

**IDENTIFIKASI SESAR AKTIF MENGGUNAKAN MEKANISME FOKUS
DAN PEMETAAN ZONA RISIKO GEMPA DENGAN
METODE LIN DAN WU (2010) DI BALI**

SKRIPSI

Oleh:
PUTRI MAULIYA
NIM. 210604110039



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**IDENTIFIKASI SESAR AKTIF MENGGUNAKAN MEKANISME FOKUS
DAN PEMETAAN ZONA RISIKO GEMPA DENGAN
METODE LIN DAN WU (2010) DI BALI**

SKRIPSI

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

**Oleh:
PUTRI MAULIYA
NIM. 210604110039**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

IDENTIFIKASI SESAR AKTIF MENGGUNAKAN MEKANISME FOKUS DAN PEMETAAN ZONA RISIKO GEMPA DENGAN METODE LIN DAN WU (2010) DI BALI

SKRIPSI

Oleh:
Putri Mauliya
NIM. 210604110039

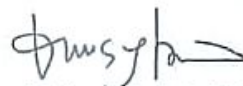
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 15 September 2025

Pembimbing I



Ahmad Luthfin, M.Si
NIP. 19860504 201903 1 009

Pembimbing II



Mubasyiroh, M.Pd.I
NIP. 19790502 202321 2 024

Mengetahui
Ketua Program Studi



Harid Samsu Nananto, S.Si., M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

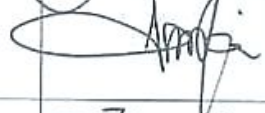
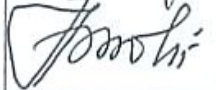
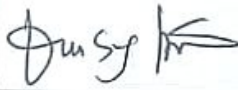
HALAMAN PENGESAHAN

IDENTIFIKASI SESAR AKTIF MENGGUNAKAN MEKANISME FOKUS DAN PEMETAAN ZONA RISIKO GEMPA DENGAN METODE LIN DAN WU (2010) DI BALI

SKRIPSI

Oleh:
Putri Mauliya
NIM. 210604110039

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal,

Penguji Utama :	<u>Drs. H. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji :	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji :	<u>Ahmad Luthfin, M.Si</u> NIP. 19860504 201903 1 009	
Anggota Penguji :	<u>Mubasyiroh, M.Pd.I</u> NIP. 19790502 202321 2 024	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Farid Sanjaya Hananto, S.Si., M.T
NIP. 19840513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : PUTRI MAULIYA
NIM : 210604110039
Program Studi : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Identifikasi Sesar Aktif Menggunakan Mekanisme Fokus dan Pemetaan Zona Risiko Gempa dengan Metode Lin dan Wu (2010) di Bali

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang,
Yang Membuat Pernyataan



Putri Mauliya
NIM. 210604110039

MOTTO

“Hasil Tidak Pernah Mengkhianati Usaha.”

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

Q.S AL-Baqarah: 286

Pesan papa untuk putri kecilnya:

حَسْبُنَا اللَّهُ وَنِعْمَ الْوَكِيلُ نِعْمَ الْمَوْلَى وَنِعْمَ النَّصِيرُ

*“Cukuplah Allah menjadi penolong kami dan Allah adalah sebaik-baik
pelindung”*

Q.S Ali Imran: 173

Hum Rijaalun Nahnu Rijaalun

(Abah Mudlor)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, penulis mempersembahkan karya sederhana ini kepada orang-orang tersayang yang telah membantu dan memberika doa serta semangat meyakinkan penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini:

1. Kepada kedua orang tua penulis, Bapak Mulyadi dan Mama Musriah yang telah memberikan kepercayaan kepada penulis untuk menuntut ilmu sampai keluar pulau Sulawesi. Selalu mendoakan dan memberikan dukungan semangat yang tiada henti kepada penulis. Selalu meyakinkan bahwa penulis mampu menyelesaikan penelitian ini dengan proses-proses terbaiknya hingga selesai.
2. Kepada kakak Rahmad Syarifudin, S.Pd yang telah memberikan motivasi dan pengalaman serta semangat dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi hingga selesai.
3. Kepada adek Aura Tri Mulia yang telah menghibur dengan kelucuannya sehingga memberikan semangat kepada penulis menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini untuk segera ketemu.
4. Kepada Muh. Iqbal Mursyid, S.Pd sebagai *support system* yang telah hadir menjadi bagian dari proses penulisan skripsi dan selalu mengusahakan, meberikan doa, semangat dalam menyelesaikan skripsi.
5. Kepada diri sendiri Putri Mauliya, yang telah sabar dan optimis dengan prosesnya dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi hingga selesai.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “Identifikasi Sesar Aktif Menggunakan Mekanisme Fokus Dan Pemetaan Zona Risiko Gempa Dengan Metode Lin Dan Wu (2010) di Bali”. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun manusia dari zaman kegelapan hingga yang kita rasakan pada saat ini, yakni Addinul Islam Wal Iman.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan proposal skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., CAHRM., CRMP., selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ahmad Luthfin, M.Si., sebagai Dosen pembimbing pertama yang memotivasi penulis dan meluangkan waktu untuk membimbing dengan baik selama proses penyusunan skripsi.
5. Mubasyiroh, M.Pd.I sebagai Dosen pembimbing kedua yang bersedia meluangkan waktu untuk membimbing dengan baik selama proses penyusunan skripsi.

6. Irjan, M.Si sebagai Dosen wali yang senantiasa memberikan motivasi dan pengarahan dan ilmu pengetahuan.
7. Para Dosen, staf laboratorium, dan administrasi di Program Studi Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa membantu dan berkontribusi dalam peningkatan pengetahuan.
8. Bapak, Mama, Kakak, Adek, dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan, doa, dan semangat dalam setiap perjalanan penulisan skripsi ini.
9. Seluruh rekan-rekan angkatan 2021, terutama di Bidang Minat Geofisika, yang telah memberikan bantuan dalam penelitian dan penulisan skripsi hingga selesai.
10. Liana Rika Rohimah, S.Pd dan teman-teman Lembaga Tinggi Pesantren Luhur Malang yang telah memberikan doa serta dukungan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini
11. Semua pihak yang telah turut serta baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka dengan nikmat yang berlipat ganda baik di dunia maupun di akhirat kelak, Aamiin. Penulis berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca, dalam menambah wawasan ilmiah dan memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama.

Malang, 17 September 2025

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
مستخلص البحث.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan	6
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Tektonik Daerah Peneltian.....	8
2.2 Teori Tektonik Lempeng.....	9
2.3 Teori Gempa Bumi.....	11
2.4 Gelombang Seismik.....	17
2.4.1 Gelombang badan (<i>Body Waves</i>)	17
2.4.2 Gelombang permukaan (<i>Surface Waves</i>).....	18
2.5 Sesar.....	19
2.6 Mekanisme Fokus (<i>Focal Mechanism</i>)	22
2.7 Peak Ground Acceleration (PGA)	24
2.7.1 Rumus Empiris Percepatan Tanah	25
2.8 Skala Intensitas Gempa.....	26
2.9 Gempa Bumi Dalam Perspektif Islam	29
BAB III METODE PENELITIAN	32
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	32

3.2 Alat dan Bahan.....	32
3.2.1 Alat Penelitian.....	32
3.3 Tahap Penelitian.....	32
3.3.1 Pengambilan Data.....	32
3.3.2 Pengolahan Data	33
3.3.3 Analisis Data.....	33
3.4 Prosedur Penelitian	35
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Analisis Data.....	36
4.2 Analisis Mekanisme Fokus	38
4.3 Analisis Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dengan Metode Lin dan Wu (2010).....	41
4.4 Analisis Zona Risiko Gempa Bumi	43
4.5 Pembahasan	46
4.6 Hasil Penelitian Dalam Persepektif Islam	50
 BAB V PENUTUP	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	55
 DAFTAR PUSTAKA.....	56
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sebaran Lempeng Tektonik Dunia	1
Gambar 2.1 Peta Geologi Pulau Bali	9
Gambar 2.2 Batas-Batas Lempeng Konvergen (atas), Divergen (tengah), dan Transform(bawah)	11
Gambar 2.3 a) Perambatan Gelombang P, dan b) Perambatan Gelombang S.....	17
Gambar 2.4 a) Perambatan Gelombang Rayleigh, dan b) Perambatan Gelombang Love.....	18
Gambar 2.5 Parameter Bidang Sesar	20
Gambar 2.6 Sesar Turun.....	21
Gambar 2.7 Sesar Naik	21
Gambar 2.8 Sesar Mendatar	22
Gambar 2.9 Sesar Menyamping	22
Gambar 2.10 Hubungan Bola Fokus dan Jenis Sesar	23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 4. 1 Sebaran Hiposenter di Wilayah Bali	37
Gambar 4. 2 Peta Sebaran Mekanisme Fokus di Bali.....	38
Gambar 4. 3 Peta sebaran Percepatan Getaran Tanah Maksimum Metode Lin dan Wu	42
Gambar 4. 4 Peta Zona Risiko Gempa Bumi dengan Nilai Intensitas Maksimum	44
Gambar 4. 5 Rumah Roboh Dampak dari Gempa Bumi (BPBD Provinsi Bali) ..	49
Gambar 4. 6 Tembok Pembatas Sisi Selatan Puri Agung Blahbatuh Rusak Akibat Gempa	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi Konversi Nilai Magnitude	13
Tabel 2.2 Contoh Koreksi Konversi Antara Beberapa Skala Magnitude.....	15
Tabel 2.3 Konversi Nilai PGA ke Skala Intensitas	27
Tabel 2.4 Skala Intensitas Gempa Bumi MMI dan PGA menurut <i>Modified</i> <i>Mercally Intensity</i> (MMI).....	27
Tabel 4.1 Data gempa bumi di Bali tahun 2014 – 2024.....	36
Tabel 4.2 Pola sesar penyebab gempa bumi.....	41
Tabel 4.3 Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Intensitas Gempa Bumi Menggunakan Metode Lin dan Wu.....	45

ABSTRAK

Mauliya, Putri. 2025. **Identifikasi Sesar Aktif Menggunakan Mekanisme Fokus dan Pemetaan Zona Risiko Gempa Dengan Metode Lin dan Wu (2010) Di Bali.**

Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Ahmad Lufhfin, M.Si. (II) Mubasyiroh, M.Pd.I

Kata kunci: sesar aktif, mekanisme fokus, PGA, metode Lin dan Wu (2010), risiko gempa.

