, semakin besar tingkatannya menandakan semakin besar kerugian yang diakibatkan dari gempabumi tersebut.

B. Seismotektonik Wilayah Sumatera Bagian Utara

Tektonik di Sumatera dikontrol oleh batas antara lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia bagian Tenggara. Lempeng Indo-Australia bergerak ke arah Utara sampai N260 dengan kecepatan 60-70 mm/tahun (Newcomb, 1987). Karena arah subduksi ini membentuk sudut dengan batas lempeng, maka timbul dua buah sesar besar yakni Sesar Sumatera dan Sesar Mentawai (Harjono, 1992).

Secara umum, tatanan tektonik di Sumatera bagian Utara dicirikan oleh Zona Subduksi antara Lempeng tektonik Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia dan *Sumatra Fault System* (SFS) atau sesar Sumatera.

1. Zona Subduksi

Zona subduksi atau zona penunjaman merupakan tempat terbentuknya deretan gunung api ataupun gempabumi. Zona subduksi

terdapat pada batas lempeng yang bersifat konvergen. Perbedaan massa jenis dari kedua lempeng mengakibatkan lempeng yang memiliki massa jenis lebih besar akan menunjam ke bawah lempeng lainnya. Jalur subduksi yang melewati Pesisir barat Sumatera, yaitu penunjaman lempeng Indo-Australia dan Eurasia.

Jalur subduksi Lempeng Indo-Australia dan Eurasia di Indonesia memanjang dari pantai Barat Sumatera sampai ke selatan Nusa Tenggara. Sistem subduksi Sumatera dicirikan dengan adanya rangkaian busur pulau depan (*Forearc Islands*) yang non vulkanik (Pulau Simeulue, Nias, Batu, Siberut hingga Pulau Enggano) (Triyono, 2015).

2. *Sumatra Fault System (SFS)*

Sumatra Fault System atau Sesar Sumatera terjadi akibat adanya Lempeng Indo-Australia yang menabrak bagian Barat pulau Sumatera secara miring, sehingga menghasilkan tekanan dari pergerakan ini. Karena adanya tekanan ini, maka terbentuklah sesar Sumatera atau disebut juga "*The Great Sumatran Fault*" yang membelah pulau Sumatera membentang mulai dari Lampung sampai Banda Aceh, menerus sampai ke Laut Andaman hingga Burma. Sesar ini merupakan daerah rawan gempabumi dan tanah longsor (Natawidjaja, 2007). Sesar Sumatera merupakan sesar *strike slip* berarah dekstral yang terdiri dari 19 segmen utama yang panjangnya bervariasi mulai dari 35 km hingga 200 km (Rahayu, 2020). Setiap segmen aktif mempunyai kecepatan gerak tertentu dari hanya 2.5

mm/tahun di Selatan (Selat Sunda), kemudian semakin cepat ke Utara menjadi sekitar 30 mm/tahun di Danau Toba (Rahayu, 2020).



Gambar 4. Peta jalur patahan aktif Sumatera (Geofisika, 2015).

Gambar 4 menggambarkan jalur patahan Sumatera. Jalur patahan di Sumatera ditandai oleh kenampakan bukit-bukit kecil di sepanjang patahan pergeseran alur-alur sungai, dan danau-danau yang terjadi karena pergeseran bumi. Patahan-patahan (*faults*) yang terdapat di daerah pantai barat Sumatera Utara adalah Patahan Renun, Angkola, Toru, dan Barumon.

Patahan-patahan Sesar Semangko menjadi salah satu sumber gempabumi di Sumatera. Biasanya gempa di Sesar Semangko kekuatan magnitudonya lebih kecil dari Zona Subduksi. Namun jika berkekuatan di atas 6 SR dan dangkal, gempa di patahan Sumatera beresiko lebih merusak dibandingkan gempa yang bersumber dari zona Subduksi. Walaupun berkekuatan besar. Namun sumbernya dangkal

akan mengakibatkan intensitasnya besar karena berada di bawah pemukiman (Yulianto, 2013).

