

Skripsi Geofisika

**ANALISIS PERIODE ULANG GEMPA BUMI SEBAGAI MITIGASI
BENCANA MENGGUNAKAN METODE *GUTENBERG-RICHTER*
BERDASARKAN DATA GEMPA SULAWESI TENGAH**



OLEH:

YONAS SEPTWAN RAPA

H061201002

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANNUDDIN

MAKASSAR

2024



HALAMAN JUDUL

**ANALISIS PERIODE ULANG GEMPA BUMI SEBAGAI MITIGASI
BENCANA MENGGUNAKAN METODE *GUTENBERG-RICHTER*
BERDASARKAN DATA GEMPA SULAWESI TENGAH**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains

Pada Departemen Geofisika

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH:

YONAS SEPTWAN RAPA

H061201002

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANNUDDIN

MAKASSAR

2024



HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PERIODE ULANG GEMPA BUMI SEBAGAI MITIGASI
BENCANA MENGGUNAKAN METODE *GUTENBERG-RICHTER*
BERDASARKAN DATA GEMPA SULAWESI TENGAH**

Disusun dan Diajukan Oleh:

YONAS SEPTWAN RAPA

H061201002

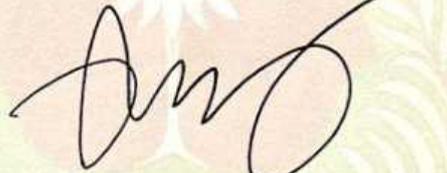
Tidak dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada 13 Mei 2024

Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing



Ir. Bambang Harimei, M.Si

NIP. 196105011991031003

**Ketua Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin Makassar**



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng

NIP. 196709291993031003



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Yonas Septwan Rapa

NIM : H061201002

Departemen : Geofisika

Judul Skripsi : Analisis Periode Ulang Gempa Bumi Sebagai Mitigasi Bencana
Menggunakan Metode *Gutenberg-Richter* Berdasarkan Data
Gempa Sulawesi Tengah

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Hasanuddin atau Lembaga Penelitian lain kecuali kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang sudah lazim digunakan, karya tulis ini merupakan murni dari gagasan penelitian saya sendiri, kecuali arahan dari Tim Pembimbing dan masukan Tim Penguji.

Makassar, 13 Mei 2024

Yang membuat pernyataan,



Yonas Septwan Rapa



Optimized using
trial version
www.balesio.com

SARI BACAAN

Analisis periode ulang gempa bumi sebagai mitigasi bencana telah dilakukan pada daerah Sulawesi Tengah dan sekitarnya. Tujuan pokok dari penelitian ini adalah mengetahui periode ulang gempa bumi pada daerah penelitian, sehingga hasil yang didapatkan mampu menjadi salah satu bahan mitigasi bencana gempa bumi yang akhirnya dapat meminimalisir kerugian akibat bencana. Agar dapat mengetahui periode ulang gempa bumi, maka harus mengetahui indeks seismisitas, parameter seismik (nilai a), dan parameter tektonik (nilai b) terlebih dahulu. Penelitian ini menggunakan metode Gutenberg-Richter dan data gempa bumi Sulawesi Tengah periode 1923 sampai dengan 2023 yang bersumber dari katalog BMKG dan *USGS*. Data penelitian yang diperoleh berupa waktu kejadian, episenter, hiposenter, dan magnitudo gempa. Data gempa bumi yang ada diklasifikasikan menjadi empat bagian (berdasarkan sesar) dan tiga puluh enam daerah. Data yang sudah diklasifikasikan berdasarkan wilayah yang ada akan dikelompokkan lagi berdasarkan magnitudo 4-8,5. Periode ulang gempa bumi pada wilayah I dengan magnitudo momen 4-8,5 diperoleh nilai periode ulang antara 0,167-235,411 tahun. Pada wilayah II dengan magnitudo momen 4-8,5 diperoleh nilai periode ulang antara 0,191-1150,819 tahun. Pada wilayah III dengan magnitudo momen 4-8,5 diperoleh nilai periode ulang antara 0,556-2455,912 tahun. Pada wilayah IV dengan magnitudo momen 4-8,5 diperoleh nilai periode ulang antara 0,299-4583,643 tahun. Rentang nilai periode ulang Sulawesi Tengah yang dibagi menjadi 36 Daerah pada magnitudo 4-8,5 adalah 0,6- 479939 tahun.

Kata Kunci: Periode ulang gempa bumi, *Gutenberg-Richter*, Mitigasi bencana, Sulawesi Tengah



ABSTRACT

Analysis of earthquake return periods as disaster mitigation has been carried out in Central Sulawesi and surrounding areas. The main objective of this research is to determine the return period of earthquakes in the research area so that the results obtained can become one of the ingredients for earthquake disaster mitigation which can ultimately minimize losses due to disasters. To know the return period of an earthquake, you must first know the seismicity index, seismic parameters (a value), and tectonic parameters (b value). This research uses the Gutenberg-Richter method and Central Sulawesi earthquake data for the period 1923 to 2023 sourced from the BMKG and USGS catalogs. The research data obtained included the time of the incident, epicenter, hypocenter, and earthquake magnitude. Existing earthquake data is classified into four sections (based on faults) and thirty-six regions. Data that has been classified based on existing areas will be grouped again based on magnitude 4-8.5. The return period for earthquakes in region I with a moment magnitude of 4-8.5 obtained a return period value of between 0.167-235.411 years. In region II with a moment magnitude of 4-8.5, the return period value is between 0.191-1150.819 years. In region III with a moment magnitude of 4-8.5, the return period value is between 0.556-2455.912 years. In region IV with a moment magnitude of 4-8.5, the return period value is between 0.299-4583.643 years. The range of return period values for Central Sulawesi which is divided into 36 regions at magnitude 4-8.5 is 0.6- 479939 years.

Keywords: *Earthquake return period, Gutenberg-Richter, Disaster mitigation, Central Sulawesi*



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur, saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa. Atas segala berkat, dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “Analisis Periode Ulang Gempa Bumi Sebagai Mitigasi Bencana Menggunakan Metode *Gutenberg-Richter* Berdasarkan Data Gempa Sulawesi Tengah” untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Dalam penulisan skripsi ini tentu tidak lepas dari hambatan dan kesulitan, namun berkat anugerah-Nya, penyusunan skripsi ini dapat selesai tepat waktu. Sebelumnya izinkan penulis untuk ucapkan terimakasih sedalam-dalamnya kepada orangtua terkasih **Ayahanda Abraham** dan **Ibunda Noviana**, adik-adik tersayang **Dhita, Mhita, Yosua, dan Arsen**, serta seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan moril maupun material, doa, dan kasih sayang tulus yang tiada hentinya untuk penulis.

Dalam kesempatan ini pula, penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya dari berbagai pihak atas bantuan, nasihat, didikan, dan bimbingan serta semangat yang diberikan kepada penulis selama ini. Untuk itu, dengan senang hati penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada yang terhormat:

1. Bapak **Ir. Bambang Harimei, M.Si** selaku Pembimbing yang telah banyak membantu, memberikan bimbingan, kepercayaan yang sangat berarti dan memberikan motivasi penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.



2. Ibu **Dra. Maria, M.Si** dan Bapak **Sabrianto Aswad, S.Si., MT** selaku Dosen Penguji Penulis yang memberikan kritik dan saran kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T.Surv.** selaku dosen Penasehat Akademik Penulis yang telah memberi masukan selama menjalani pendidikan di Geofisika.
4. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng.** selaku Ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
5. Bapak **Muh. Fawzy Ismullah, S.Si., MT** selaku Dosen Pembimbing Pertama sebelum diterapkannya aturan baru yang mengharuskan satu pembimbing, meskipun demikian beliau senantiasa memberikan nasehat serta saran kepada penulis.
6. Seluruh Dosen Departemen Geofisika, Staf Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, dan Staf Departemen Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas semua ilmu yang telah diajarkan, serta pelayanan dan bantuan yang diberikan kepada penulis.
7. Kepada teman-teman grup **After Shock** sekaligus teman seperjuangan di bangku kuliah **Wulan, Mifta, Yuriska, Indah, Ima** dan **Magfirah** yang selalu saling membantu, memotivasi dan menjadi tempat berkeluh kesah.
8. Kepada sahabat SMP dan SMA **Agonia** dan **Finisia** serta **Petrus, Yetri** dan **idya** yang senantiasa saling memotivasi dan bertukar cerita suka duka dalam menyusun TA.