Bali dipilih karena aktivitas seismiknya yang tinggi akibat subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia serta keberadaan sesar lokal yang berpotensi menimbulkan gempa dangkal merusak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil karakteristik sesar berdasarkan mekanisme fokus gempa bumi, mengetahui distribusi percepatan tanah maksimum (PGA) berdasarkan Lin dan Wu (2010), dan mengetahui hasil peta zona risiko gempa bumi berdasarkan nilai *Modified Mercally Intensity* (MMI) di Bali. Data penelitian berupa kejadian gempa darat periode 2014–2024 dengan magnitudo $\geq 4,5$ SR dan kedalaman ≤ 60 km, diperoleh dari katalog USGS dan IRIS. Analisis mekanisme fokus dilakukan dengan parameter *strike*, *dip*, dan *rake* yang divisualisasikan menggunakan *beachball*. Perhitungan percepatan tanah maksimum (PGA) menggunakan persamaan Lin dan Wu (2010), kemudian dipetakan dengan ArcGIS 10.8. Hasil penelitian menunjukkan tiga sesar aktif, yakni dua sesar naik di Karangasem dan satu sesar menyamping naik di Buleleng. Nilai PGA tertinggi tercatat di Karangasem (253,5–603,3 gal) dengan intensitas VII–VIII MMI, diikuti Bangli dan Gianyar, sedangkan nilai terendah di Denpasar (49,5–65,4 gal) dengan intensitas IV MMI. Peta zona risiko gempa memperlihatkan bahwa wilayah timur dan tengah Bali memiliki tingkat bahaya lebih tinggi dibandingkan bagian barat dan selatan. Temuan ini menegaskan pentingnya penerapan tata ruang yang sesuai dan pembangunan konstruksi tahan gempa sebagai upaya mitigasi bencana di Bali.

ABSTRACT

Mauliya, Putri. 2025. **Identification of Active Faults Using Focal Mechanisms and Mapping Earthquake Risk Zones Using the Lin and Wu Method (2010) in Bali.** Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Supervisors: (I) Ahmad Lufhfin, M.Si. (II) Mubasyiroh, M.Pd.I

Keywords: active faults, focal mechanisms, PGA, Lin and Wu method (2010), earthquake risk.

Bali was chosen due to its high seismic activity due to the subduction of the Indo-Australian Plate against the Eurasian Plate and the presence of local faults that have the potential to cause destructive shallow earthquakes. This study aims to determine the results of fault characteristics based on earthquake focal mechanisms, determine the distribution of maximum ground acceleration (PGA) based on Lin and Wu (2010), and determine the results of earthquake risk zone maps based on Modified Mercally Intensity (MMI) values in Bali. The research data in the form of land earthquake events for the period 2014–2024 with a magnitude ≥ 4.5 SR and a depth ≤ 60 km, obtained from the USGS and IRIS catalogs. The analysis of the focal mechanism was carried out with strike, dip, and rake parameters visualized using a beach ball. The calculation of maximum ground acceleration (PGA) used the Lin and Wu (2010) equation, then mapped with ArcGIS 10.8. The results showed three active faults, namely two reverse faults in Karangasem and one lateral thrust fault in Buleleng. The highest PGA values were recorded in Karangasem (253.5–603.3 gal) with an intensity of VII–VIII MMI, followed by Bangli and Gianyar, while the lowest values were in Denpasar (49.5–65.4 gal) with an intensity of IV MMI. The earthquake risk zone map shows that the eastern and central regions of Bali have a higher hazard level than the western and southern parts. These findings emphasize the importance of implementing appropriate spatial planning and developing earthquake-resistant structures as disaster mitigation efforts in Bali.

مستخلص البحث

ماوليا، فوترى ٢٠٢٥ تحديد الصدوع النشطة باستخدام آلية البؤرة ورسم خريطة مناطق مخاطر الزلازل بطريقة لين وو (٢٠١٠) في .بالي.رسالة جامعية، برنامج الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانغ. المشرفان : (الأول (أحمد لثفين، ماجستير العلوم)، الثاني (مبشيرة، ماجستير التربية الإسلامية .

الكلمات المفتاحية: الصدع النشط، آلية البؤرة، التسارع الأرضي الأقصى، طريقة لين وو (٢٠١٠)، مخاطر الزلازل

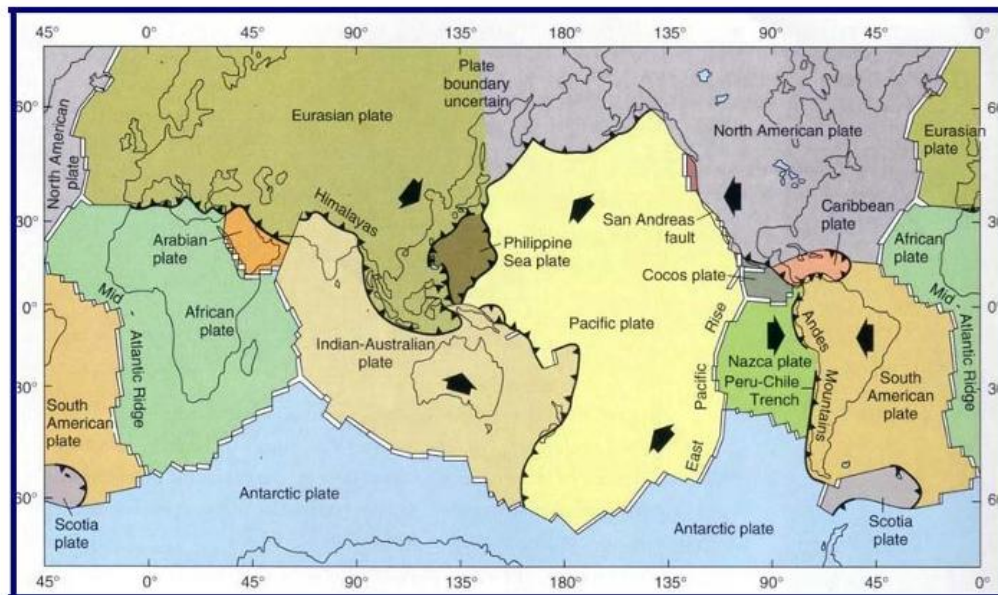
تم اختيار جزيرة بالي نظرًا لنشاطها الزلزالي العالي الناتج عن عملية انغراز صفيحة الهند-أستراليا تحت صفيحة أوراسيا، بالإضافة إلى وجود الفوالق المحلية التي يمكن أن تسبب زلازل سطحية مدقمة. يهدف هذا البحث إلى معرفة خصائص الفوالق استنادًا إلى آلية بؤر الزلازل، ومعرفة توزيع تسارع الأرض الأقصى (PGA) استنادًا إلى معادلة لين وو (٢٠١٠)، وكذلك إعداد خريطة مناطق الخطر الزلزالي بناءً على قيم شدة ميركالي المعدلة (MMI) في بالي. تعتمد بيانات البحث على الزلازل الأرضية التي حدثت خلال الفترة ما بين عامي ٢٠١٤ و ٢٠٢٤، والتي بلغت قوتها ≤ 4.5 درجة على مقياس ريختر وعمقها ≥ 60 كم، والمأخوذة من قاعدة بيانات USGS و IRIS. تم تحليل آلية البؤر باستخدام معاملات *strike* و *dip* و *rake*، وتم تمثيلها بصريًا باستخدام شكل الكرة البؤرية (*beachball*). كما تم حساب تسارع الأرض الأقصى (PGA) باستخدام معادلة لين وو (٢٠١٠)، ثم تم رسم الخرائط باستخدام برنامج ArcGIS 10.8 أظهرت نتائج البحث وجود ثلاثة فوالق نشطة، وهي فالقان عكسيان في منطقة كارانغ asem، وفالق مائل صاعد في منطقة بوليلينغ. وسُجل أعلى قيم لتسارع الأرض في كارانغ asem (من ٢٥٣,٥ إلى ٦٠٣,٣ غال) مع شدة تتراوح بين VII و VIII على مقياس ميركالي المعدل، تليها مناطق بانغلي وجيانيار، بينما سُجلت القيم الأدنى في دينباسار (من ٤٩,٥ إلى ٦٥,٤ غال) مع شدة IV MMI. تُظهر خريطة مناطق الخطر الزلزالي أن المناطق الشرقية والوسطى من بالي تتمتع بدرجة خطر أعلى مقارنة بالمناطق الغربية والجنوبية. وتؤكد هذه النتائج على أهمية تطبيق التخطيط العمراني المناسب وإنشاء المباني المقاومة للزلازل كإجراء للحد من مخاطر الكوارث في بالي.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia secara astronomis terletak di 94° – 141° BT dan 11° LS– 6° LU. Karena letak geografisnya, Indonesia terletak di pertemuan Lempeng Pasifik, Indo-Australia, dan Eurasia. Bali berada di zona gempa bumi Indonesia. Laut Mediterania dan pegunungan berpotongan di Bali. Zona subduksi yang terbentuk akibat pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia juga terdapat di wilayah ini.



Gambar 1. 1 Sebaran Lempeng Tektonik Dunia

Bali salah satu kawasan yang tinggi tingkat aktivitas kegempaan. Subduksi lempeng Eurasia setiap tahun sebesar 7 cm telah menyebabkan terbentuknya struktur geologi sesar aktif di Bali dan sekitarnya yang berpotensi memodifikasi morfologi wilayah tersebut (Suarbawa *et al.*, 2020). Ketiga lempeng di Bali bergerak dengan kecepatan dan arah yang berbeda, yang mengakibatkan pergeseran batas lempeng di kawasan selatan Jawa, khususnya Bali dan Nusa

Tenggara, karena posisi strategisnya yang berada di pertemuan lempeng Eurasia dan Indo-Australia, pulau ini memiliki banyak potensi untuk mengalami gempa bumi (Hielmy, 2024).

Selama sepuluh tahun terakhir, daratan pulau Bali mengalami banyak gempa dengan hiposenter yang relatif dangkal (kurang dari 60 km) hingga menengah (60 hingga 300 km) dengan magnitud (Helmi *et al.*, 2021). Bali telah terbukti rentan terhadap gempa bumi. Beberapa gempa besar, seperti gempa Seririt (1976), gempa Culik (1979), serta gempa Karangasem (2004), mengakibatkan banyak korban jiwa.