C. Aktivitas Kegempaan Wilayah Sumatera Bagian Utara

Seismisitas merupakan aktivitas seismik atau banyaknya gempabumi yang terjadi dalam kurun waktu tertentu (Budi, 2017). Seismisitas juga merupakan distribusi pusat-pusat gempabumi secara geografis. Suatu sistem data yang dapat memberikan gambaran secara sistematis tentang karakteristik dan aktivitas gempabumi pada suatu daerah dalam jangka waktu tertentu.

Karakteristik parameter seismotektonik dapat diketahui dengan melihat distribusi spasial *a-value* dan *b-value* di wilayah tersebut berdasarkan analisis hubungan frekuensi magnitudo (FMD) (Syafriani, 2018). Dengan cara menggambarkan pola sebaran parameter parameter seismisitas nilai-a, nilai-b. Nilai-a menggambarkan keadaan daerah yang dipengaruhi oleh banyaknya *event* gempabumi dan luas daerah. Sedangkan nilai-b menggambarkan keadaan tektonik suatu daerah seperti kondisi *stress* lokal batuan suatu daerah (Budi, 2017). Nilai-a merupakan parameter seismik yang besarnya bergantung pada banyaknya kejadian gempabumi untuk wilayah tertentu. Semakin besar nilai-a di suatu daerah menunjukkan daerah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi, sebaliknya untuk nilai-a yang kecil menandakan aktivitas seismiknya rendah (Shohaya, 2013). Nilai-b merupakan parameter tektonik yang menunjukkan jumlah relatif dari getaran yang kecil dan yang besar (Budi, 2017).

Batuan yang terdeformasi akan terdapat *stress* dan *strain*. *Stress* lokal batuan (nilai-b) yang rendah berbanding lurus dengan peningkatan tingkat

stress sebelum terjadinya gempabumi. Semakin besar nilai *b* suatu wilayah menunjukkan tingkat kerapuhan batuan yang tinggi. Hal ini menandakan daya tahan batuan terhadap *stress* yang diterima oleh tenaga endogen di dalam lapisan bumi (Priadi, 2017).

Semakin besar nilai indeks seismisitas maka semakin sering terjadi gempabumi dan begitu juga sebaliknya. Hal ini akan mempengaruhi periode ulang gempabumi berdasarkan magnitudo tertentu. Periode ulang gempa mengidentifikasi bahwa gempabumi dengan rentang magnitudo tertentu akan terjadi pada suatu daerah dengan waktu yang tidak dapat ditentukan. Dimana semakin besar magnitudo gempabumi, maka periode ulang nya lebih lama, hal ini juga didukung dalam teori elastisitas *rebound* yang menyatakan bahwa pergerakan lempeng yang mempunyai fase pengumpulan energi dalam jangka waktu yang lama kemudian pada masa pelepasan energinya akan terjadi gempabumi besar. Dengan kata lain semakin besar periode ulang suatu gempabumi, semakin besar pula magnitudo gempa yang akan terjadi (Rahma Fidia, 2018).

D. *Seismic Rate Change*

Perubahan laju seismik merupakan perubahan dari jumlah gempa atau energi di wilayah aktif seismik per satuan waktu. Perubahan jumlah gempa yang terjadi di suatu wilayah tergantung pada *stress* dan juga *strain* pada batuan di wilayah tersebut. Perubahan ini berhubungan langsung dengan *stress* atau tekanan pori (*pore pressure*) yang bertujuan untuk mengamati perubahan *stress* yang disebabkan oleh *coulomb failure* atau perubahan tingkat gempa sebelumnya (Wiemer, 2001).