9. Teman-teman Geofisika angkatan 2020 terkhusus kepada **Defina, Aini** dan **Hasnawiah** yang selalu ada menjawab pertanyaan-pertanyaan penulis seputar TA.
10. Teman-teman KKNT Pertanian Organik Bulukumba Gelombang 110 **Posko Anrihua** yang telah memberikan semangat, doa, dan *support*-nya kepada penulis.
11. Dan untuk diri sendiri yang telah hebat melewati segala masa yang membuat kepala ingin pecah dan berkelana jauh melewati semua ini dengan pundak yang kuat.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, sehingga dengan segala kerendahan hati penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun untuk memperbaiki kekurangan yang ada. Penulis pun tetap berharap agar tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Makassar, 13 Mei 2024

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
SARI BACAAN	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah	2
I.4 Tujuan Penelitian	3
I.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Kondisi Geologi dan Tektonik Sulawesi	4
II.2 Sulawesi Tengah	6
II.3 Gempa Bumi	13
II.4 Mitigasi Gempa Bumi	19
II.5 Parameter Gempa Bumi	20
II.6 Estimasi Periode Ulang	22
II.7 <i>Software</i> Z-Map	26
BAB III DATA DAN METODE PENELITIAN	28
III.1 Lokasi Penelitian	28
III.2 Alat dan Bahan	29
III.3 Pengumpulan Data	29
III.4 Pengolahan Data	30
Diagram Alir	32
HASIL DAN PEMBAHASAN	33
Pembagian Wilayah	33



IV.2 Distribusi Gempa Bumi Merusak dan <i>Declustering</i>	34
IV.3 Variasi Spasial, Variasi Temporal, <i>a-Value</i> dan <i>b-Value</i>	35
IV.4 Estimasi Indeks Seismisitas dan Periode Ulang	49
IV.5 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu.....	58
IV.6 Periode Ulang Gempa Bumi Sebagai Mitigasi Bencana	61
BAB V PENUTUP	63
V.1 Kesimpulan	63
V.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Peta Geologi dan Mandala Tektonik Sulawesi (Hall and Wilson, 2000)	4
Gambar II. 2 Sebaran Sesar di Sulawesi Tengah	11
Gambar II. 3 Peta sebaran jalur sesar aktif di Sulawesi Tengah (Daryono, 2016).	12
Gambar II. 4 Sesar Palukoro yang terdiri atas Segmen Palu, Segmen Gumbassa, Segmen Saluki, Segmen Moa dan Segmen Graben Meloi (Daryono, 2016).....	13
Gambar II. 5 Skema Urutan Terjadinya Gempa Bumi (Pawirodikromo, 2012). 14	14
Gambar II. 6 Pola umum hubungan antara magnitudo dengan jumlah kejadian gempa bumi (Kanamori, 1981).	23
Gambar III. 1 Peta Lokasi Penelitian	28
Gambar III. 2 Diagram Alir	32
Gambar IV. 1 Pembagian wilayah penelitian berdasarkan sesar	33
Gambar IV. 2 Katalog gempa bumi merusak di Sulawesi Tengah, 1923-2023 ($M \geq 4$; Kedalaman (h) ≤ 100); (a) Distribusi Gempa Bumi Merusak Sulawesi Tengah dan Pembagian Wilayah Penelitian; (b) model 3-D sebaran gempa bumi merusak	35
Gambar IV. 3 Hasil declustering gempa di Wilayah I menggunakan algoritma Reasenberg, 1985. (a) Sebaran kejadian gempa bumi periode 1923-2023; (b) Distribusi frekuensi magnitudo (FMD) kumulatif; (c) Variasi dan histogram magnitudo dan kedalaman gempa sebagai fungsi waktu	37
Gambar IV. 4 Hasil declustering gempa di Wilayah II menggunakan algoritma Reasenberg, 1985. (a) Sebaran kejadian gempa bumi periode 1923-2023; (b) Distribusi frekuensi magnitudo (FMD) kumulatif; (c) Variasi dan histogram magnitudo dan kedalaman gempa sebagai fungsi waktu	39
Gambar IV. 5 Hasil declustering gempa di Wilayah III menggunakan algoritma Reasenberg, 1985. (a) Sebaran kejadian gempa bumi periode 1923-2023; (b) Distribusi frekuensi magnitudo (FMD) kumulatif; (c) Variasi dan histogram magnitudo dan kedalaman gempa sebagai fungsi waktu	41
Gambar IV. 6 Hasil declustering gempa di Wilayah IV menggunakan algoritma Reasenberg, 1985. (a) Sebaran kejadian gempa bumi periode 1923-2023; (b) Distribusi frekuensi magnitudo (FMD) kumulatif; (c) Variasi dan histogram magnitudo dan kedalaman gempa sebagai fungsi waktu	43
Gambar IV. 7 Peta <i>a-value</i> Sulawesi Tengah dibagi menjadi empat wilayah	44
Gambar IV. 8 Peta <i>b-value</i> Sulawesi Tengah dibagi menjadi empat wilayah	45
Gambar IV. 9 Peta <i>a-value</i> Sulawesi Tengah dibagi menjadi 36 daerah	46
Gambar IV. 10 Peta <i>b-value</i> Sulawesi Tengah dibagi menjadi 36 daerah	47



DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG	18
Tabel II. 2 Interpretasi a-value	21
Tabel II. 3 Interpretasi b-value.....	21
Tabel III. 1 Parameter Input <i>Declustering</i> Reasenberg	30
Tabel IV. 1 Pembagian Wilayah Penelitian	34
Tabel IV. 2 Tabel a-value dan b-value Sulawesi Tengah empat wilayah	45
Tabel IV. 3 Tabel a-value, b-value, dan Event Sulawesi Tengah 36 daerah	48
Tabel IV. 4 Harga indeks seismisitas dan periode ulang setiap wilayah penelitian ($M \geq 4$ Mw).....	50
Tabel IV. 5 Harga indeks seismisitas dan periode ulang setiap wilayah penelitian ($M \geq 4,5$ Mw).....	50
Tabel IV. 6 Harga indeks seismisitas dan periode ulang setiap wilayah penelitian ($M \geq 5$ Mw).....	51
Tabel IV. 7 Harga indeks seismisitas dan periode ulang setiap wilayah penelitian ($M \geq 5,5$ Mw).....	52
Tabel IV. 8 Harga indeks seismisitas dan periode ulang setiap wilayah penelitian ($M \geq 6$ Mw).....	52
Tabel IV. 9 Harga indeks seismisitas dan periode ulang setiap wilayah penelitian ($M \geq 6,5$ Mw).....	53
Tabel IV. 10 Harga indeks seismisitas dan periode ulang setiap wilayah penelitian ($M \geq 7$ Mw).....	53
Tabel IV. 11 Harga indeks seismisitas dan periode ulang setiap wilayah penelitian ($M \geq 7,5$ Mw).....	54
Tabel IV. 12 Harga indeks seismisitas dan periode ulang setiap wilayah penelitian ($M \geq 8$ Mw).....	55
Tabel IV. 13 Harga indeks seismisitas dan periode ulang setiap wilayah penelitian ($M \geq 8,5$ Mw).....	55
Tabel IV. 14 Harga periode ulang (tahun) setiap daerah penelitian ($M_w \geq 4-6$)...	56
Tabel IV. 15 Harga periode ulang (tahun) setiap daerah penelitian ($M_w \geq 6,5-8,5$)	57
Tabel IV. 16 Estimasi periode ulang gempa bumi Sulawesi Tengah (Frastika, dkk. 2013)	59
Tabel IV. 17 Estimasi periode ulang gempa bumi Sulawesi Tengah di 4 Wilayah dan 36 Daerah	59



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data gempa bumi dari katalog BMKG dan USGS.....	68
Lampiran 2. Konversi tipe magnitudo	84
Lampiran 3. Parameter <i>Input Declustering Reasenberg</i>	84
Lampiran 4. <i>Filtering dan Declustering</i>	85
Lampiran 5. Grafik jumlah <i>events</i> gempa bumi terhadap waktu	86
Lampiran 6. Perhitungan Periode Ulang (contoh pada $M_w \geq 4$)	87
Lampiran 7. Perhitungan Periode Ulang 36 Daerah di Ms Excel.....	88
Lampiran 8. Grafik 36 Daerah pembagian di Sulawesi Tengah dan sekitarnya	89
Lampiran 9. Perbandingan 4 <i>grid</i> dan 36 <i>grid</i>	107
Lampiran 10. Algoritma untuk memperoleh <i>a-value</i> dan <i>b-value</i>	108



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Sulawesi Tengah merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang terletak di Jalur Gempa Pasifik. Wilayah ini rentan terhadap gempa bumi karena berada di dekat pertemuan lempeng tektonik yang aktif. Hal ini menjadikan Sulawesi Tengah sebagai daerah yang sering dilanda gempa bumi.

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang memiliki potensi merusak yang tinggi di Sulawesi Tengah. Keberadaan patahan-patahan aktif dan aktivitas seismik yang tinggi menjadi faktor utama risiko bencana gempa bumi di wilayah Sulawesi Tengah.

Tingginya risiko bencana gempa bumi di Sulawesi Tengah, menjadikan mitigasi bencana menjadi sangat penting untuk mengurangi dampak buruk yang mungkin timbul. Untuk dapat mengantisipasi bencana gempa bumi di suatu daerah, maka harus mengetahui periode ulang kejadian gempa bumi tersebut.