Menurut (Rahayu *et al.*, 2021) gempa bumi terjadi akibat pergerakan lempeng tektonik di lapisan kerak bumi, yang menyebabkan pelepasan energi yang tiba-tiba. BMKG (2019) memberikan penjelasan bahwa dua sumber gempa utama di Bali adalah aktivitas subduksi lempeng di bagian selatan pulau dan sesar lokal yang berasal dari aktivitas subduksi.

Salah satu pergerakan lempeng tektonik yaitu gempa bumi. Imelda *et al.*, (2024) menyatakan litosfer merupakan salah satu bagian penyusun bumi, lempeng tektonik yang merupakan komponen litosfer, terdiri dari sejumlah lempeng besar dan kecil yang terus bergerak di material teratas yang mencakup kerak dan mantel bumi (Arif *et al.*, 2023 dalam Imelda *et al.*, 2024).

Menurut Prasetyo *et al.*, (2023) Gempa Bumi adalah salah satu fenomena alam yang terjadi karena pergeseran lempeng permukaan Bumi. Faktor utama yang dapat menyebabkan gempa bumi adalah aktivitas fluida, vulkanik, dan sesar aktif. Sumber gempa bumi ini tidak sama dengan gempa bumi besar yang disebabkan oleh sesar atau subduksi megathrust (Prasetyo, Effendi, & Dwi M, 2023).

Tidak semua gempa bumi disebabkan oleh kesalahan manusia atau kemarahan Allah SWT. Sebaliknya, gempa bumi juga dapat terjadi karena kehendak Allah, dengan izin-Nya, bencana dapat terjadi di mana saja. Di bagian pertama surah *Az-Zalzalah*, Allah Swt berfirman:

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا ۖ وَأُخْرِجَتِ الْأَرْضُ أَثْقَالَهَا ۚ

Artinya: Apabila bumi digoncangkan dengan goncangan (yang dahsyat) (1), dan bumi telah mengeluarkan beban-beban berat (yang dikandung)nya (2). (Q.S Az-Zalzalah ayat 1 dan 2).

Di dalam Tafsir al-Qur'an al-Adzim, yang dapat diakses di situs ibnukatsironline.com (2015), Imam Ibnu Katsir mengatakan, "*Apabila bumi digoncangkan dengan guncangannya*", yang berarti bergerak dari bawahnya, dan "*Dan bumi telah mengeluarkan beban-beban beratnya*", yang berarti bahwa bumi akan melemparkan isi perutnya, yang terdiri dari mayat (Tafsir Ibnu Katsir, 2015).

Fenomena gempa bumi tidak hanya dipahami sebagai peristiwa alamiah yang disebabkan oleh aktivitas tektonik, tetapi juga memiliki dimensi spiritual sebagai tanda kekuasaan Allah SWT. Ini selaras dengan latar belakang penelitian, di mana gempa bumi di Bali dipengaruhi oleh pergerakan sesar dan subduksi lempeng. Gempa bumi ini juga harus dianggap sebagai peringatan bagi manusia untuk selalu waspada, bersyukur, dan mengambil tindakan untuk mengurangi kerusakan sebagai bentuk tindakan.

Penelitian ini dilakukan di Bali dengan mengidentifikasi sesar aktif melalui mekanisme fokus dan pemetaan zona risiko gempa bumi dengan menggunakan metode Lin dan Wu (2010). Dari fenomena gempa bumi bukan hanya dipahami sebagai gejala alamiah, tetapi juga memiliki makna spiritual dan eskatologis. Hal

ini selaras dengan tafsir diatas Dimana menggambarkan kedasyatan pergerakan bumi sebagai bentuk kekuasaan Allah dan sebagai peringatan untuk manusia.

Menurut Zamri, (2013) Lepas energi akibat tekanan lempengan bumi yang bergerak adalah penyebab utama gempa bumi. Pinggiran lempengan menjadi tidak dapat menahan lagi dengan tekanan yang meningkat. Gempa bumi biasanya terjadi di tepi lempengan-lempengan ini. Perbatasan kompresional dan translasional biasanya tempat gempa bumi yang paling parah terjadi. Gempa bumi mungkin terjadi karena materi lapisan lithosphere terjepit ke dalam dan mengalami transisi fase pada kedalaman lebih dari 600 km.

Agastya dkk (2022) menyatakan dalam penelitiannya bahwa Gempa ini menyebabkan tsunami di sebagian utara Pulau Bali dan berhubungan dengan sesar naik belakang busur Flores (*Back-arc Thrust Flores*), yang mencakup wilayah dari utara Bali hingga Flores. Hiposenter gempa diperkirakan berasal dari laut utara Bali (Agastya dkk., 2018 dalam Agastya *et al.*, 2022 : 15).

Penelitian dari Wardani *et al.*, (2021) yaitu mengidentifikasi jenis sesar yang terlibat dalam gempa bumi Lombok pada 2018, penelitian ini menggunakan pendekatan mekanisme fokus. Dengan parameter *strike*, *dip*, dan *rake* yang diukur, hasil menunjukkan bahwa pergerakan *thrust fault* menjadi penyebab utama. Selain itu, penelitian ini menekankan betapa pentingnya memahami pola sesar untuk mengurangi risiko gempa di daerah rawan.

Mekanisme fokus gempa bumi, juga dikenal sebagai mekanisme fokus, menentukan jenis sesar dengan menganalisis parameter sesar seperti *strike*, *dip*, dan *rake* berdasarkan arah gerak awal gelombang P yang terekam oleh stasiun pencatat. Selanjutnya, Parameter ini direncanakan untuk berfungsi sebagai bola fokus

(Wardani, Suarbawa, & Kusnandar, 2021). Dua arah gerakan pertama gelombang P adalah naik (tekanan) dan turun (tarikan) (Wardani *et al.*, 2021: 92).

Nilai percepatan maksimum getaran tanah (PGA) yang terjadi di suatu wilayah akibat gempa bumi digunakan untuk menentukan tingkat risiko gempa bumi. Oleh karena itu, nilai PGA di suatu lokasi bangunan merupakan indikator penting dalam menilai bahaya gempa bumi yang mungkin terjadi (Hamidi, 2018). Metode percepatan gerak tanah maksimum (PGA) adalah salah satu cara untuk mengetahui seberapa parah kerusakan tanah yang disebabkan oleh getaran gempa bumi di permukaan bumi. Nilai PGA Bali dapat digunakan untuk menentukan daerah mana yang berisiko tinggi mengalami kerusakan saat gempa bumi terjadi (Irwansyah & Winarko, 2012).

Metode Lin dan Wu (2010) menghasilkan fungsi atenuasi yang sesuai dengan data *accelerograph*, sehingga mampu menunjukkan secara akurat hubungan antara magnitudo, jarak, dan percepatan tanah. Pendekatan Lin dan Wu (2010) yang sederhana namun menyeluruh juga memudahkan penerapan dan interpretasi dalam analisis risiko gempa serta pembuatan peta percepatan tanah maksimum (Priyanto *et al.*, 2018). Dibandingkan dengan metode lain seperti Donovan, Esteva, McGuirre, Fukushima, dan Tanaka, pendekatan ditunjukkan oleh grafik hasil pendekatan nilai log PGA, yang menunjukkan kesesuaian lebih baik dengan data observasi (Wiguna, 2019). Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) didapat dengan menggunakan rumus empiris pendekatan untuk menentukan zona yang berisiko bila terjadi gempa bumi. Nilai ini dihitung dengan menggunakan magnitudo dan jarak hiposenter gempa bumi.

Aktivitas tektonik yang saling mempengaruhi antara subduksi Lempeng Indo-Australia dan Eurasia, dan sesar lokal yang aktif, membuat Bali menjadi salah satu tempat yang sangat gempa. (Lestari *et al.*, 2021) melakukan penelitian sebelumnya yang lebih banyak berkonsentrasi pada pemodelan percepatan tanah tinggi (PGA) dari gempa subduksi, tetapi belum secara menyeluruh mengidentifikasi peran sesar lokal dalam menyebabkan gempa bumi dangkal. Namun, gempa bumi dangkal yang disebabkan oleh sesar aktif berpotensi kerusakan yang lebih besar terhadap permukiman dan infrastruktur.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil karakteristik sesar berdasarkan mekanisme fokus gempa?
2. Bagaimana distribusi percepatan tanah maksimum (PGA) berdasarkan metode Lin dan Wu (2010) di Bali?
3. Bagaimana pemetaan zona risiko gempa bumi berdasarkan berdasarkan nilai *Modified Mercally Intensity* (MMI) di Bali?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui hasil karakteristik sesar berdasarkan mekanisme fokus gempa bumi
2. Untuk mengetahui distribusi percepatan tanah maksimum (PGA) berdasarkan Lin dan Wu (2010) di Bali
3. Untuk mengetahui hasil peta zona risiko gempa bumi berdasarkan nilai *Modified Mercally Intensity* (MMI) di Bali

1.4 Batasan Masalah

1. Data yang digunakan merupakan gempa bumi darat yang terjadi di Bali pada tahun 2014-2024 dengan Magnitude $\geq 4,5$ SR dan kedalaman < 60 km.

2. Wilayah penelitian terletak pada koordinat $8,043^{\circ}$ LS – $8,890^{\circ}$ LS dan $114,434^{\circ}$ BT – $115,741^{\circ}$ BT.
3. Metode yang digunakan untuk menghitung percepatan tanah maksimum yaitu metode Lin dan Wu (2010)

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik sesar yang terjadi di Bali serta dengan korelasi dengan aktivitas seismik.
2. Memberikan pemahaman tentang pola sesar dan mekanisme fokus yang dapat digunakan sebagai dasar untuk mengambil langkah-langkah teknis dan kebijakan dalam mengurangi risiko bencana gempa bumi di Bali.
3. Memberikan pemahaman peta zona risiko gempa bumi di Bali.