Peng (2014) menyatakan Dalam pengukuran *seismic rate change* dapat dilakukan dengan menggunakan T1 dan T2, yaitu dalam jangka pendek dan jangka panjang untuk menghindari kesenjangan data dalam rekaman kontinu. Setelahnya dihitung nilai-b pada T1 dan T2 sebagai ukuran signifikan perubahan laju kegempaan dalam jangka pendek atau jangka panjang. Nilai-b membandingkan deviasi kegempaan selama periode waktu tersebut dengan asumsi laju kegempaan konstanta dan dinormalisasi dengan deviasi standar dari kegempaan yang diharapkan. Jika nilai-b lebih besar dari 2 dan lebih kecil dari -2, ini menunjukkan peningkatan atau penurunan laju seismik yang signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan perubahan laju seismik berhubungan dengan nilai-b atau tingkat kerapuhan batuanannya.

Begitu juga dengan energi yang dikeluarkan dapat berskala besar ataupun kecil hal ini tergantung pada karakteristik batuan yang ada dan besarnya *stress* yang didukung oleh struktur geologi suatu wilayah. Jumlah gempa akan meningkat apabila energi yang terakumulasi terhambur keluar, besarnya dapat ditentukan dengan hasil magnitudo. Gutenberg *et al.* (1955) mengemukakan hubungan energi (E) gempabumi dengan magnitudo (M).

$$\log E = 5.8 + 2.4M_b \quad (3)$$

$$\log E = 11.8 + 1.5M_s \quad (4)$$

Dengan E adalah energi yang dilepaskan gempabumi dalam satuan erg (1 Joule = 10⁷ erg), M merupakan magnitudo gempa.

Sebelum terjadi gempabumi signifikan biasanya akan didahului oleh fenomena atau siklus kegempaan. Salah satu parameter yang dapat digunakan dalam melihat fenomena yang muncul adalah data kegempaan. Hal ini

dikarenakan data kegempaan tersebar di semua wilayah yang aktif secara seismik dan digunakan untuk melihat pola kegempaan sebelum guncangan utama dari tektonik yang berbeda. Data ini juga menyediakan informasi yang akan diperlukan untuk menentukan tingkat peringatan awal yang terkait dengan prekursor kegempaan. Data kegempaan yang didapat terjadi di kedalaman kerak tempat terjadinya guncangan utama. Dengan menggunakan pola kegempaan, penelitian mengenai prediksi gempa menjadi prekursor gempa yang baik untuk diteliti saat ini (Habermann, 1988).

Prekursor seismik dibagi menjadi 2 fenomena, yaitu fenomena seismik dan non-seismik. Fenomena seismik meliputi periode normal, periode anomali yang ditandai dengan peningkatan aktivitas, periode *precursory seismic quiescence* yang ditandai dengan penurunan aktivitas seismik, dan periode terjadinya gempabumi *mainshock* (Ardiansyah, 2014). Sebaliknya pada fenomena non seismik yang termasuk dalam prekursor gempabumi merupakan suatu fenomena yang berhubungan langsung dengan deformasi lokal (ketinggian dan kemiringan tanah, tekanan batuan, ketinggian permukaan air tanah, dan sebagainya) termasuk juga medan listrik dan magnetik, emisi EM, resistivitas batuan, emisi akustik dan gas (radon dan helium), dan sebagainya.

Seismic quiescence merupakan salah satu fenomena sebelum terjadinya gempa signifikan yang ditandai dengan penurunan tingkat kegempaan. Prekursor *Seismic quiescence* digunakan sebagai prediksi gempabumi yang dapat digunakan saat ini. Prekursor penurunan aktivitas seismik (*seismic quiescence*) merupakan salah satu prekursor yang dapat diamati dari perubahan laju seismik menggunakan standar deviasi Z.