Periode ulang gempa bumi dapat diperoleh dengan mengetahui nilai parameter keaktifan gempa bumi yaitu a menyatakan keadaan seismisitas dan b menyatakan keadaan tektonik. Metode yang dapat digunakan untuk menghitung parameter keaktifan gempa bumi salah satunya adalah metode *Likelihood* (Budiman dkk., 2011). Selanjutnya nilai periode ulang gempa dihitung dengan menggunakan



utenberg-Richter (Fidia, R. dkk., 2018). Metode ini memungkinkan untuk masi frekuensi kejadian gempa bumi berdasarkan distribusi magnitudo ng terjadi dalam suatu periode waktu tertentu.

Informasi mengenai periode ulang gempa bumi menjadi hal yang cukup penting bagi masyarakat yang hidup di wilayah rawan gempa bumi seperti di Provinsi Sulawesi Tengah, sehingga hasil gambaran aktivitas gempa bumi dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan dengan baik untuk mereduksi efek dari gempa bumi tersebut. Gempa bumi yang selama ini terjadi sangat merugikan masyarakat. Bangunan, harta benda, bahkan nyawa hilang dalam sekejap karena kurangnya kesiapsiagaan masyarakat terhadap bencana gempa bumi. Walaupun manusia tidak dapat menghindari suatu bencana, namun diharapkan dapat meminimalisir korban jiwa dan kerugian harta benda yang terjadi akibat dari gempa bumi tersebut.

I.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana cara mengetahui periode ulang gempa bumi di suatu daerah ditinjau menggunakan metode *Gutenberg-Richter*?
- b. Bagaimana cara menghitung parameter keaktifan gempa bumi suatu daerah?
- c. Apakah data periode ulang gempa bumi dapat dijadikan sebagai informasi mengenai mitigasi bencana?

I.3 Batasan Masalah

- a. Data gempa bumi yang digunakan pada penelitian ini adalah data gempa Provinsi Sulawesi Tengah tahun 1923 sampai dengan 2023.
- b. Batas wilayah yang akan dicari periode ulang gempunya terletak pada koordinat $3^{\circ} 30'$ Lintang Selatan - $1^{\circ} 50'$ Lintang Utara dan $119^{\circ} 0'$ - $124^{\circ} 20'$ Bujur Timur.



de ulang gempa bumi dapat diketahui dengan menggunakan metode *Gutenberg-Richter*.

I.4 Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui periode ulang gempa bumi pada daerah yang diteliti ditinjau menggunakan metode *Gutenberg-Richter*.
- b. Mengetahui parameter keaktifan gempa bumi pada daerah yang diteliti.

I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi mengenai periode ulang gempa bumi yang terjadi di wilayah Provinsi Sulawesi Tengah, sehingga ada kesadaran dan kesiapsiagaan masyarakat agar dapat mengurangi tingkat kerugian dan kerusakan akibat dari bencana gempa bumi tersebut.

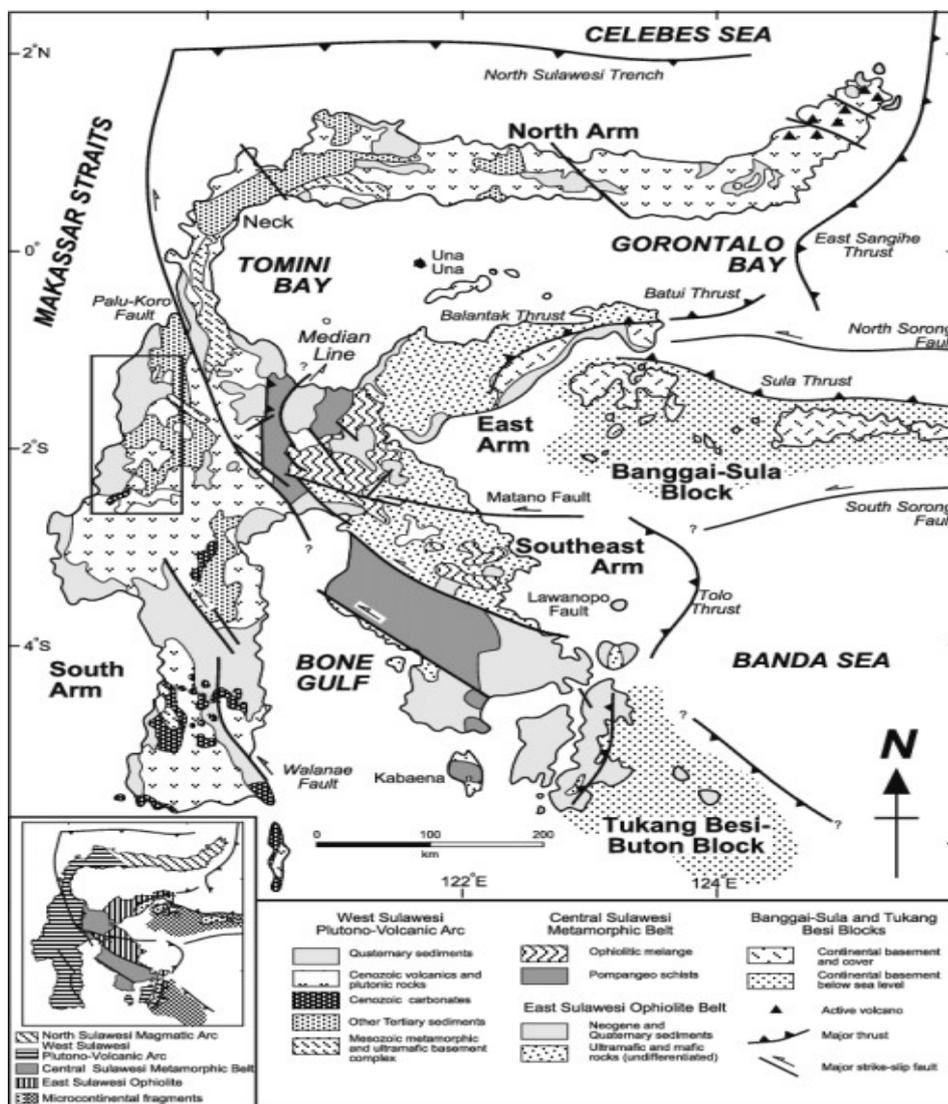


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kondisi Geologi dan Tektonik Sulawesi

Sulawesi dibagi menjadi empat mandala tektonik yaitu Mandala Barat, Mandala Tengah, Mandala Timur, dan Blok Benua Banggai Sula - Tukang Besi.



ur II. 1 Peta Geologi dan Mandala Tektonik Sulawesi (Hall and Wilson, 2000)

Mandala Barat (*West Sulawesi Pluton-Volcanic Arc*) tersusun dari sedimen berumur Kenozoikum, sekuen vulkanik yang menimpa sedimen berumur pra-Kenozoikum, sedimen laut, batuan metamorf, dan batuan beku ultrabasa. Mandala tengah (*Central Sulawesi Metamorphic Belt*) tersusun dari kompleks *mélange* dan batuan metamorf (Sukanto, 1978; Hamilton, 1979). Mandala Timur (*East Sulawesi Ophiolite Belt*) tersusun dari ofiolit dan sedimen berumur Mesozoikum dan Kenozoikum (Hall dan Wilson, 2000). Blok Benua Banggai Sula-Tukang Besi tersusun dari batuan metamorf, batuan beku, dan batuan sedimen laut berumur Paleozoikum dan Mesozoikum (Hall dan Wilson, 2000).

Sulawesi terletak pada zona pertemuan tiga lempeng besar dunia atau lebih dikenal dengan nama *triple junction*. Studi kinematis dan geologi mendeklarasikan bahwa *triple junction* antarlempeng tersebut dipengaruhi oleh rotasi yang signifikan dari microblock di sekitar lempeng tersebut (Sompotan, 2012).

Akibat *triple junction* adalah terjadinya pola deformasi yang kompleks di Sulawesi baik dalam bentuk sesar geser (*strike slip fault*) maupun sesar naik (*thrust fault*). Beberapa sesar tersebut aktif dan menyebabkan gempa. Sesar yang berdekatan dengan zona subduksi mempunyai pola *thrust* seperti Makassar, Tolo, dan Tomini. Adapun sesar darat yang terletak agak jauh dari zona subduksi mempunyai pola *strike slip* baik dengan pola sinsitral (mengiri) seperti Sesar Palu Koro maupun pola dekstral (menganan) seperti Sesar Gorontalo. Di bagian utara Sulawesi terbentuk zona subduksi akibat lempeng laut Sulawesi yang menjam



bawah lengan bagian utara Sulawesi pada masa Palogen akhir (Sompotan, aktivitas subduksi antarlempeng ini berakhir pada masa Neogen yang

ditandai dengan terjadinya zona tumbukan antara *Eastern Sulawesi Ophiolite Belt* dengan *Banggai-Sula Platform* sepanjang *Batui Thrust* di selatan (Sompotan, 2012).