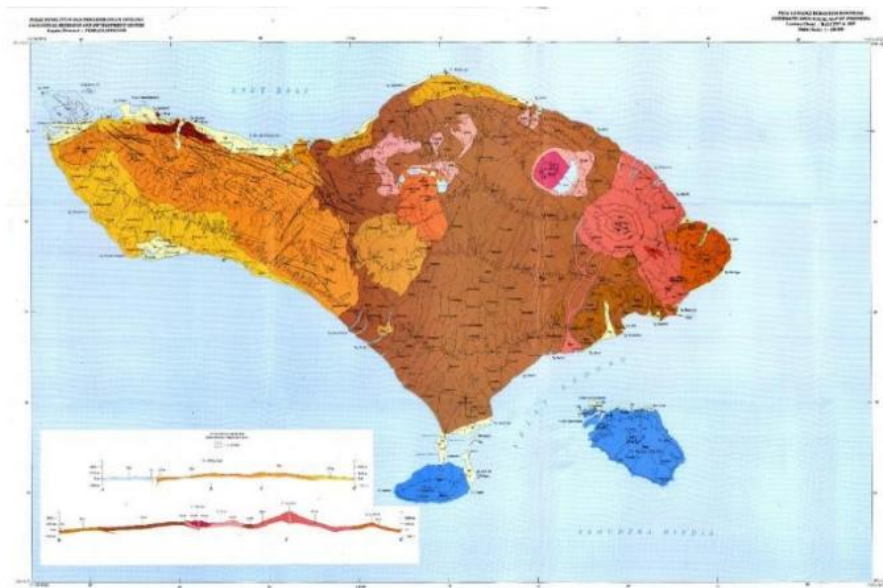
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tektonik Daerah Penelitian

Bali diapit oleh dua sumber gempa yaitu patahan busur belakang di utara dan subduksi lempeng Indo-Australia di selatan. Ini adalah bagian dari busur sunda kecil yang terbentuk setelah lempeng Indo-Australia menyusut di bawah lempeng Eurasia. Sehingga membuat cekungan di bagian utara pulau unik (Suarbawa *et al.*, 2020). Berdasarkan kondisi tektonik Pulau Bali, terdapat dua jenis sesar, yakni sesar aktif dan sesar potensial aktif. Tumbukan antara lempeng Indo-Australia dan busur Sunda menghasilkan dua pusat gempa di Bali, yaitu zona subduksi Jawa yang membentang dari Selat Sunda di barat hingga Pulau Banda di timur, serta patahan naik pada busur Pulau Flores. Lempengan ini juga mempengaruhi aktivitas tektonik di Bali. Sesar Busur Belakang Flores (*Flores Coastal Sea*) (Diaz *et al.*, 2018).

Menurut Peta Geologi Lembar Bali, Nusa Tenggara, Pulau Bali memiliki luas 5.780,06 km² dan pulau ini berada pada posisi strategis di antara Pulau Jawa dan Pulau Lombok. Garis pantainya mencapai 529 km. Batuan endapan permukaan hanya dijumpai di wilayah pesisir Pulau Bali, sementara seluruh permukaan pulau ini didominasi oleh berbagai jenis batuan hasil aktivitas gunung api. Jenis batuan di Bali terdiri dari aluvium (Qa), formasi Prapat Agung (terdiri dari batupasir gampingan, napal, dan batugamping terkarskan), formasi Palasari, yang tersusun dari batupasir dan batu gamping terumbu, serta formasi Selatan (terdiri dari batugamping terumbu, sebagian berlapis, terhablur-ulang, dan berfosil) (Lestari *et al.*, 2021).



Gambar 2.1 Peta Geologi Pulau Bali (Lestari *et al.*, 2021)

2.2 Teori Tektonik Lempeng

Dalam geologi, teori tektonik lempeng menjelaskan bahwa kulit terluar Bumi tersusun dari lempeng-lempeng tipis dan kaku yang bergerak saling relatif satu sama lain. Teori ini menjelaskan adanya bukti pergerakan skala besar di lithosphere bumi (Andriyani *et al.*, 2012). Menurut teori tektonik lempeng, pergerakan dan dinamika Bumi dipengaruhi oleh gaya-gaya yang bersumber dari interior bumi (Suarbawa *et al.*, 2020).

Berdasarkan teori tektonik lempeng, permukaan Bumi tersusun dari sekitar dua puluh fragmen besar yang disebut 'lempeng', yang masing-masing memiliki ketebalan kurang lebih sama dengan litosfer, yaitu sekitar 70 km. Batas lempeng menunjukkan pergerakan lempeng ini satu sama lain, saling menjauh, atau bergerak ke arah yang berbeda. Para ilmuwan menyatakan bahwa pergerakan lempeng tektonik dipicu oleh arus konveksi, yang mentransfer panas melalui zat cair atau gas dari lapisan astenosfer. Potongan keras dari kerak Bumi yang mengapung di atas astenosfer yang panas dan bersifat cair ini dikenal sebagai lempeng tektonik.

Akibatnya, lempeng tektonik bebas bergerak dan berinteraksi satu sama lain (Lewerissa, R., & Manobi, T. 2013).

Pusat lempeng tektonik relatif tidak aktif, dengan hanya sejumlah kecil gunung berapi atau gempabumi yang terjadi di sana. Batas lempeng adalah daerah di mana gempa bumi dan aktivitas vulkanik sering terjadi. Tiga jenis batas membedakan lempeng tektonik, yaitu (Maharani, 2022):

1. Batas divergen

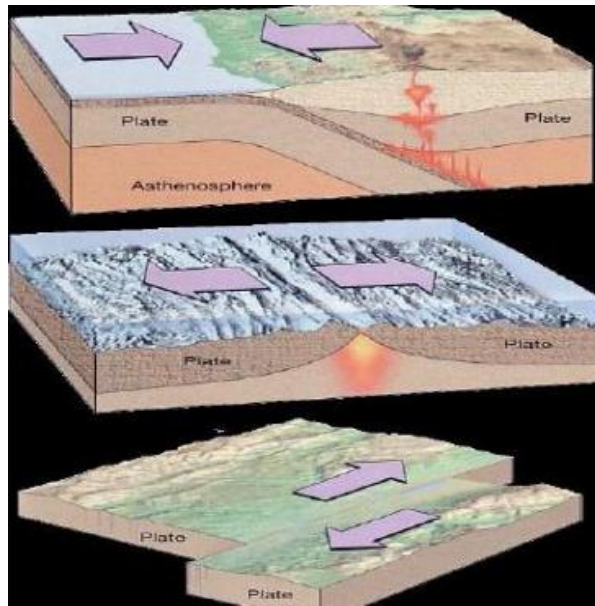
Batas divergen adalah tempat di mana dua lempeng didorong terpisah. Batas ini biasanya ditemukan di pegunungan tengah laut, tempat magma mengalir ke permukaan untuk membentuk kerak samudera baru.

2. Batas konvergen

Proses subduksi terjadi di konvergen batas, yang dapat ditemukan di sepanjang benua atau di dalam palung laut.

3. Batas transform

Ketika dua lempeng bergerak satu sama lain secara mendatar, keduanya tidak bergerak mendekat atau menjauh, tetapi bersilangan satu sama lain. Gempa bumi besar sering disebabkan oleh pergerakan transformasi lempeng ini.



Gambar 2.2 Batas-Batas Lempeng Konvergen (atas), Divergen (tengah), dan Transform(bawah) (Noor, 2009)

2.3 Teori Gempa Bumi

Energi yang dilepaskan dari lempengan kerak bumi secara tiba-tiba menyebabkan gempa bumi tektonik. Gempa tektonik adalah pergeseran lapisan pelat di permukaan atau usus bumi. Beberapa gempa bumi terjadi di lautan, menyebabkan tsunami. Gempa bumi memancarkan energi ke segala arah, membuatnya dirasakan sampai ke permukaan bumi (Ghifari *et al.*, 2018). Aktivitas lempeng samudera dan lempeng benua meningkatkan tekanan pada batuan di kerak bumi, yang menghasilkan gelombang seismik dan sumber energi elastik (Fadhilah *et al.*, 2021).

Menurut Sari *et al.*, (2022) Berdasarkan sumbernya, gempa bumi dapat dikelompokkan menjadi berbagai kategori, termasuk gempa bumi tektonik, vulkanik, runtuh, gempa bumi buatan manusia, dan meteor:

a. Gempa bumi Tektonik

Energi elastis yang tersimpan dalam lempeng tektonik lepas, menyebabkan gempa bumi tektonik. Ini terjadi karena lapisan mantel Bumi terus menerima energi karena dinamikanya. Karena lempeng tektonik adalah batuan elastis, energi ini disimpan dalam bentuk energi elastis (Sunarjo, 2012 dalam Sari *et al.*, 2022).

b. Gempa bumi vulkanik

Gempa bumi vulkanik adalah gempa bumi yang terjadi karena aktivitas gunung api. Magma di bawah gunung mendapat tekanan dan melepaskan energi dengan cepat, menimbulkan getaran tanah. Pelepasan energi stres juga menyebabkan magma bergerak perlahan (Sunarjo, 2012 dalam Sari *et al.*, 2022).

c. Gempa bumi runtuh

Gempa bumi runtuh adalah gempa bumi lokal yang terjadi ketika gua di wilayah batuan karst atau lokasi pertambangan runtuh.

d. Gempa bumi jatuhnya meteor

Gempa bumi terjadi ketika meteor atau benda langit jatuh ke permukaan Bumi.

e. Gempa bumi buatan manusia

Gempa bumi, yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti peledakan bom, dinamit, nuklir, atau palu, terjadi di bawah permukaan bumi dan mengeluarkan getaran yang sangat kuat (Sunarjo, 2012 dalam Sari *et al.*, 2022).

Setelah gempa bumi terjadi, sinyal gelombang seismik akan direkam dan diproses, baik secara manual maupun otomatis, untuk menjadi bacaan fase data. Selanjutnya, data seismik dikumpulkan, diproses, dan diubah menjadi parameter gempa bumi (Ambarwati, L. 2020). Parameter gempa bumi biasanya terdiri dari:

- a. Tanggal, bulan, tahun, jam, menit, dan detik yang digunakan untuk menentukan waktu kejadian gempa bumi ditunjukkan dalam satuan waktu *Universal Time Coordinated* (UTC).
- b. Magnitude adalah ukuran kekuatan gempa bumi, yang menunjukkan jumlah energi yang terlepas saat gempa bumi terjadi. Seismograf adalah alat pendeteksi gempa bumi yang mencatat getaran tanah yang disebabkan oleh gempa bumi dan memiliki rekaman data gempa bumi dan sistem perhitungan waktu.