E. Distribusi Spasial Seismotektonik

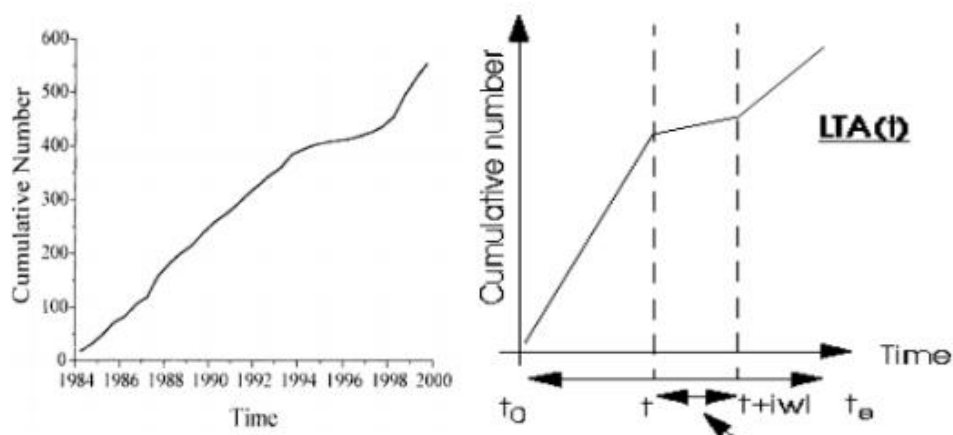
Seismotektonik merupakan suatu cabang ilmu seismologi yang mempelajari tentang gempabumi dan tektonik lempeng serta keberadaan sesar pada suatu daerah. Menghubungkan struktur geologi atau tektonik bumi dengan kegempaan. Hubungan ini dinyatakan dengan menggunakan parameter seismotektonik. Terdapat tiga parameter seismotektonik, yaitu nilai-a, nilai-b, dan nilai-z, di mana nilai-b merupakan salah satu nilai statistik yang menggambarkan kondisi *stress* lokal batuan di suatu daerah. Nilai-a merupakan salah satu nilai statistik yang menggambarkan tingkat keaktifan kegempaan di suatu daerah, sedangkan nilai-z merupakan suatu nilai statistik yang digunakan untuk mengamati fenomena *seismic quiescence* (Yuliana, 2017).

Perubahan laju seismik dapat dihitung menggunakan sebuah metode yang disebut dengan metode *z-value*. Metode ini mengukur perbedaan dalam tingkat kegempaan yang bergerak dalam *time window* dengan tingkat kegempaan *background* menggunakan standar deviasi-z. Tujuan metode *z-value* digunakan untuk mendeteksi kemungkinan adanya anomali periode kegempaan rendah sebelum kejadian gempa kuat (Wiemer, 2001).

Dalam perhitungan *z-value* terdapat *z-value* negatif dan *z-value* positif. *Z-value* negatif mengindikasikan terjadinya peningkatan aktivitas seismik. Peningkatan ini digambarkan dengan banyaknya gempa yang terjadi, di mana saat gempa terjadi energi yang tersimpan akan terhambur keluar. Saat terjadi gempa, *stress* yang terdapat pada batuan sudah melewati batas daya dukung batuan dan batuan akan retak dan besarnya tergantung dari batas ketahanan

regangan batuan. *Z-value* positif mengindikasikan terjadinya penurunan aktivitas seismik. Hal ini ditandai dengan sedikitnya gempa yang terjadi pada wilayah dalam periode waktu tertentu. Wilayah yang tidak terjadi gempa menandakan adanya aktivitas akumulasi energi di dalamnya. Dimana energi akan keluar dalam waktu yang tidak dapat ditentukan dengan magnitudo berskala besar ataupun kecil. *Z-value* positif menandakan adanya anomali *seismic quiescence*.

Fenomena kegempaan dapat dilihat dengan menggunakan fungsi *long term average* (LTA) yang sangat cocok digunakan untuk pengukuran *z-value*. Fungsi LTA ini bertujuan agar anomali yang didapatkan tidak bias secara statistik. Gambar 5 merupakan ilustrasi pengamatan perubahan laju seismik rata-rata dengan fungsi LTA.