II.2 Sulawesi Tengah

Sulawesi merupakan wilayah pertemuan tiga lempeng, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Filipina. Dari pertemuan lempeng-lempeng tersebut, menyebabkan Sulawesi Tengah sangat rawan terhadap bencana gempa bumi tektonik. Tekanan akibat pergerakan lempeng-lempeng ini menyebabkan banyak sesar lokal aktif di wilayah Sulawesi Tengah. (Natawidjaya dan Triyoso, 2007).

Salah satu sesar aktif di Sulawesi Tengah adalah sesar Palu Koro yang memanjang kurang lebih 240 km dari utara (Kota Palu) ke selatan (Malili) hingga Teluk Bone. Sesar ini merupakan sesar sinistral aktif dengan kecepatan pergeseran sekitar 25-30 mm/tahun. Pada umumnya, potensi kerusakan akibat gempa bumi yang bersumber dari sesar aktif menimbulkan kerugian dan kerusakan lebih parah dibandingkan gempa bumi yang bersumber di lautan pada skala magnitudo yang sama. Gempa bumi ini menimbulkan kerusakan bangunan dan menelan ribuan korban jiwa.

Parameter gempa sesar darat diperoleh dengan menghitung nilai laju geser sesar atau *sliprate* sesar. *Sliprate* untuk Sulawesi Tengah diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sarsito dkk (2012) dan Socquet dkk (2006). Pada beberapa sesar yang memiliki stasiun GPS yang saling berseberangan dapat

perhitungan nilai *sliprate*. Adapun pada beberapa sesar yang tidak memiliki stasiun GPS di sekitarnya tidak dapat dihitung nilai *sliprate*-nya.



Beberapa sesar telah teridentifikasi nilai pergerakannya, sedangkan beberapa lainnya belum teridentifikasi. Berikut penjelasan tentang sesar darat aktif di Sulawesi Tengah (Pusat Studi Gempa Nasional 2017).

II.2.1 Sesar Palu-Koro

Sesar Palu Koro merupakan struktur utama Pulau Sulawesi serta merupakan sesar terpanjang yang ada di Pulau Sulawesi yang memanjang dari Sulawesi bagian Tengah hingga Selat Karimata. Secara geomorfologi sesar Palu Koro merupakan sesar geser mengiri atau left lateral slip. Gempa yang terjadi di Sulawesi diduga diakibatkan oleh aktivitas Sesar Palu Koro. Tercatat satu gempa pada tahun 1964 ($M_w = 5,2$) serta tiga gempa yang memicu terjadinya tsunami yaitu pada tahun 1967 ($M_w = 6,3$), tahun 1969 ($M_w = 6,1$), dan tahun 1984 ($M_w = 7,6$) di sekitar Majene. Terkait dengan aktivitas Sesar Palu-Koro tercatat terjadi tiga kali gempa yang menyebabkan tsunami yaitu pada tahun 1927 ($M_w = 6,3$), tahun 1968 ($M_w = 7,4$), dan tahun 1996 ($M_w = 7,7$). Penelitian terakhir yang dilakukan oleh Socquet dkk (2006) memperkirakan nilai *sliprate* sesar Palu Koro adalah 41-45 mm/th. Berdasarkan hasil perhitungan terkini menunjukkan nilai *sliprate* (laju geser) sesar Palu Koro berkisar pada angka 33 mm/th.

II.2.2 Sesar Matano

Sesar Matano merupakan salah satu sesar geser mengiri atau left lateral *strike slip* yang terletak di Sulawesi bagian Tengah. Sesar tersebut merupakan perpanjangan Sesar Palu Koro dari arah barat laut ke tenggara yang memotong



Matano. Menurut morfologi Sesar Matano ini terbagi menjadi enam yaitu segmen Kuleana, Pewusai, Matano, Pamsoa, Ballawai, dan terakhir

segmen Geressa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sarsito dkk (2012) diperkirakan bahwa nilai laju geser Sesar Matano berkisar antara 4-32 mm/th.

II.2.3 Sesar Batui

Batui merupakan sesar naik yang terletak di ujung barat Provinsi Sulawesi Tengah. Sesar Batui terbentuk karena aktivitas subduksi oleh Mikrokontingen Bangai Sula dan Sulawesi Timur. Sesar ini memotong Sesar Balantak pada bagian timur. Penelitian terakhir oleh Sarsito dkk (2012) belum dapat menentukan nilai *sliprate* sesar ini karena kekurangan data GPS yang terdapat di sekitar sesar. Sama seperti halnya Sesar Soroako, hanya terdapat satu stasun GPS di dekat sesar ini yaitu Luwu.

II.2.4 Sesar Balantak

Sesar Balantak merupakan sesar dengan mekanisme *thrust* yang terdapat di sebelah timur Sesar Batui, Provinsi Sulawesi Tengah. Aktivitas Sesar Balantak dapat dilihat dari sering terjadinya gempa di sekitar sesar tersebut.

II.2.5 Sesar Palolo

Sesar Palolo merupakan salah satu sesar turun atau normal yang terletak di Sulawesi Tengah, berdekatan dengan Sesar Palu Koro dan Sesar Tokararu. Sehubungan dengan keterbatasan data, sesar ini belum diestimasi *sliprate* geodetikanya.

II.2.6 Sesar Peleng dan Ambelang

Sesar Peleng dan Sesar Ambelang terletak berhadapan di bawah Sesar



Walaupun letaknya berhadapan, kedua Sesar ini mempunyai mekanisme beda. Peleng Fault merupakan *strike slip* yang terletak di ujung Timur

Sulawesi Tengah, berdekatan dengan Sesar Batui. Berbeda dengan Sesar Peleng, Sesar Amblenag terletak di ujung timur Sulawesi Tengah. Sesar ini memiliki mekanisme reverse. Sehubungan dengan keterbatasan data, sesar ini belum diestimasi *sliprate* geodetikanya.

II.2.7 Sausu Fault

Sausu fault merupakan sesar yang terletak di Sulawesi Tengah. Sesar ini berdekatan dengan Sesar Palolo. Sesar ini mempunyai panjang segemen 90 km dengan mekanisme sesar *strike slip*. Sehubungan dengan keterbatasan data, sesar ini belum diestimasi *sliprate* geodetikanya.

II.2.8 Tokararu Fault

Tokararu fault merupakan *thrust* yang terletak di Sulawesi Tengah. Kondisi saat ini hampir tidak ada titik GPS yang terletak di dekat sesar tersebut. Jika ada pun terletak di seberang sesar yang lainnya. Karena keterbatasan data, sesar ini belum diestimasi *sliprate* geodetikanya.

II.2.9 Poso Fault

Sesar Poso merupakan sesar naik yang terletak di Sulawesi Tengah. Sama halnya dengan Tokararu, hampir tidak ada stasiun titik GPS di sekitar sesar. Karena keterbatasan data, sesar ini belum diestimasi *sliprate* geodetikanya.

II.2.10 Sesar Weluki

Sesar Weluki merupakan sesar naik yang terletak di Sulawesi Tengah.



tidak ada stasiun titik GPS di sekitar sesar tersebut. Karena keterbatasan data, sesar ini belum diestimasi *sliprate* geodetikanya.

II.2.11 Sesar Tomini

Sesar Tomini merupakan sesar dengan tipe patahan *strike slip*. Sesar darat ini memanjang dari arah Barat ke Timur, melalui wilayah Kabupaten Parigi Moutong, Kecamatan Tomini dan Moutong.

II.2.12 Poso *Fault*

Sesar Poso memiliki tipe patahan *reverse*. Sesar tersebut memanjang dari arah Utara ke Selatan melalui daerah Kecamatan Lage, Kecamatan Pamona Utara, Kecamatan Pamona Puselemba, Kecamatan Pamona Tenggara hingga Kecamatan Pamona Selatan (Kabupaten Poso).

II.2.13 Loa *Fault*

Loa *fault* merupakan sesar dengan mekanisme *strike slip*. Sesar ini memanjang dari arah Barat Laut ke Tenggara melewati Kecamatan Pamona Utara, Kecamatan Pamona Timur (Kab. Poso), hingga Kecamatan Mori Atas (Kab. Morowali Utara).