Berdasarkan skala Richter (SR) besarnya gempa dibagi menjadi 4 (Miftahul, 2016 dalam Ambarwati, L. 2020):

- a. < 5 skala richter = kecil
- b. $5 - 6,4$ skala richter = sedang
- c. $> 6,4 - 7,4$ skala richter = besar
- d. $> 7,4$ skala richter = sangat besar

Tabel 2.1 Korelasi Konversi Nilai Magnitude (Borman,2002)

$0,7 \text{ Mb} - 0,66 \text{ MB} = 0,21$
$0,77 \text{ Mb} - 0,64 \text{ MI} = 0,73$
$0,86 \text{ Mb} - 0,49 \text{ Ms} = 1,94$
$0,80 \text{ MI} - 0,60 \text{ Ms} = 1,04$

1. Magnitude lokal (MI)

Magnitude lokal (MI), merupakan ukuran kekuatan gempa bumi yang terekam melalui amplitude maksimum pada seismograf pada stasiun pengamat.

Magnitude lokal biasanya digambarkan sebagai berikut:

$$MI = \log A + 3 \log \Delta - 2.92 \quad (2.1)$$

Dengan: MI = Magnitude lokal

A = amplitudo maksimum getaran tanah

Δ = jarak episenter dengan stasiun pengamat (km), $\Delta < 600$ km.

2. Magnitude permukaan (M_s)

Kekuatan gempa dangkal ($h < 60$ km) dan gempa dangkal di lebih dari 600 km dihitung dengan magnitudo permukaan dirumuskan sebagai berikut:

$$M_s = \log A + \alpha \log \Delta + \beta \quad (2.2)$$

Dengan: a = Amplitudo maksimum dari pergeseran tanah

Δ = Jarak (Km), α dan β adalah koefisien dan konstanta yang di dapatkan dengan pendekatan empiris

Hubungan antara M_s dan M_b dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$M_b = 2.5 + 0.63 M_s \quad (2.3)$$

atau

$$M_s = 1.59 M_b - 3.97 \quad (2.4)$$

3. Magnitude momen (M_w)

Magnitude momen (M_w) adalah magnitude yang diestimasi sejalan dengan harga momen seismik. Untuk mengestimasi momen seismik, waktu pergerakan bidang sesar atau karakteristik gelombang gempa bumi yang disimpan pada stasiun pencatat dapat digunakan. Magnitude ini dirumuskan sebagai berikut:

$$M_w = (\log M_o) / 1.5 - 10.73 \quad (2.5)$$

Dengan: M_w = Magnitude momen

M_o = Momen seismik

Hubungan antara magnitude momen dan magnitude permukaan dapat dirumuskan secara empiris sebagai berikut:

$$\log Mo = 1.5 Ms + 16.1 \quad (2.6)$$

Dengan : M_s = Magnitude permukaan

Tabel 2.2 Contoh Koreksi Konversi Antara Beberapa Skala Magnitude (Asrurifak et al, 2010)

Korelasi konversi	Jumlah data	Range data	Kesesuaian (R^2)
$M_w = 0,143 M_s^2 - 1,051 M_s + 7.285$	3,173	$4,5 \leq M_s \leq 8,6$	93,9%
$M_w = 0,114 M_b^2 - 0,556 M_b + 5.560$	978	$4,9 \leq M_b \leq 8,2$	72,0%
$M_w = 0,787 M_E + 1,573$	154	$5,2 \leq M_E \leq 7,3$	71,2%
$M_b = 0,125 M_L^2 - 0,389 M_L + 3.513$	722	$3,0 < M_L < 6,2$	56,1%
$M_L = 0,717 M_D + 1,003$	384	$3,0 < M_D < 5,8$	29,1%

c. Kedalaman (*Depth*)

Kekuatan getaran yang sampai ke permukaan sangat memengaruhi kedalaman sumber gempa. Terdapat 3 jenis gempa yaitu:

1. Gempa dangkal (0 – 60 km)
2. Gempa menengah (60 – 300 km)
3. Gempa dalam (> 300 km)

d. Jarak Episenter

Titik di permukaan bumi yang dihasilkan dari refleksi tegak lurus dari hiposenter disebut episenter. Sistem koordinat kartesian bola bumi juga disebut sistem koordinat geografis menunjukkan lokasi ini dalam derajat lintang bujur. Untuk mengetahui berapa jauh masing-masing koordinat dari episenter, kami harus menggunakan:

$$\Delta^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \quad (2.7)$$

Dimana:

Δ = Jarak episenter (satuan km)

X_1 = Latitude pada daerah pengukuran (satuan km)

X_2 = Latitude pada sumber gempa (satuan km)

Y_1 = Longitude pada daerah pengukuran (satuan km)

Y_2 = Longitude pada daerah pengukuran (satuan km)

e. Jarak Hiposenter

Dapat dilihat dari koordinat dan kedalaman, Pusat gempa di bawah permukaan bumi disebut hiposenter. Guna mengetahui jarak antara hiposenter, yaitu:

$$R^2 = \Delta^2 + h^2 \quad (2.8)$$

Dimana:

R = Jarak Hiposenter (km)

Δ = Jarak Episenter (km)

h = Kedalaman gempa (km)

f. Intensitas Kerusakan

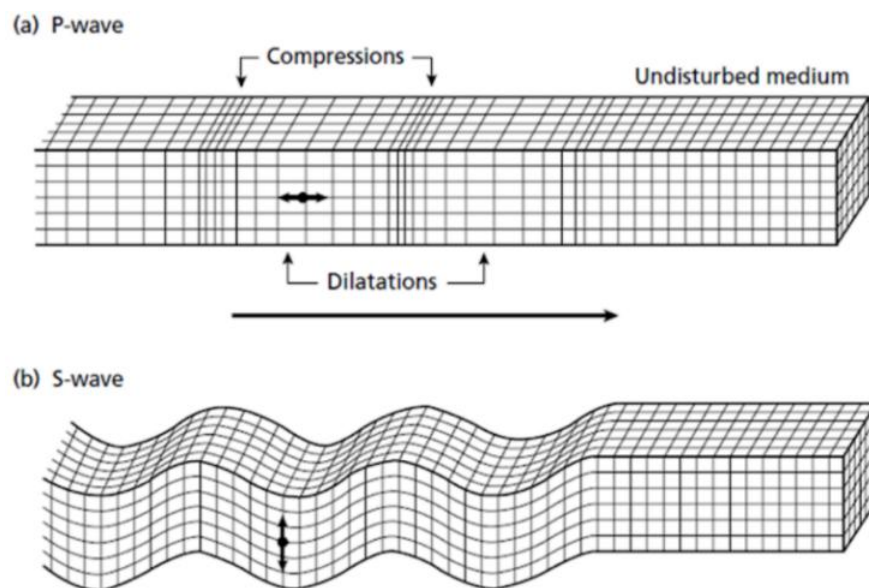
Intensitas yang ditentukan melalui pengamatan visual terhadap dampak gempa bumi, menunjukkan tingkat kerusakan yang ditimbulkan. Nilai intensitas ini dapat memberikan gambaran mengenai kekuatan gempa di pusat sumbernya.

2.4 Gelombang Seismik

2.4.1 Gelombang badan (*Body Waves*)

Gelombang badan, juga dikenal sebagai "gelombang tubuh", adalah gelombang yang bergerak melalui inti bumi. Gelombang ini lebih kuat daripada gelombang permukaan yang dipancarkan oleh gempa bumi. Dua jenis gelombang badan adalah:

- Gelombang P adalah gelombang seismik tercepat karena merupakan gelombang pertama yang tiba di stasiun seismik.
- Gelombang S yang lebih lambat dari gelombang P. Gelombang S hanya dapat melewati batuan padat daripada medium cair, yang merupakan gelombang kedua yang dirasakan selama gempa (Ihsan, 2017 dalam Hendrawanto, 2021).

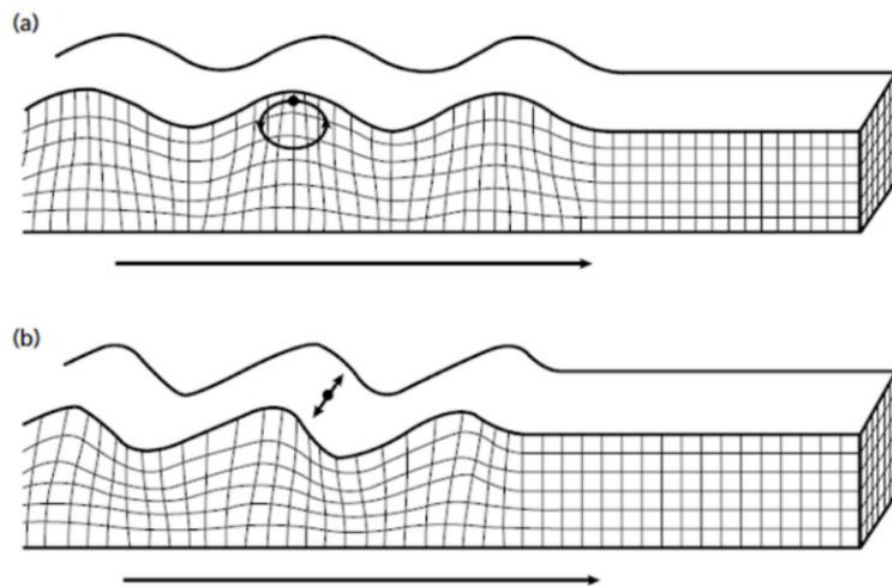


Gambar 2.3 a) Perambatan Gelombang P, dan b) Perambatan Gelombang S (Kearey et al, 2002)

2.4.2 Gelombang permukaan (*Surface Waves*)

Gelombang yang melalui kerak permukaan tubuh dengan frekuensi yang lebih rendah dikenal sebagai gelombang permukaan, yang mudah dibedakan pada seismogram. Gelombang permukaan terdiri dari dua kategori:

- a. Gelombang *love* adalah gelombang permukaan tercepat yang memindahkan tanah dari sisi-kesisi. Ini hanya terjadi di permukaan kerak dan menyebabkan gerak.
- b. Gelombang *Rayleigh* adalah gelombang permukaan yang merambat di sepanjang tanah, menyerupai gulungan ombak di danau atau lautan. Pergerakan gelombang ini membuat tanah berosilasi ke atas-bawah dan ke samping secara bersamaan mengikuti arah rambatannya. Sebagian besar guncangan yang dirasakan saat gempa bumi disebabkan oleh gelombang *Rayleigh*, karena amplitudonya jauh lebih besar dibandingkan dengan jenis gelombang lainnya. (Ihsan, 2017 dalam Hendrawanto, 2021).