Gambar 5. Kurva Long Term Average (LTA) (Wayss, 2004)

Berdasarkan Gambar 5, (Wyss, 2004) menyatakan bahwa pada nilai z membandingkan tingkat kegempaan rata-rata selama periode tertentu dan di area yang sudah ditentukan dengan rata-rata keseluruhan data di area itu. Tujuannya untuk mendeteksi kemungkinan adanya anomali periode kegempaan yang rendah sebelum guncangan utama di dekat pusat gempa.

Penghitungan *z-value* ini dilakukan dengan menggunakan rumusan standar deviasi Z sebagai berikut.

$$z(t) = \frac{(R_{bg} - R_w)}{\sqrt{\frac{S_{bg}}{n_{bg}} + \frac{S_w}{n_w}}} \quad (5)$$

Terlihat pada persamaan 5 dimana R_{bg} merupakan tingkat kegempaan rata-rata dari keseluruhan data kecuali interval periode yang dipilih. R_w merupakan tingkat kegempaan rata-rata dari data yang dipilih. S_w merupakan variasi pada keseluruhan periode dan S_{bg} merupakan variasi periode yang dipilih. n_{bg} dan n_w merupakan jumlah *event* pada keseluruhan dan yang dipilih (Wiemer, 2001).

Perhitungan *z-value* dilakukan sesuai dengan jumlah gempabumi terpilih pada setiap nude N_{ZMAP} . Periode waktu dari T_{start} dan T_{end} dibagi menjadi $N_{\Delta t}$ *short time* (ST) *time window* dengan lebar masing-masing $N_{\Delta t}$ adalah Δt . Tingkat kegempaan *background* dihitung menggunakan rumusan sebagai berikut.

$$R_{bg} = \frac{1}{n_{bg}} \left(\sum_{i=1}^{N_1} n_i + \sum_{i=N_2+1}^{N_{\Delta t}} n_i \right) \quad n_i = 1, \dots, N_{\Delta t} \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan 6 dimana n_i adalah jumlah data gempabumi yang dihitung pada ST *time window*. dan n_{bg} pada persamaan (2) ini memiliki nilai yang sama dengan $N_1 + N_{\Delta t} - N_2$ adalah ST *time window* terakhir sebelum memasuki *long-term* (LT) *time window*. (LT) *time window* memiliki lebar Δt .

Tingkat kegempaan R_w dalam (LT) *time window* dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$R_w = \frac{1}{n_w} \sum_{i=N_1+1}^{N_2} n_i \quad (7)$$

Dari persamaan 7 dimana $n_w = \Delta T / \Delta t$. Kemudian R_w dibandingkan dengan R_{bg} menggunakan persamaan (1) sebelumnya, untuk S_{bg} dan S_w adalah variansi yang dihitung menggunakan persamaan (8a) dan (8b) berikut.

$$S_{bg} = \frac{1}{n_{bg}} \left\{ \sum_{i=1}^{N_1} (n_i + R_{bg})^2 + \sum_{i=N_1+1}^{N_{\Delta t}} (n_i - R_{bg})^2 \right\} \quad (8a)$$

$$S_w = \frac{1}{n_w} \sum_{i=N_1+1}^{N_2} (n_i - R_w)^2 \quad (8b)$$

Z-value yang positif menunjukkan adanya penurunan tingkat kegempaan rata-rata pada interval yang kita pilih dibandingkan tingkat kegempaan rata-rata keseluruhan data. Sebaliknya *z-value* negatif menunjukkan adanya peningkatan tingkat kegempaan rata-rata pada interval yang dipilih (Katsuman, 2011).

F. Penelitian-penelitian Relevan

Penelitian mengenai distribusi spasial seismotektonik telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya di berbagai daerah. Penelitian juga dilakukan dengan kurun waktu dan metode yang digunakan berbeda beda. Adapun penelitian penelitian yang relevan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut.