II.2.14 Maleei *Fault*

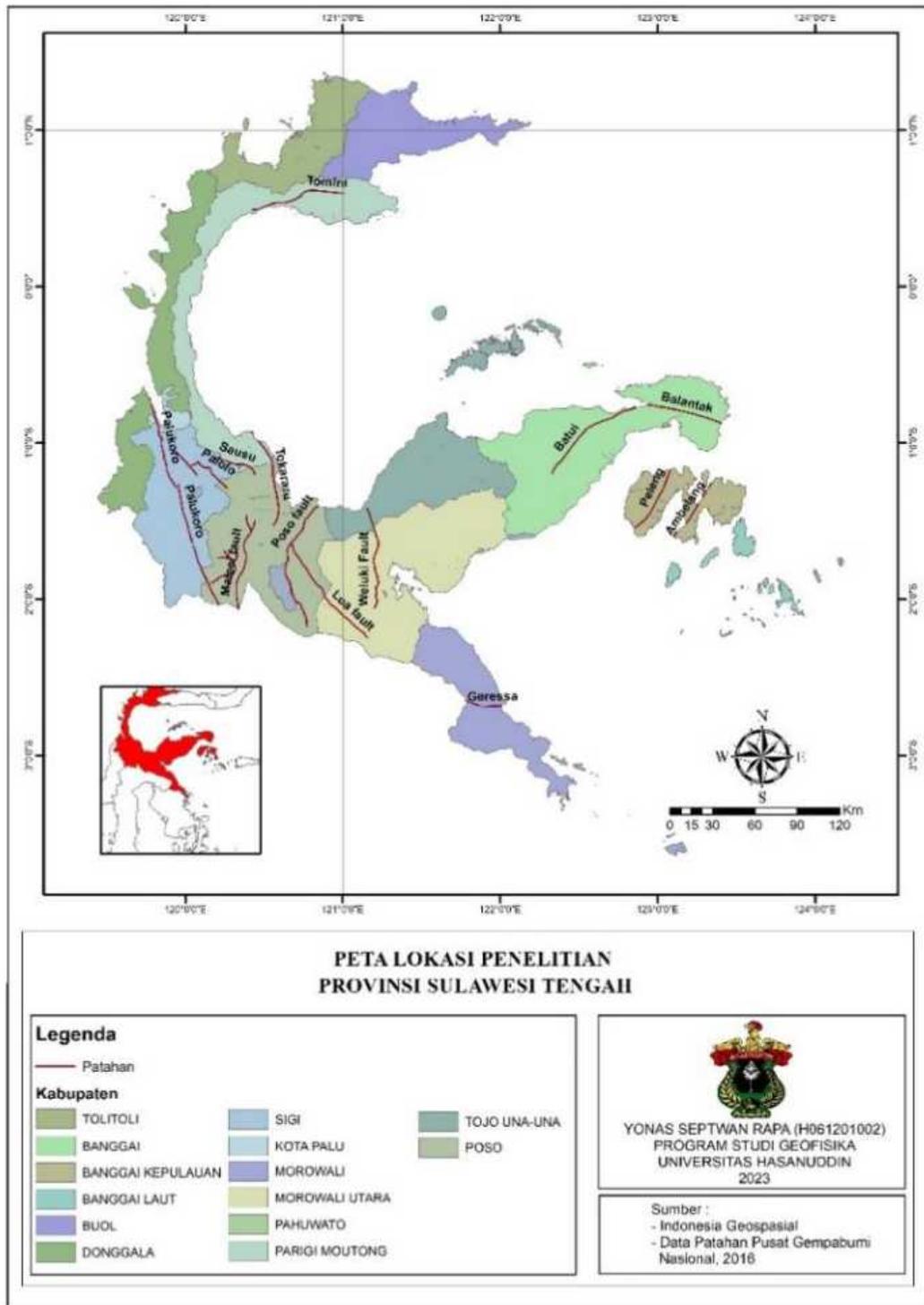
Sesar Maleei memiliki tipe patahan *reverse*. Sesar ini memanjang dari arah Utara ke Selatan melalui Kecamatan Lore Timur, Kec. Lore Piore, Kec. Lore Tengah, Kec. Lore Barat, Kec. Lore Selatan (Kab. Poso), hingga Kec. Rampi (Kab. Luwu Utara, Prov. Sulawesi Selatan)

II.2.15 Sesar Garessa

Sesar Garessa merupakan sesar dengan tipe patahan *strike slip*. Lajur sesar ini memanjang dari arah Barat melalui wilayah Kecamatan Bungku Timur hingga ke

melalui perairan Teluk Tolo.



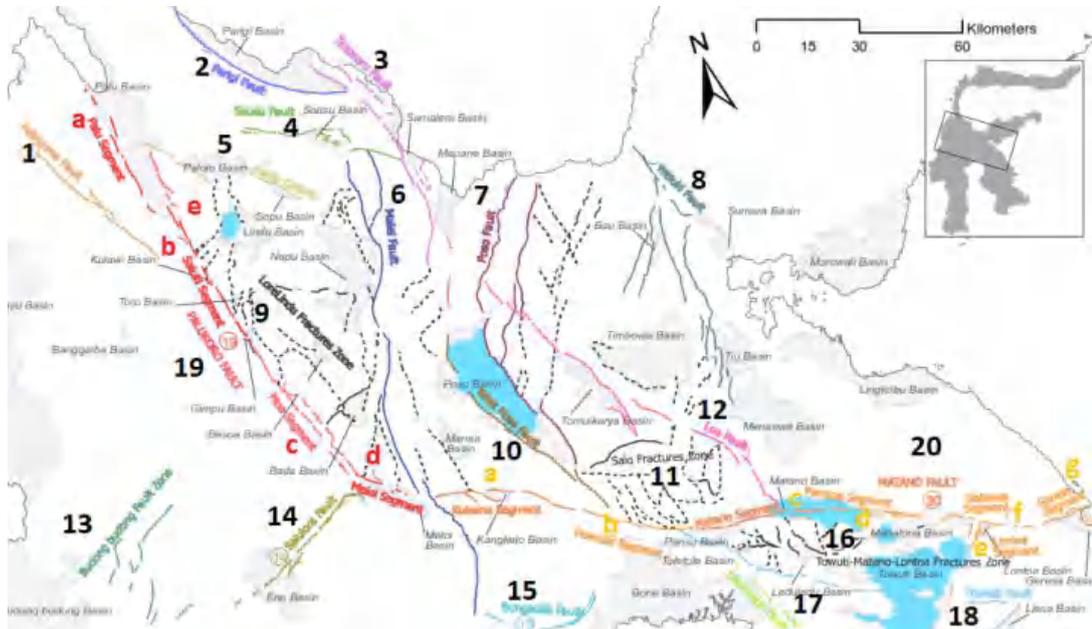


Gambar II. 2 Sebaran Sesar di Sulawesi Tengah

anjutnya, Mudrik Daryono dalam disertasinya menjelaskan setidaknya, sesar dan 12 segmen yang ada di Sulawesi Tengah dan sekitarnya.



Berdasarkan hasil disertasi Mudrik Rahmawan Daryono (2016), berikut adalah sesar-sesar beserta segmentasi yang ada di Sulawesi Tengah:



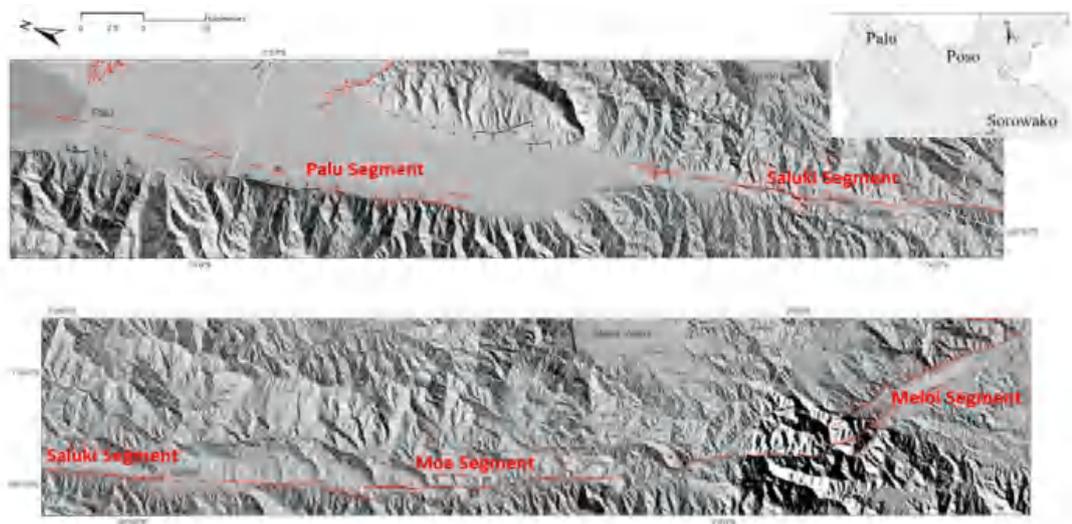
Gambar II. 3 Peta sebaran jalur sesar aktif di Sulawesi Tengah (Daryono, 2016).