Gambar 2.4 a) Perambatan Gelombang *Rayleigh*, dan b) Perambatan Gelombang *Love* (Kearey et al, 2002)

2.5 Sesar

Rekahan batuan yang mengalami pergeseran satu sama lain disebut sesar (Sammuel *et al.*, 2020 dalam Rahmawati & ., 2021). Sesar dapat berupa satu rekahan atau bidang sesar (fault plane). Namun, jalur sesar, atau zona sesar, biasanya terdiri dari lebih dari satu sesar. Jalur sesar atau zona geser (*shear zone*) memiliki ukuran yang bervariasi, baik panjang maupun lebarnya, mulai dari skala kecil hingga mencapai puluhan kilometer (Prastistho dkk, 2018).

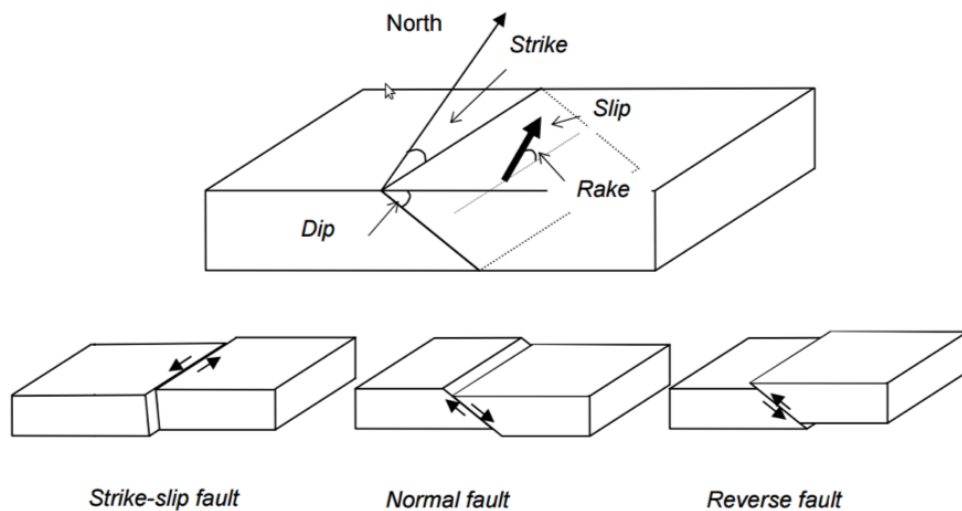
Sesar adalah bangunan yang menghubungkan dua blok tektonik yang berdekatan. Sesar biasanya digambarkan dalam bentuk geometri, seperti yang ditunjukkan pada gambar. Bidang tektonik yang membatasi dua blok tersebut disebut bidang sesar. Sudut yang terbentuk antara bidang datar (horizontal) dan bidang sesar disebut kemiringan sesar. Vektor kemiringan adalah vektor yang menunjukkan arah miring dari bidang sesar, sedangkan vektor strike adalah vektor yang sejajar dengan arah jurus sesar (Harmadhoni, D, 2011).

Arah Gerakan sesar secara umum dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

- a. *Dip Slip Movement* adalah jenis pergerakan sesar di mana pergeseran yang dominan terjadi secara vertikal dan berlangsung sejajar dengan arah kemiringan bidang sesar.
- b. *Strike Slip Movement* merupakan pergerakan sesar yang berlangsung sejajar dengan arah jurus (strike) sesar, dengan pergeseran dominan terjadi secara horizontal.
- c. Kombinasi anatar *Dip Slip Movement* dan *Strike Slip Movement*.

Orientasi suatu sesar ditetapkan berdasarkan parameter bidang sesar yang meliputi:

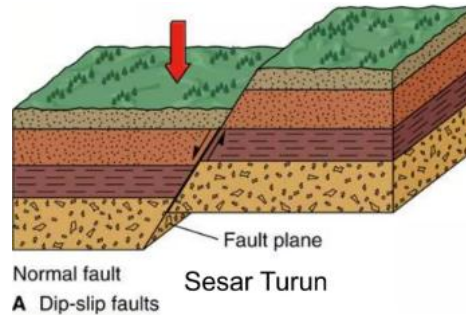
- Strike* adalah sudut yang terbentuk antara jurus sesar dan arah utara. Pengukuran dilakukan dari utara ke timur dengan jarum jam berputar untuk menunjukkan arah jurus patahan.
- Dip* adalah sudut yang dibentuk antara arah slip dengan jurus patahan dan diukur pada bidang tegak lurus.
- Rake* adalah sudut yang dibentuk antara arah slip dengan jurus patahan. Pada sesar naik, nilai *rake* positif; pada sesar normal, nilai *rake* negatif.



Gambar 2.5 Parameter Bidang Sesar (Inspiredpencil, 2023)

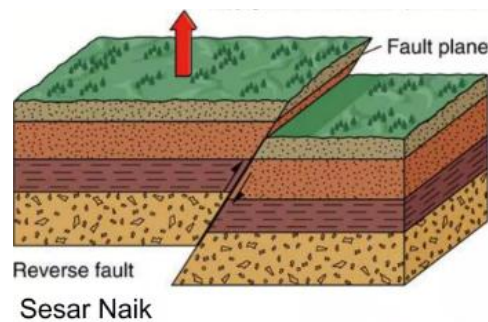
Klasifikasi sesar menurut pergerakan relatifnya sepanjang bidang batas sesar adalah:

- Sesar normal (*normal fault*) terjadi apabila *hanging wall* bergerak turun dari *foot wall*. Nilai parameternya adalah 0 hingga $\pi/2$ ($\pi = \text{radian}/180^\circ$), dan nilai λ berada pada kisaran $(-\pi - 0)$.



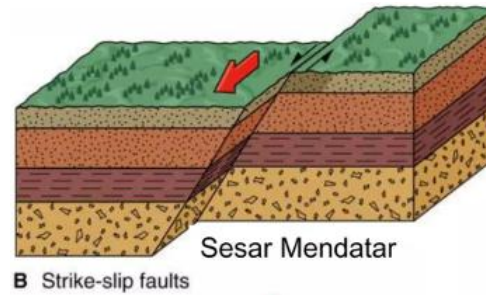
Gambar 2.6 Sesar Turun

- b. Sesar naik (*thrust fault*) terjadi apabila *hanging wall* bergerak naik relatif terhadap *foot wall*. Pada jenis sesar ini, parameter menunjukkan nilai $\delta = 0$ hingga $\delta = \pi/2$, sedangkan nilai λ berada dalam rentang $(0 - \pi)$.



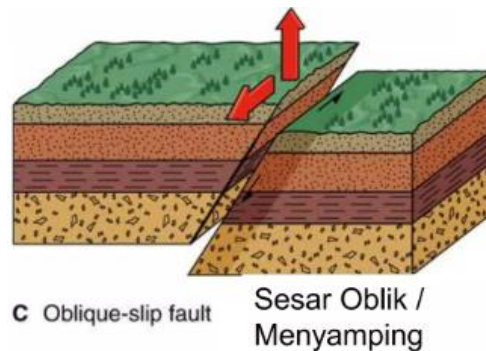
Gambar 2.7 Sesar Naik

- c. Sesar mendatar (*strike slip fault*) terjadi apabila pergerakan relatif kedua blok sejajar dengan arah jurus (*strike*) sesar. Pada tipe ini, parameternya ditunjukkan dengan nilai $\delta = \pi/2$ dan $\lambda = 0$ atau π . Sesar mendatar terbagi menjadi dua, yaitu *left-lateral slip fault* apabila nilai $\lambda = 0$, dan *right-lateral slip fault* apabila nilai $\lambda = \pi$.



Gambar 2.8 Sesar Mendatar

- d. Gerakan kombinasi dari sesar mendatar dan sesar naik dan turun disebut *oblique fault*.

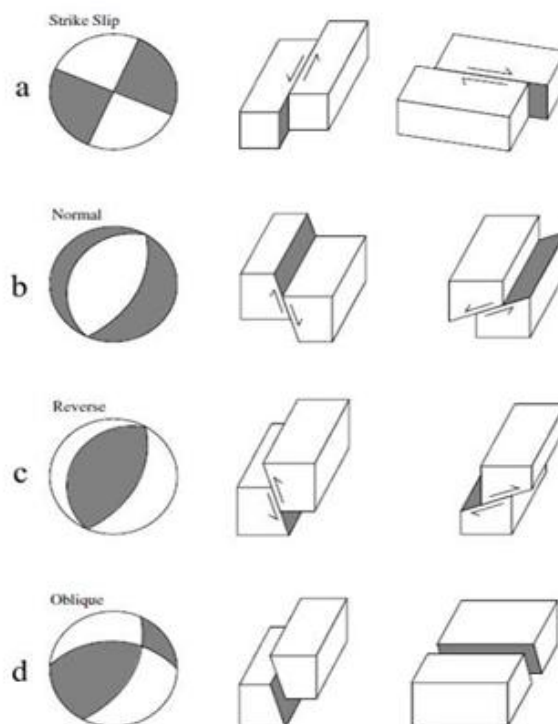


Gambar 2.9 Sesar Menyamping

2.6 Mekanisme Fokus (*Focal Mechanism*)

Kajian mekanisme gempa bumi, juga disebut sebagai mekanisme fokus, adalah tentang menentukan parameter orientasi bidang sesar (strike dan rake) (Prasetyawati, 2016 dalam Rusmilawati *et al.*, 2019). Mekanisme fokus (*focal mechanism*) dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis bidang patahan. Mekanisme ini menganalisis parameter bidang sesar (strike, dip, dan rake) berdasarkan arah gerakan awal gelombang P pada stasiun seismik. Parameter ini kemudian diproyeksikan ke dalam bentuk bola fokus (Rahmawati & ., 2021). Mekanisme fokus gempa bumi terdiri dari dua bidang nodal yang membagi bola fokus menjadi empat kuadran (Wardani *et al.*, 2021).

Mekanisme sumber gempa dapat ditetapkan dengan membandingkan pola gerakan awal gelombang seismik hasil observasi dengan pola yang bersifat teoritis (Saputra, A. 2021). Pola mekanisme dipengaruhi oleh distribusi gaya atau tegangan (*stress*) yang berlangsung, serta kondisi medium penjalaran atau struktur lapisan kulit bumi. Dalam penjelasan mengenai gelombang seismik, asumsi dasar yang digunakan adalah bahwa Bumi dianggap sebagai media elastis sempurna yang tersusun atas berbagai lapisan, dengan diskontinuitas resistivitas hanya terdapat pada batas antara bumi dan atmosfer (Aslamiah Roemaf, 2013).