Yulianda (2017) melakukan penelitian mengenai analisis perubahan laju seismik berdasarkan distribusi spasial seismotektonik wilayah Sumatera Barat. Penelitian ini menggunakan metode *z-value*. Dari hasil analisa didapatkan wilayah Sumatera Barat memiliki sebaran seismisitas yang tinggi dan sebelum terjadinya event gempabumi besar tahun 1943 dan 2017 diawali oleh fenomena *seismic quiescence*. Berdasarkan *event* gempabumi 1943 (7,8

SR) terjadi kenaikan aktivitas seismik yang menunjukkan bahwa frekuensi kegempaan wilayah ini telah meningkat dan energi telah dilepaskan perlahan-lahan. *Event* gempabumi 2007 (7,9 SR) memiliki fenomena yang hampir sama dengan tahun 1943. Dimana pada awal terdapat anomali kecil aktivitas seismik rendah yang semakin kedepan anomali aktivitas seismik semakin meluas dan terjadi gempabumi signifikan 2007. Hal ini menunjukkan wilayah tersebut terjadi penumpukan atau akumulasi energi. Fenomena *seismic quiescence* ini dapat menjadi prekursor gempabumi untuk memprediksi gempabumi dan sebagai salah satu upaya untuk meminimalisir dampak yang disebabkan oleh bencana gempabumi.

Sukrungsri (2016) melakukan penelitian mengenai prekursor *seismic quiescence* sepanjang zona Subduksi Sumatera-Andaman sesudah dan sebelum gempa. Sukrungsri mengatakan perubahan laju seismik terjadi sebelum 8 gempa besar di SASZ selama 2004-2012 yang dianalisis menggunakan metode *z-value*. Penelitian ini menggunakan N=50 kejadian gempa dengan waktu T=2 tahun dan mengevaluasi nilai Z setiap 14 hari selama 1980-2015. berdasarkan hasil penelitian, 3 zona fokus yang menunjukkan adanya anomali dengan nilai Z maksimum (Z_{max}) sebesar 6,7-7,1, yaitu di Kepulauan Nicobar, lepas pantai di barat Sumatera dan Myanmar Barat.

Bambang (2013) melakukan penelitian analisis periodesitas dan perubahan tingkat kegempaan wilayah Jawa Barat berbasis statistik untuk menentukan periode ulang gempa dan mengamati perubahan tingkat kegempaan sebelum kejadian gempa besar di wilayah Jawa Barat. Dengan

mengetahui distribusi spasial seismotektonik nilai-a, nilai-b dan *z-value*. Dari hasil analisis data didapatkan nilai-b wilayah Jawa Barat secara umum sekitar 0,85 - 1,85 yang menyatakan wilayah Jawa Barat memiliki tingkat *stress* yang tinggi dengan ditandai rendahnya nilai-b. Variasi spasial nilai-a sekitar 6,6 – 11,4 yang menyatakan aktivitas kegempaan wilayah Jawa Barat relatif tinggi. Dari hasil distribusi spasial *z-value* didapatkan pada wilayah Jawa Barat terjadi penurunan tingkat kegempaan 3 tahun sebelum kejadian gempa Tasikmalaya 2 September 2009 (M 7,5) dan 2,5 tahun sebelum kejadian gempa Ujungkulon 16 Oktober 2009 (M 6,4) yang diduga sebagai prekursor gempa skala menengah.