Tabel II. 1 Keterangan Gambar II.2

Fault		Segment Palu Koro	
1	Palingtuma Fault	a	Palu Segment
2	Parigi Fault	b	Saluki Segment
3	Tokararu Fault	c	Moa Segment
4	Sausu Fault	d	Meloi Segment
5	Palolo Graben	e	Segmen Gumbassa
6	Malei Fault	Segment Matano	
7	Poso Fault	a	Kuleana Segment
8	Waluki Fault	b	Pewusai Segment
9	Lorelindu fracture Zone	c	Matano Segment
10	West Poso Fault	d	Pamso Segment
11	Salo Fracture Zone	e	Lontoa Segment
	Lao fault	f	Ballawal Segment
	Budong-Budong Fault Zone	g	Geresa Segment



14	Salulore Fault
15	Bungandidi Fault
16	Towuti Matano Lontoa Fracture Zone
17	Lawanopo Fault
18	Towuti Fault
19	Palu Koro Fault
20	Matano Fault



Gambar II. 4 Sesar Palukoro yang terdiri atas Segmen Palu, Segmen Gumbassa, Segmen Saluki, Segmen Moe dan Segmen Graben Meloi (Daryono, 2016).

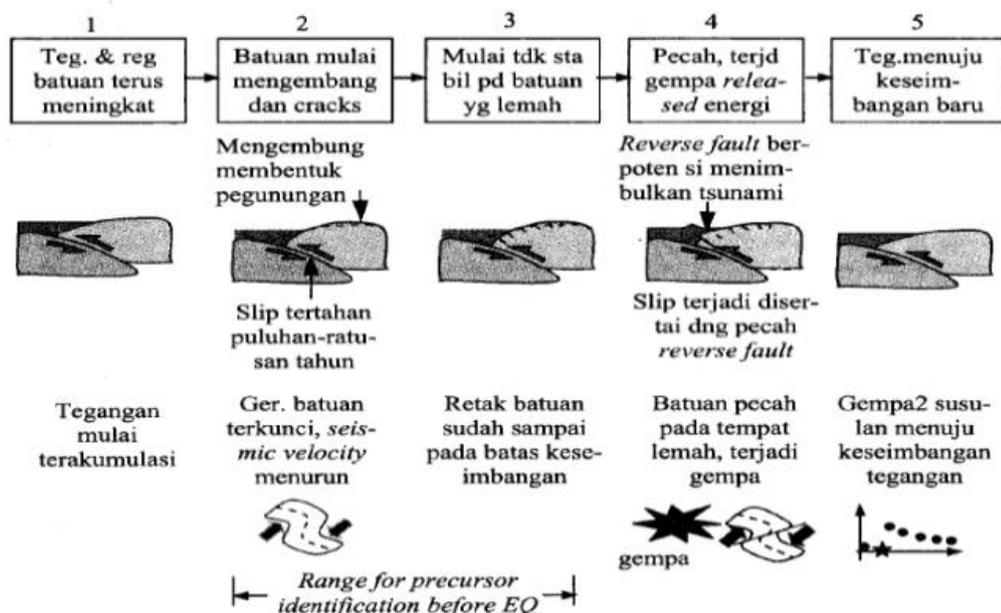
II.3 Gempa Bumi

Deformasi pada lapisan bumi sering terjadi karena adanya tekanan (*stress*) dan tarikan (*strain*). Secara umum setiap batuan pada lapisan bumi memiliki batas maksimum tertentu, apabila batuan terus mengalami tekanan maupun tarikan hingga mencapai batas maksimum, batuan mengalami pegeseran hingga



akibatkan adanya patahan. Energi dari tekanan akan terlepas dalam bentuk yang dikenal sebagai gempa bumi (Lira, 2017).

Menurut Pawirodikromo (2012), menyatakan bahwa ada beberapa tahapan sebelum terjadinya bencana gempa bumi. Perubahan pada batuan tidak akan terjadi, namun mengalami sebuah tegangan karena adanya beban gravitasi, hal tersebut terjadi pada saat kondisi normal. Pergerakan yang terjadi mengakibatkan terbentuknya tegangan baru pada batuan dalam bentuk tegangan geser, desak, maupun tarik.



Gambar II. 5 Skema Urutan Terjadinya Gempa Bumi (Pawirodikromo, 2012)
Berdasarkan penjelasan Gambar II.3, maka dari itu tahap-tahap kejadian

gempa bumi dapat dideskripsikan sebagai berikut:

1) Tahap 1, apabila terdapat dua lempeng yang saling bertumbukan di jalur subduksi, maka kedua lempeng akan saling mengunci dan tegangan geser terakumulasi.



2) lempeng dibagian atas mulai mengembang karena adanya gerakan an yang terus berlangsung sampai puluhan atau bahkan ribuan tahun gga mengakibatkan terbentuknya bukit-bukit di lempeng atas, selanjutnya

retakan-retakan kecil akan terjadi, gelombang seismik mulai menurun dan periode ini dapat terjadi dalam kurun waktu bulan, maupun tahun.

- 3) Tahap 3, retakan-retakan batuan sampai pada batas keseimbangan sehingga batuan mencapai tingkat instabilitas. Gelombang seismik akan mulai naik dikarenakan terisinya rekahan-rekahan oleh air dari sekitar. Kandungan air di dalam batuan yang menyebabkan adanya suatu pelumasan sehingga batuan dapat bergerak.
- 4) Tahap 4, pada saat batuan berada ditempat yang paling lemah, batuan akan pecah, slip yang terkunci akan terlepas yang mengakibatkan terjadinya gempa bumi. Sedangkan kejadian dip-slip yang terdapat kandungan air didalamnya dapat menimbulkan tsunami.
- 5) Tahap 5, pada saat gempa bumi selesai, maka terjadi keseimbangan baru (Pawirodikromo, 2012).

II.3.1 Jenis-Jenis Gempa Bumi

Jenis gempa bumi dapat dibedakan berdasarkan penyebab terjadinya dan kedalamannya.

a. Berdasarkan Penyebab

- 1) Gempa tektonik, yaitu gempa bumi yang berasal dari pergeseran lapisan-lapisan batuan sepanjang bidang sesar di dalam bumi.
- 2) Gempa vulkanik, yaitu gempa bumi yang berasal dari gerakan magma karena tas gunung berapi.
- 3) Gempa longsor atau runtuh, yaitu gempa bumi yang terjadi karena



aktivitas runtuh pada daerah pertambangan atau daerah tanah longsor.

- 4) Gempa tumbukan, yaitu gempa bumi yang terjadi karena tumbukan meteor atau asteroid yang jatuh ke permukaan bumi.
- 5) Gempa buatan, yaitu getaran gempa bumi yang terjadi karena adanya aktivitas manusia di kulit bumi yang menyebabkan getaran yang cukup kuat.

b. Berdasarkan Kedalaman

- 1) Gempa bumi dalam adalah gempa bumi yang hiposentrumnya berada lebih dari 300 km di bawah permukaan bumi (di dalam kerak bumi). Gempa bumi dalam pada umumnya tidak terlalu berbahaya
- 2) Gempa bumi menengah adalah gempa bumi yang hiposentrumnya berada antara 60 km sampai 300 km di bawah permukaan bumi. Gempa bumi menengah pada umumnya menimbulkan kerusakan ringan dan getarannya lebih terasa.
- 3) Gempa bumi dangkal adalah gempa bumi yang hiposentrumnya berada kurang dari 60 km di bawah permukaan bumi. Gempa bumi ini pada umumnya menyebabkan kerusakan yang besar.

II.3.2 Parameter Gempa Bumi

Parameter gempa bumi merupakan informasi yang berkaitan dengan kejadian gempa bumi. Parameter gempa bumi meliputi waktu kejadian (*origin time*), lokasi episenter, hiposenter, kedalaman sumber gempa bumi, dan magnitudo.



Waktu kejadian gempa bumi (*origin time*) adalah waktu terlepasnya akumulasi tegangan (*stress*) yang berbentuk penjalaran gelombang gempa bumi dan terukur dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, dan detik dalam satuan

UTC (*Universal Time Coordinate*).

- b. Hiposenter merupakan pusat terjadinya gempa bumi di bawah permukaan bumi; Episenter adalah titik di permukaan bumi yang merupakan refleksi tegak lurus dari hiposenter atau fokus gempa bumi.
- c. Kedalaman sumber gempa bumi adalah jarak hiposenter dihitung tegak lurus dari permukaan bumi. Kedalaman dinyatakan oleh besaran jarak dalam satuan kilometer/ (km).
- d. Magnitudo adalah ukuran kekuatan gempa bumi yang menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempa bumi terjadi dan hasil pengamatan seismograph. Beberapa jenis Magnitudo yaitu Magnitudo *Summary* (M), Magnitudo Lokal (M_L), *Body-Wave* Magnitudo (M_B), *Surface-Wave* Magnitudo (M_S), Magnitudo Momen (M_W), dan Magnitudo Durasi (M_D).