Gambar 2.10 Hubungan Bola Fokus dan Jenis Sesar (Wardani *et al.*, 2021)

Gambar di atas memperlihatkan keterkaitan antara tipe sesar dengan bola fokus, yang kemudian divisualisasikan sebagai bola fokus berdasarkan hasil analisis gelombang P (Wardani *et al.*, 2021). Bola fokus menggambarkan perambatan gelombang seismik dari pusat gempa menuju stasiun pencatat (Wibowo & Nurhaci, 2017). Metode ini dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi apakah

gempa bumi diakibatkan oleh sesar normal, sesar naik, atau sesar mendatar, serta menentukan besar kemiringan dan arah pergerakannya.

2.7 Peak Ground Acceleration (PGA)

Nilai percepatan tanah dibedakan menjadi dua, yaitu percepatan tanah maksimum dan percepatan tanah sesaat. Percepatan tanah maksimum merupakan nilai yang diperoleh pada titik pengamatan atau lokasi penelitian di permukaan bumi, yang dihitung dari riwayat gempa bumi dengan hasil perhitungan tertinggi. Percepatan tanah sesaat adalah nilai percepatan tanah pada saat gempa bumi terjadi (Meitawati, Mulyatno, Karyanto, & Setiadi, 2017).

Nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) adalah nilai tertinggi dari percepatan tanah yang terjadi di suatu lokasi akibat gempa bumi dan berfungsi sebagai penyebab utama kerusakan. Nilai PGA yang lebih tinggi di suatu wilayah menunjukkan tingkat bahaya kerusakan akibat gempa bumi. Percepatan gravitasi, yang diukur dalam satuan m/s^2 , dinyatakan dalam satuan g (gauge) atau gal, dengan konversi $1 \text{ gal} = 0,01 \text{ m/s}^2$, sehingga $1 g = 981 \text{ gal}$ (Irjan *et al.*, 2022).

Karena dibutuhkan waktu lama untuk menghimpun energi besar, gempa bumi dengan guncangan kuat jarang terjadi, namun ketika terjadi dapat menimbulkan ancaman serius bagi kehidupan manusia. Dalam kajian seismologi, penting untuk memahami tingkat kerusakan yang ditimbulkan getaran gempa terhadap bangunan tertentu guna menilai ketahanan struktur yang akan dibangun di wilayah tersebut. Kecepatan gerakan tanah di permukaan dipengaruhi oleh perambatan gelombang seismik serta karakteristik lapisan tanah (*alluvial deposit*) di lokasi tersebut. Selain itu, periode dominan tanah (*predominant period*) selama

terjadinya getaran seismik turut menentukan sifat lapisan tanah (Edwiza & Novita, 2008).

Salah satu parameter penting untuk menilai tingkat kerusakan tanah dan bangunan di permukaan bumi akibat guncangan gempa adalah percepatan getaran tanah. Nilai tersebut dapat diperoleh melalui sensor *accelerometer*, kemudian dihitung menggunakan rumus empiris yang didasarkan pada pendekatan magnitudo serta jarak hiposenter gempa (Priyanto, Suarbawa, & Septiadhi, 2018).

2.7.1 Rumus Empiris Percepatan Tanah

Dalam penelitian ini, penulis mengacu pada persamaan empiris yang dikemukakan oleh Lin dan Wu (2010). Model perhitungan empiris PGA ditetapkan menggunakan rumus umum yang didasarkan pada penelitian Lin dan Wu (2010), yaitu:

$$\log_{10} PGA = a \log_{10} (r) + bM + c \quad (2.9)$$

Melalui perhitungan analisis regresi yang dilakukan penelitian dari (Wiguna, 2019), dengan demikian diperoleh nilai koefisien a, b, serta konstanta c untuk persamaan empiris percepatan tanah maksimum di wilayah Bali, yaitu:

$$a = -1,89 \quad b = 0,71 \quad c = 1,18$$

Dengan:

PGA : Percepatan tanah (gal)

R : Jarak hiposenter (km)

M : Magnitudo (SR)

a : Koefisien empiris dari jarak episenter

b : Koefisien empiris dari magnitudo gempa bumi

c : Konstanta

2.8 Skala Intensitas Gempa

Skala Mercalli atau dikenal sebagai skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) diciptakan pada tahun 1902 oleh seorang vulkanologis Italia bernama Giuseppe Mercalli untuk mengukur kekuatan gempa bumi. Skala Mercalli yang telah dimodifikasi pada tahun 1931 oleh ahli seismologi Harry Wood dan Frank Neumann terdiri dari 12 tingkatan, yang ditentukan berdasarkan keterangan para saksi selamat gempa serta pengamatan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan. Skala ini hingga kini masih digunakan, terutama pada kondisi ketika tidak tersedia seismometer untuk merekam kekuatan gempa di lokasi kejadian (F.A, Waluyo, & Mustafa, 2020).

Perhitungan percepatan getaran tanah maksimum dengan menggunakan persamaan Wald (1999) dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kekuatan suatu gempa bumi:

$$IMM = 3,6 \log \alpha - 1,66 \quad (2.10)$$

IMM: Intensitas gempa menurut skala MMI

α : Percepatan tanah maksimum

Intensitas gempa bumi merupakan ukuran tingkat kerusakan atau dampak bahaya yang ditimbulkan oleh gempa di suatu daerah, yang dinilai dari efek getarannya. Faktor-faktor yang memengaruhi intensitas ini meliputi magnitudo gempa, jarak terhadap sumber gempa, kondisi geologi setempat, serta karakteristik bangunan. Secara umum, daerah yang berada lebih dekat dengan pusat gempa akan mengalami intensitas lebih besar dibandingkan daerah yang lebih jauh.

Skala intensitas gempa dapat ditentukan berdasarkan nilai percepatan tanah maksimum (PGA), namun perlu dilakukan konversi dari PGA ke skala MMI.

Tingkatan intensitas gempa bumi tersebut disajikan pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Konversi Nilai PGA ke Skala Intensitas (Rahman, Y *et al.*, 2015)

Intensitas	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+
PGA (gal)	<1,7	1,7- 14	14- 39	39- 92	92- 180	180- 340	340- 650	650- 1240	>1240

Tabel berikut menyajikan penjelasan mengenai *Modified Mercalli Intensity* (MMI) atau yang dikenal sebagai intensitas *Mercalli*. Skala MMI terdiri dari 12 tingkat yang menggambarkan dampak gempa bumi. Uraian setiap tingkat skala MMI adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4 Skala Intensitas Gempa Bumi MMI dan PGA menurut *Modified Mercally Intensity* (MMI) (Wibowo & Nurhaci, 2017)

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	Tidak dirasakan (<i>Not Felt</i>)	Tidak terasa oleh manusia, hanya sedikit orang yang dapat merasakannya, namun getarannya tercatat oleh instrumen.	I-II	<2,9
II	Hijau	Dirasakan (<i>Felt</i>)	Meskipun tidak menyebabkan kerusakan, getarannya dapat dirasakan	III-V	2,9- 88

			oleh banyak orang. Barang-barang kecil yang tergantung bergoyang-goyang dan kaca jendela bergetar.		
III	Kuning	Kerusakan Ringan (<i>Slight Damage</i>)	Bagian non-struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retakan di dinding dan genteng bergeser ke bawah dan sebagian jatuh.	VI	89-167
IV	Jingga	Kerusakan Sedang (<i>Moderate Damage</i>)	Struktur bangunan sederhana mengalami kerusakan sedang hingga ringan, termasuk banyak retakan, kaca pecah, plester dinding lepas, dan banyak genteng yang bergeser atau jatuh.	VII-VIII	168-564
V	Merah	Kerusakan Berat (<i>Heavy Damage</i>)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh, dan strukturnya mengalami	IX-XII	>564

			kerusakan yang signifikan. Kereta api memiliki bentuk yang melengkung.		
--	--	--	---	--	--

2.9 Gempa Bumi Dalam Perspektif Islam

Dalam bahasa Arab, *Al-Zalzal* adalah istilah untuk gempa bumi. Secara bahasa, kata *Al-zalzal* itu sendiri diambil dari kata *zalla yazallu zallan wa zalalan wa mazallatan* yang artinya adalah *istirsaal Alrijli min ghair qashd* (tergelincirnya kaki atau jatuhnya kaki dengan tanpa disengaja). Dalam surah Al-Baqarah ayat 36, Allah SWT mengatakan, "*fa azallahumaa al-syaithaanu'anha*", yang berarti, "Kemudian syaitan menjauhkan keduanya dari surga." (Makmun-Abha, M. 2013).

Pergerakan lempeng dapat menyebabkan gempa bumi, pada surah An-Naba' menjelaskan bahwa banyak fenomena alam yang besar dan menakutkan, serta hari kiamat yang tercantum pada ayat 6 dan 7:

أَلَمْ نَجْعَلِ الْأَرْضَ مِهَادًا (٦) وَالْجِبَالَ أَوْتَادًا (٧)

Artinya: Bukankah kami telah menjadikan bumi sebagai hamparan (6), dan gunung-gunung sebagai pasak? (7) (QS An-Naba':6-7).

Berdasarkan Tafsir Al-Mishbah karya M. Quraish Shihab, ayat "*Bukankah Kami telah menjadikan bumi sebagai hamparan, dan gunung-gunung sebagai pasak?*" mengandung makna bahwa manusia telah melihat tanda-tanda nyata kekuasaan Allah. Bumi diciptakan terbentang agar dapat dihuni dan dijelajahi ke segala penjuru. Gunung-gunung dijadikan sebagai pasak yang berfungsi memperkuat bumi. Lapisan kerak bumi yang padat dapat mencapai ketebalan sekitar 60 kilometer, yang dapat naik menjadi gunung-gunung atau turun ke dasar laut dan samudera. Akibat tekanan yang dihasilkan oleh keberadaan gunung-

gunung tersebut, kondisi ini menciptakan keseimbangan. Gunung-gunung akan runtuh hanya saat keseimbangan terganggu. Gunung berfungsi sebagai pasak yang menegakkan kemah, memperkuat lapisan kerak bumi yang rapuh (Javanlabs, 2025).