G. Kerangka Berpikir Penelitian

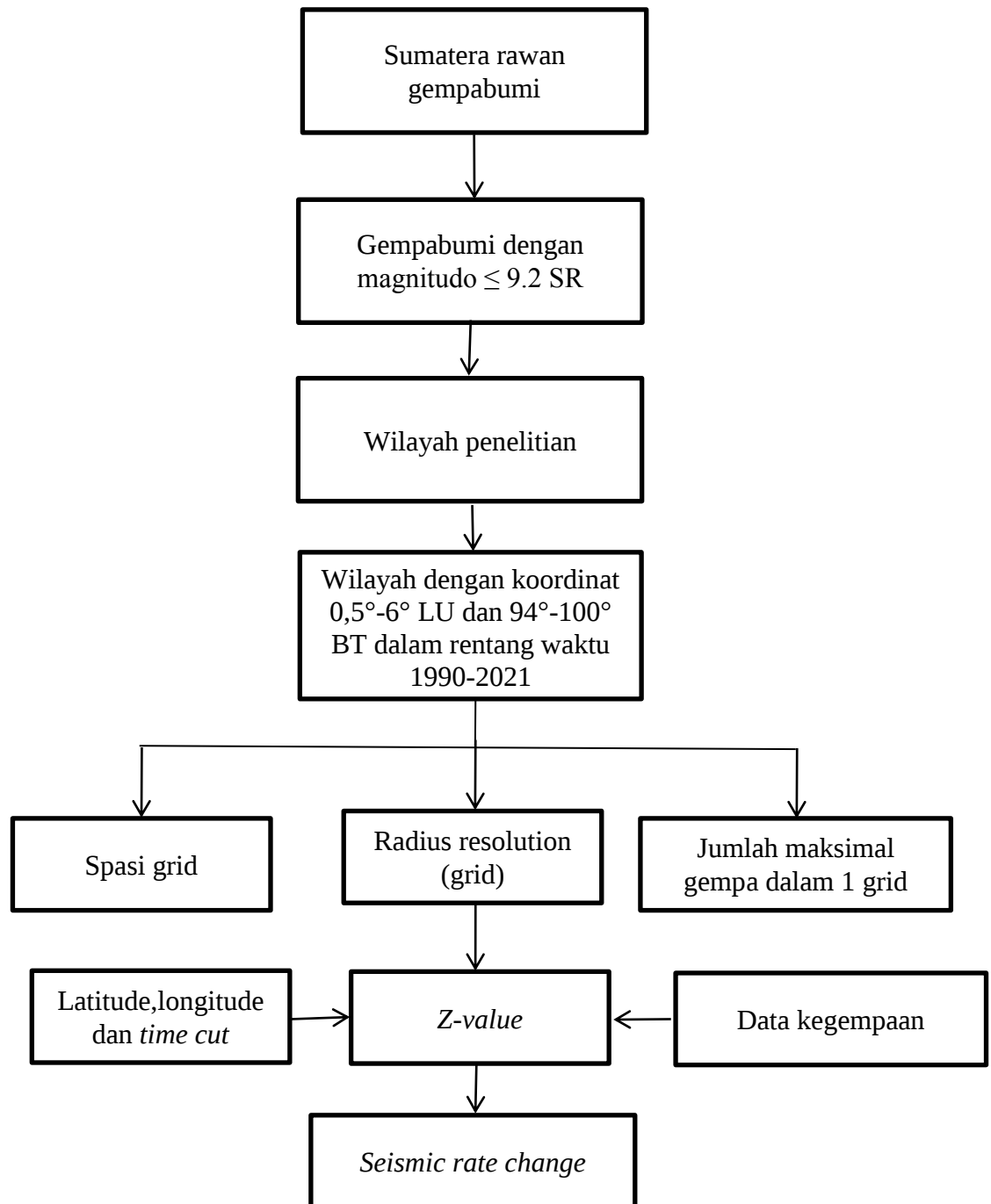
Kerangka berpikir pada penelitian ini diawali dengan menetapkan masalah yang akan dikaji terlebih dahulu. Kemudian berdasarkan masalah tersebut maka dapat ditentukan tujuan dilaksanakannya penelitian. Wilayah yang dijadikan wilayah penelitian yaitu wilayah Sumatera bagian Utara. Hal ini dikarenakan wilayah Sumatera bagian Utara merupakan salah satu wilayah aktif seismik dan memiliki tingkat kegempaan yang tinggi.