Adanya berbagai ukuran skala tersebut maka diperlukan konversi ke dalam skala magnitudo yang sama untuk digunakan dalam analisis kejadian gempa bumi. Tipe magnitudo momen (M_w) dianggap paling bisa dipercaya karena sangat dipengaruhi oleh ukuran patahan. M_w dikembangkan oleh Hanks and Kanamori (1979) yang dihitung berdasarkan nilai momen seismik kejadian gempa. Karakteristik lain dari tipe M_w adalah tidak mengalami saturasi sehingga mampu menggambarkan ukuran gempa pada semua range magnitudo. Di sisi lain keseragaman tipe magnitudo menjadi tipe M_w sangat penting dalam perhitungan bahaya gempa dan deformasi crustal (Scordilis, 2006). Berikut ini

maan konversi magnitudo tipe lain ke M_w (Taruna, dkk., 2021):

$$M_w = 1.1993(M_B) - 1.2261 \quad (2.1)$$



$$M_w = 0,7353(M_{L_v}) + 1,0722 \quad (2.2)$$

$$M_w = 0,6424(M_L) + 1,5595 \quad (2.3)$$

$$M_w = 0,6191(M_S) + 2,3965 \quad (2.4)$$

$$M_w = 1,0166M - 0,2207 \quad (2.5)$$

- e. Intensitas gempa bumi merupakan ukuran gempa bumi yang pertama kali digunakan untuk menyatakan besar gempa bumi sebelum manusia dapat mengukur besarnya gempa bumi dengan alat. Ukuran ini dapat diketahui dengan cara melakukan pengamatan langsung efek gempa bumi terhadap manusia, struktur bangunan dan lingkungan pada suatu lokasi tertentu.

Intensitas gempa bumi dinyatakan dalam skala *Mercally* yang biasa disebut MMI (*Modified Mercally Intensity*). Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menetapkan skala intensitas gempa bumi terbaru yang disesuaikan dengan wilayah Indonesia seperti dijelaskan pada Tabel II.1.

Tabel II. 2 Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	TIDAK DIRASAKAN	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat	I-II	<2,9
II	Hijau	DIRASAKAN	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar.	III-V	2,9-88



III	Kuning	KERUSAKAN RINGAN	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, genteng bergeser ke bawah dan sebagian berjayuhan.	VI	89-167
IV	Jingga	KERUSAKAN SEDANG	Banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar genteng bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.	VII-VIII	168-564
V	Merah	KERUSAKAN BERAT	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX-XII	≥ 564

Sumber: (BMKG) <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/skala-mmi.bmkg> [diakses 21 Desember 2023]

II.4 Mitigasi Gempa Bumi

Mitigasi adalah suatu proses terjadi berbagai tindakan pencegahan untuk meminimalkan dampak negatif bencana alam terhadap manusia, harta dan benda, infrastruktur dan lingkungan. Untuk mendukung mitigasi bencana khususnya gempa bumi diperlukan beberapa karakteristik gempa itu sendiri, bahwa gempa bumi itu:

1. Berlangsung dalam waktu yang singkat
2. Lokasi kejadian hanya tertentu saja



potensi terulang kembali

tidak dapat dicegah, tetapi akibat yang ditimbulkan dapat dikurangi

Usaha-usaha yang diperlukan dalam mitigasi gempa untuk mencegah resiko gempa bumi dan korban berjatuh adalah dengan cara melakukan pemantauan peristiwa gempa, pemetaan sesar aktif untuk mengetahui sejarah keaktifan sesar yang akan bermanfaat untuk estimasi besarnya magnitudo gempa bumi (makin panjang segmen sesar, magnitudo maksimumnya berpotensi akan besar). Data sesar aktif ini dapat digunakan para perancang tata ruang dan wilayah untuk pengembangan dan pembangunan. Cara selanjutnya untuk mengurangi korban bencana gempa bumi adalah dengan sosialisasi. Sosialisasi perlu dilakukan untuk menyadarkan masyarakat bahwa mereka hidup di daerah rawan bencana gempa bumi.

Kesiapan untuk hidup di daerah rawan bencana gempa bumi ini adalah dengan membuat bangunan tahan gempa dengan bantuan ahli teknik sipil. Sosialisasi juga perlu dilakukan kepada para korban gempa bumi agar mereka tidak gampang disulut isu yang dapat menyebabkan kepanikan massa.

II.5 Parameter Gempa Bumi

II.5.1 Parameter Seismik (Nilai a)

Nilai a menunjukkan keaktifan seismik pada suatu daerah. Keaktifan seismik juga dipengaruhi oleh tingkat kerapuhan batuan. Menurut Hariani (2018) tingkat seismisitas pada suatu daerah yang sedang diamati bergantung dari periode pengamatan, luas daerah pengamatan, dan seismisitas pada daerah tersebut.

Semakin besar nilai a pada suatu daerah berarti daerah tersebut memiliki



seismik yang tinggi, sebaliknya untuk nilai a yang rendah berarti aktivitasnya juga rendah (Nuannin, 2006; Rusdin, 2009).

II.5.2 Parameter Tektonik (Nilai b)

Secara teori b -value merupakan parameter keadaan tektonik suatu daerah di mana terjadi gempa bumi tergantung dari sifat batuan setempat dan berdasarkan hasil penelitian para ahli sebelumnya menyatakan bahwa nilai b yang tinggi memiliki tingkat kerapuhan batuan yang tinggi dan daya tahan batuan terhadap $stress$ rendah, sedangkan b -value yang kecil berarti kecil pula tingkat kerapuhan batumannya dan daya tahan batuan terhadap $stress$ besar (Priadi & Arifin, 2017). Banyak ahli mengatakan bahwa nilai b bergantung pada karakter tektonik dan tingkat $stress$ atau struktur material suatu wilayah (Rachmawati, 2014).

Kemiringan distribusi frekuensi magnitudo yang dapat menggambarkan distribusi kejadian gempa disimbolkan dengan b -value (Lusiani dkk., 2019).

II.5.3 Interpretasi Nilai a dan b

Ketentuan tinggi rendahnya a -value dan b -value disuatu wilayah dapat dilihat pada tabel II.2 dan tabel II.3 (Lusiani dkk., 2019):

Tabel II. 3 Interpretasi a -value

a -value	Keterangan
a - value < 6 (rendah)	Wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang rendah dan juga berpeluang terjadi gempa bumi besar. Hal ini dikarenakan kondisi $stress$ lokal yang tinggi pada daerah tersebut dan adanya akumulasi energi (<i>asperity</i>).
a - value \geq 6 (tinggi)	a -value yang besar menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi dan tidak terjadi akumulasi energi, sehingga gempa yang terjadi banyak dan berkekuatan kecil.

Tabel II. 4 Interpretasi b -value

value	Keterangan
b - value < rendah)	1. Daerah ini merupakan daerah <i>asperities</i> yaitu daerah yang memiliki konsentrasi $stress$ tinggi. Memiliki frekuensi rata-rata kejadian gempa yang kecil untuk



	<p>magnitudo kecil.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Daya tahan batuan terhadap <i>stress</i> besar, menyimpan lokal <i>stress</i> yang cukup tinggi atau sedangberlangsung akumulasi <i>stress</i> dan berpotensi terjadi gempa bumi besar yang akan datang. 3. Bersifat <i>ductile</i> (apabila sudah mencapai batas elastis maka tidak ada lagi perubahan bentuk) hingga akhirnya patah. 4. Memiliki gempa bumi yang cukup besar dan berpotensi merusak ≥ 6.
<i>b</i> – value $\geq 0,7$ (tinggi)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Daerah ini merupakan daerah <i>creeping</i> yaitu daerah yang memiliki konsentrasi <i>stress</i> rendah. Memiliki frekuensi rata-rata kejadian gempa yang besar untuk magnitudo kecil. 2. Daya tahan batuan terhadap <i>stress</i> kecil, tidak sedang berlangsung akumulasi <i>stress</i> sehingga apabila terdapat sedikit <i>stress</i> langsung terjadi gempa bumi dengan magnitudo kecil. 3. Bersifat rapuh (apabila mendapat <i>stress</i> langsung patah tanpa perubahan bentuk).