Koordinat wilayah yang digunakan untuk data penelitian ini yaitu 0,5°- 6° LU dan 9,4°-100° BT. Sebelum menghitung *z-value*, dilakukan *declustering* data gempabumi untuk menghilangkan pengaruh *aftershock* dan *foreshock* gempabumi. Membagi wilayah menjadi beberapa grid atau node dengan spasi masing-masing grid 0,1° x 0,1°. Kemudian pada masing-masing grid dihitung *z-value* menggunakan data gempabumi yang termasuk dalam lingkup grid tersebut dalam rentang katalog gempabumi periode 1990 sampai

2021. *Z-value* yang didapatkan dari masing-masing grid didistribusikan untuk melihat bagaimana perubahan laju seismik wilayah Sumatera bagian Utara.

Data gempabumi dibagi menjadi dua periode, yaitu periode *background* dan periode *window*. Tingkat kegempaan, variansi dan jumlah event pada kedua periode tersebut dibandingkan untuk mendapatkan *z-value*-nya. *Z-value* dihitung untuk setiap posisi *latitude*, *longitude*, dan waktu awal diambilnya *time window* (T_s). Setelah perhitungan *z-value* pada semua grid selesai, maka hasil perhitungan tersebut diinterpolasikan dan dipetakan sehingga didapatlah *seismic rate change* wilayah Sumatera bagian Utara.

Kerangka berpikir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6 kerangka berpikir berikut.



Bagan 6. Kerangka Berpikir Penelitian

Berdasarkan Gambar 6 terlihat wilayah Sumatera bagian utara membagi wilayah menjadi beberapa zona fokus. *Z-value* akan dihitung pada setiap grid yang berdasarkan pada data gempa yang terdapat di dalam satu grid tersebut. Masing-masing grid tersebut berada dalam posisi *latitude*, *longitude* tertentu dan dihitung untuk setiap pengambilan *Ts*, yang kemudian didapatkan

z-value nya dan dapat memetakan perubahan laju seismik wilayah Sumatera bagian utara. Pengamatan yang dilakukan adalah melihat ada atau tidaknya fenomena *seismic quiescence* yang mendahului gempabumi signifikan.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Berdasarkan peta sebaran seismisitas wilayah Sumatera bagian utara periode tahun 1990 – 2021 terlihat wilayah memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi. Hal ini ditandai dengan sering terjadinya aktivitas gempabumi di wilayah Sumatera bagian utara.
2. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil untuk distribusi *z-value* pada lima zona fokus wilayah Sumatera bagian utara. Ketiga fokus zona sebelum event gempabumi signifikan didahului oleh fenomena *seismic quiescence*. Fokus zona berdasarkan tingkat aktivitas seismik yang tinggi terdapat fenomena *seismic quiescence* lima tahun di permulaan tahun 2021. Fokus zona berdasarkan tingkat aktivitas seismik yang rendah, terdapat penurunan aktivitas seismik pada tahun 2010-2014 dan terjadi peningkatan aktivitas seismik pada tahun 2016-2021. dilihat secara umum distribusi *z-value* wilayah Sumatera bagian utara pada permulaan tahun 2021 terdapat penurunan aktivitas seismik di beberapa wilayah Sumatera bagian utara.
3. Berdasarkan gempabumi 2004, 2005 dan 2010, perubahan laju seismik dapat dilihat di sekitar *mainshock* gempa. Terjadi penurunan aktivitas seismik beberapa tahun sebelum terjadi gempa dan terjadi peningkatan aktivitas seismik beberapa tahun setelah terjadi gempa.

B. Saran

1. Upaya yang dilakukan untuk memperkuat hasil dari *seismic rate change* dapat dilakukan penelitian lanjutan yang berhubungan dengan struktur geologi wilayah.
2. Hasil dari penelitian dapat digunakan untuk bahan pertimbangan dalam mengambil kebijakan sebagai salah satu upaya meminimalisir dampak dan kerugian yang diakibatkan oleh gempabumi.