II.6 Estimasi Periode Ulang

Periode gempa bumi dimaksudkan bahwa gempa bumi dengan magnitudo tertentu akan terulang kembali di daerah yang sama pada kurun waktu tertentu. Metode yang biasa digunakan untuk memprediksi gempa adalah *seismogeological, statistic analysis of seismicity, correlation analysis* dan metode *precursor* (Rahmattulloh, 2022). Berikut adalah metode seismik yang digunakan dalam mengestimasi periode ulang di wilayah Sulawesi Tengah (Sub Komite Katalog Gempabumi BMKG, 2021):

II.6.1 Metode Gutenberg-Richter

Pola umum hubungan antara besar magnitudo dengan jumlah kejadian gempabumi adalah gempa kecil terjadi dengan jumlah yang banyak, sedangkan

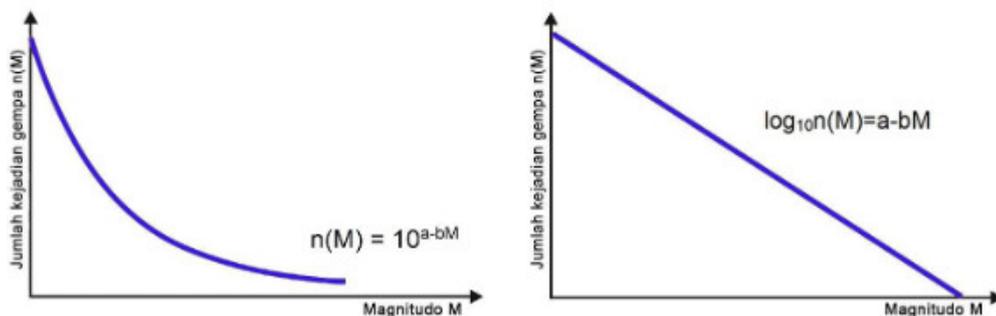


at terjadi dalam jumlah yang sedikit (Gambar 2.5). Hubungan tersebut n dalam persamaan *frequency-magnitude distribution* (FMD) oleh

Gutenberg dan Richter (1944) sebagai :

$$\log_{10} n(M) = a - bM \quad (2.6)$$

$n(M)$ merupakan jumlah kejadian gempa bumi dengan magnitudo lebih dari atau sama dengan M . Intersep a berhubungan dengan tingkat produktivitas gempa bumi pada wilayah dan periode waktu tertentu. *Slope* b menjelaskan ukuran relatif distribusi gempa bumi (El-Isa dan Eaton, 2014). Nilai a dan b dapat bervariasi terhadap ruang dan waktu. Nilai b berhubungan dengan keadaan *stress* dan karakteristik tektonik di suatu *region*. Nilai b yang rendah dimungkinkan terjadi karena tingkat *stress* yang tinggi (Nuannin, 2006). Namun, nilai b yang rendah di suatu wilayah juga dapat terjadi akibat ketidaklengkapan data katalog (El-Isa dan Eaton, 2014).



Gambar II. 6 Pola umum hubungan antara magnitudo dengan jumlah kejadian gempa bumi (Kanamori, 1981).

FMD juga dapat dinyatakan secara kumulatif (Gambar 2.6). Hubungan antara jumlah kumulatif kejadian gempa bumi dengan magnitudo dinyatakan sebagai:

$$\log_{10} N(M) = A - bM \quad (2.7)$$

$N(M)$ merupakan jumlah kumulatif kejadian gempa bumi dengan magnitudo lebih u sama dengan M , dan A adalah konstanta dengan nilai $\log_{10}(b \ln 10)$ (Hirose dan Maeda, 2011). Dengan demikian nilai a dapat an sebagai :



$$a = \log_{10} N(M) + \log_{10}(b \ln 10) + bM \quad (2.8)$$

Nilai A untuk rata-rata kejadian gempabumi pertahun secara teoritis dirumuskan sebagai berikut (Rohadi et al., 2014):

$$A_1 = A - \log_{10} T \quad (2.9)$$

T merupakan periode observasi yang dinyatakan dalam tahun. Berdasarkan persamaan (2.11) dan (2.13), maka FMD kumulatif per tahun atau disebut juga dengan indeks seismisitas dapat dinyatakan sebagai:

$$N_1(M) = 10^{A_1 - bM} \quad (2.10)$$

$N_1(M)$ merupakan indeks seismisitas yang bermakna jumlah kumulatif kejadian gempabumi dengan magnitudo lebih dari atau sama dengan M per tahun. Dengan demikian dapat diformulasikan kemungkinan terjadinya satu kali atau lebih gempabumi dengan magnitudo lebih besar dari M dalam periode T sebagai:

$$P(M, T) = (1 - e^{-N(M)T}) \quad (2.11)$$

Jika indeks seismisitas berkaitan dengan frekuensi kejadian gempabumi, maka estimasi periode ulang kejadian gempabumi dengan magnitudo lebih dari atau sama dengan M dapat dinyatakan sebagai kebalikan dari indeks seismisitas, yaitu:

$$\theta = \frac{1}{N_1(M)} \quad (2.12)$$



kan estimasi periode ulang yang dinyatakan dalam tahun. Estimasi periode merupakan nilai probabilitas perulangan gempa dengan magnitudo lebih dari a dengan M yang didapatkan dari perhitungan statistik, bukan merupakan

nilai pasti periode terulangnya kembali gempa dengan magnitudo tertentu.

II.6.2 Metode *Likelihood* Maksimum

Karakteristik kegempaan di suatu daerah diperlukan adanya relasi *Gutenberg-Richter*, dimana untuk mencari *b-value* menggunakan estimasi maksimum *likelihood*. Metode *likelihood* maksimum digunakan untuk mengkalkulasi perhitungan dalam pemetaan nilai-*b* secara spasial. Melalui metode *Likelihood* maksimum, nilai *b* pada sekumpulan data gempa dinyatakan sebagai:

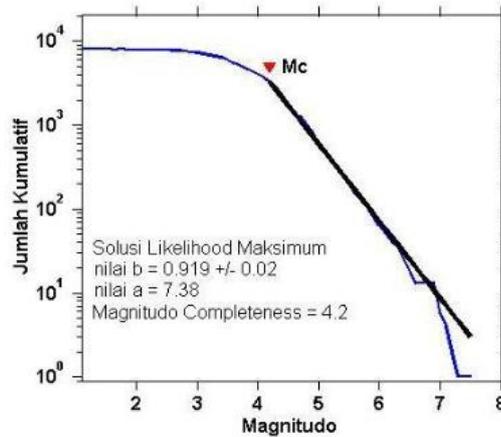
$$b = \frac{0.4343}{\underline{M} - M_c} \quad (2.13)$$

\underline{M} merupakan nilai rata-rata magnitudo dan M_c merupakan magnitudo *completeness* dalam distribusi kumulatif. Metode *Likelihood* maksimum dapat digunakan untuk menghitung nilai *b* jika jenis magnitudo dalam sekumpulan data seragam karena metode ini memerlukan nilai magnitudo rata-rata. Konversi magnitudo diperlukan jika terdapat jenis magnitudo yang tidak sama dalam sekumpulan data yang akan ditentukan nilai *b*-nya. Magnitudo *completeness* dianggap sebagai magnitudo minimum dalam persamaan FMD yang digambarkan secara kumulatif karena nilai magnitudo dalam katalog hanya diberikan hingga dua digit (Nuannin, 2006). Magnitudo *completeness* adalah titik awal garis FMD kumulatif.

Magnitudo *completeness* didapatkan dari titik belok kurva hubungan antara magnitudo terhadap jumlah kumulatif kejadian gempabumi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar II.4. Awalnya kurva berbentuk garis horisontal, magnitudo *completeness* adalah titik ketika kurva mulai belok ke bawah. Dengan demikian, M_c atau *completeness* menggambarkan nilai magnitudo gempabumi terkecil yang



dapat direkam dengan baik oleh jaringan seismik di suatu wilayah.



Gambar II.7 FMD kejadian gempa bumi di wilayah Papua tahun 2009–2019. Kurva biru menunjukkan jumlah kumulatif kejadian gempa bumi, garis hitam menunjukkan $\log_{10} N(M) = A - bM$, dan M_c menunjukkan posisi magnitudo *completeness* (Sub Komite Katalog Gempabumi BMKG, 2021).

Estimasi standar deviasi nilai b dihitung menggunakan rumus berikut (Shi and Bolt, 1982):

$$\delta b = 2.3b^2 \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(M_i - M)^2}{n(n-1)}} \quad (2.14)$$

δb merupakan nilai standar deviasi nilai b dan n merupakan jumlah data gempa yang digunakan untuk menghitung nilai b .

II.7 Software Z-Map

Dalam melakukan penelitian mengenai nilai a dan b , diperlukan *software* yang digunakan untuk melakukan *input* data gempa secara otomatis dan menghasilkan *output* yaitu nilai a dan b beserta pemetaanya. Nilai a dan b tersebut dapat digunakan



ngetahui akibat yang ditimbulkan dari gempa bumi dan dianalisis dengan geologi setempat. *Software Z-Map v7* yang dikembangkan oleh Stefan

Wiemer dan teman-temannya menghasilkan beragam fitur tambahan yang berguna untuk analisis kegempaan.

Software Z-Map hanya dapat berjalan apabila sudah terinstal MATLAB dan bersifat *open source*. Beberapa fitur yang ada dalam Z-Map antara lain adalah sebagai berikut:

1. Perubahan tingkat seismisitas dapat dikerjakan sebagai fungsi ruang dan waktu secara berkelanjutan;
2. Analisis yang terperinci dan detail dapat dilakukan pada beberapa wilayah tertentu;
3. Tampilan yang berbeda dari peta, profil dan statistik yang sangat berguna seperti p dan b *value* dapat dihitung dan divisualisasikan kedalam gambar dengan mudah;
4. Analisis yang lebih mendalam dan kompleks dapat dengan mudah dilakukan dengan bantuan orientasi pengguna.