Dalam al-Quran dan Hadith Nabi s.a.w, ada beberapa istilah yang mengacu pada gempa bumi. Istilah-istilah ini akan memberikan gambaran yang lebih jelas tentang fenomena alam tersebut. Bencana gempa bumi dihubungkan dengan empat istilah. Terdapat empat istilah yang merujuk pada fenomena gempa bumi dalam Al-Qur'an dan Hadis Nabi SAW, yaitu *al-Zalzalah*, *al-Rajfah*, *al-Khasaf*, dan *al-Sayhah*. Ketiganya *al-Khasaf*, *al-Sayhah*, dan *al-Rajfah* juga sering dikaitkan dengan peristiwa gempa bumi, meskipun masing-masing memiliki makna yang berbeda. Istilah-istilah tersebut menggambarkan berbagai bentuk fenomena alam sebagaimana diterangkan dalam literatur Islam, yang kemudian dapat dikaitkan dengan kajian ilmiah kontemporer untuk memperluas pemahaman mengenai peristiwa gempa bumi. (Basiron & Razzak, 2012):

Pertama, *Al-Zalzalah* berasal dari kata "gerakan keras dan dahsyat". Istilah ini sering dikaitkan dengan gempa bumi besar yang terjadi sebagai pertanda atau bagian dari hari kiamat. Surat *Al-Zalzalah* (surat ke-99) dalam Al-Qur'an menggambarkan dahsyatnya guncangan bumi, di mana seluruh isi yang ada di dalamnya akan dikeluarkan. Hal ini menjadi peringatan tentang peristiwa besar dan menakutkan yang akan terjadi pada hari kiamat. Selain itu, surat ini memiliki makna metaforis tentang kegoncangan perasaan manusia saat menghadapi kebenaran dan keadilan Ilahi.

Kedua, *Al-Rajfah* biasanya berarti gempa yang dahsyat atau goncangan hebat. Beberapa ayat Al-Qur'an memaknai kata ini untuk menggambarkan gempa

bumi sebagai hukuman atau tanda kiamat. Kata ini juga dikaitkan dengan suara keras yang membuat bumi bergetar.

Ketiga, *Al-Khasaf* yang dalam literatur hadist dan tafsir sering dikaitkan dengan fenomena alam yang menyebabkan musibah besar karena pergerakan tanah, biasanya dimaknai dalam konteks bencana sebagai tanah longsor atau runtuhannya bumi yang menelan sesuatu dengan cepat.

Keempat, *Al-Sayhah* adalah suara keras atau teriakan yang kuat. Istilah ini digunakan dalam Al-Qur'an dan hadis untuk menggambarkan suara keras yang mengguncang bumi dan manusia. Suara ini sering dianggap sebagai tiupan sangkakala atau suara azab pada hari kiamat yang menyebabkan kehancuran besar.

Secara keseluruhan, keempat istilah ini menggambarkan berbagai aspek gempa bumi, mulai dari getaran fisik bumi, runtuhnya tanah, hingga suara dahsyat yang menyertain. Namun, yang paling berkaitan dengan penelitian ini mengenai topik gempa bumi yaitu *Al-Zalزالah* (gerakan keras dan dahsyat). Dengan demikian, memberikan gambaran lengkap tentang kekerasan dan konsekuensi gempa bumi dari sudut pandang Al-Qur'an dan fenomena alam (Makmun-Abha, 2013).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Bali, dengan koordinat geografis $8,043^{\circ}$ LS – $8,890^{\circ}$ LS dan $114,434^{\circ}$ BT – $115,741^{\circ}$ BT. Wilayah Bali memiliki aktivitas seismik yang tinggi karena posisinya berada pada zona tumbukan antara Lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Maret 2025 dengan menggunakan data gempa bumi yang tercatat pada periode 1 Januari 2014 hingga 31 Desember 2024.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

1. Laptop
2. Arcmap 10.8
3. Microsoft exel
4. Microsoft word

3.3 Tahap Penelitian

3.3.1 Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari katalog gempa bumi darat secara online melalui situs USGS (United States Geological Survey) di alamat <https://earthexplorer.usgs.gov/> serta IRIS di laman <https://www.iris.edu/hq/>. Data yang dikumpulkan mencakup kejadian gempa di wilayah Bali pada periode 2014–2024, dengan rentang koordinat $8,043^{\circ}$ LS – $8,890^{\circ}$ LS dan $114,434^{\circ}$ BT – $115,741^{\circ}$ BT, dengan kriteria magnitudo $\geq 4,5$ SR dan kedalaman ≤ 60 km.

3.3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data mekanisme fokus diawali dengan menyusun data gempa yang telah diperoleh berdasarkan parameter yang diperlukan. Data tersebut mencakup koordinat gempa, kedalaman, magnitudo, serta *strike*, *dip*, dan *rake*. Pengolahan awal dilakukan menggunakan Microsoft Excel untuk memastikan data tersortir dengan benar dan sesuai dengan format yang diperlukan. Setelah data siap, file disimpan dalam format xls agar dapat diimpor ke dalam *software* ArcGIS 10.8.

Pengolahan data untuk pemetaan zona risiko gempa bumi berupa data magnitude gempa dan jarak hiposenter atau jarak episenter menggunakan Microsoft Excel untuk mengurutkan data gempa sesuai parameter yang telah ditentukan. Menghitung percepatan tanah maksimum (PGA) dengan rumus empiris Lin dan Wu (2010) untuk setiap kejadian gempa dihitung menggunakan algoritma yang sesuai. Nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) kemudian diperoleh dengan menerapkan metode Lin dan Wu (2010) berdasarkan parameter magnitudo dan jarak sumber ke lokasi pengamatan. Hasil perhitungan PGA dipetakan menggunakan ArcMap 10.8 untuk memvisualisasikan distribusi percepatan tanah. Selanjutnya, nilai PGA tertinggi dikonversi menjadi intensitas gempa menggunakan persamaan Wald dan divisualisasikan menggunakan ArcMap 10.8.

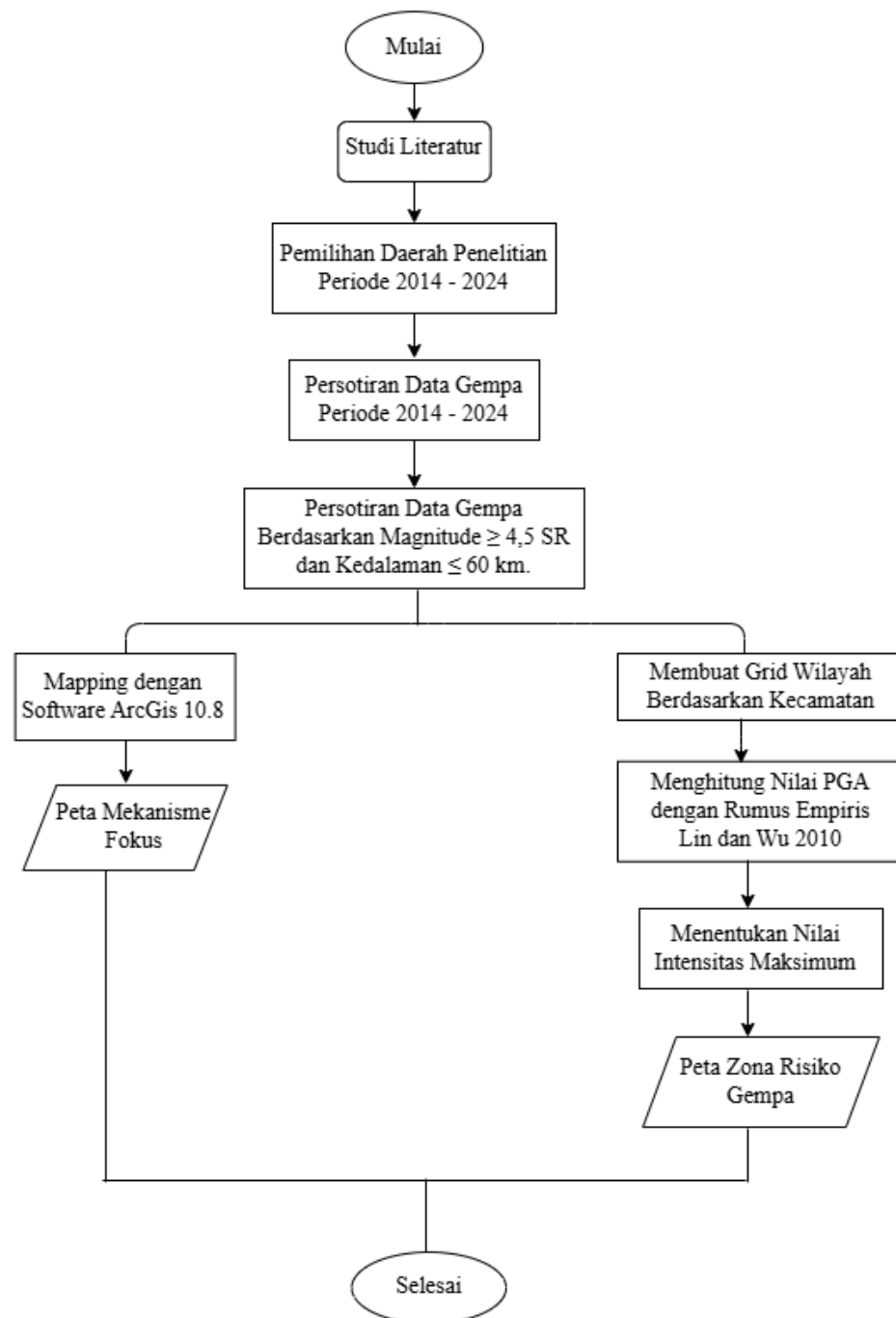
3.3.3 Analisis Data

Analisis bola fokus yang dibuat pada *software* ArcGis digunakan untuk melakukan analisis mekanisme fokus. Ini mencakup melihat titik pusat lingkaran, area kompresi atau yang diarsir, dan area dilatasi. Kemudian akan

ada jenis sesar yang menyebabkan gempa. Nilai *strike*, *dip*, dan *slip (rake)* adalah parameter tambahan yang harus diperhatikan selain bola fokus. Peta mekanisme fokus, yang digambarkan sebagai *beach ball* sesuai dengan episenter gempa, akan dihasilkan dari pengolahan data menggunakan software ArcGis.

Peta kontur percepatan tanah maksimum (PGA) yang telah dibuat dapat diterapkan untuk melakukan analisis percepatan dan intensitas getaran tanah maksimum gempa bumi menggunakan metode Lin dan Wu (2010). Selain itu, temuan analisis diperkuat dengan menggambarkan tingkat zona risiko gempa bumi dalam skala kecamatan. Hal ini, memberikan gambaran yang lebih rinci tentang daerah yang paling rentan terhadap gempa.

3.4 Prosedur Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

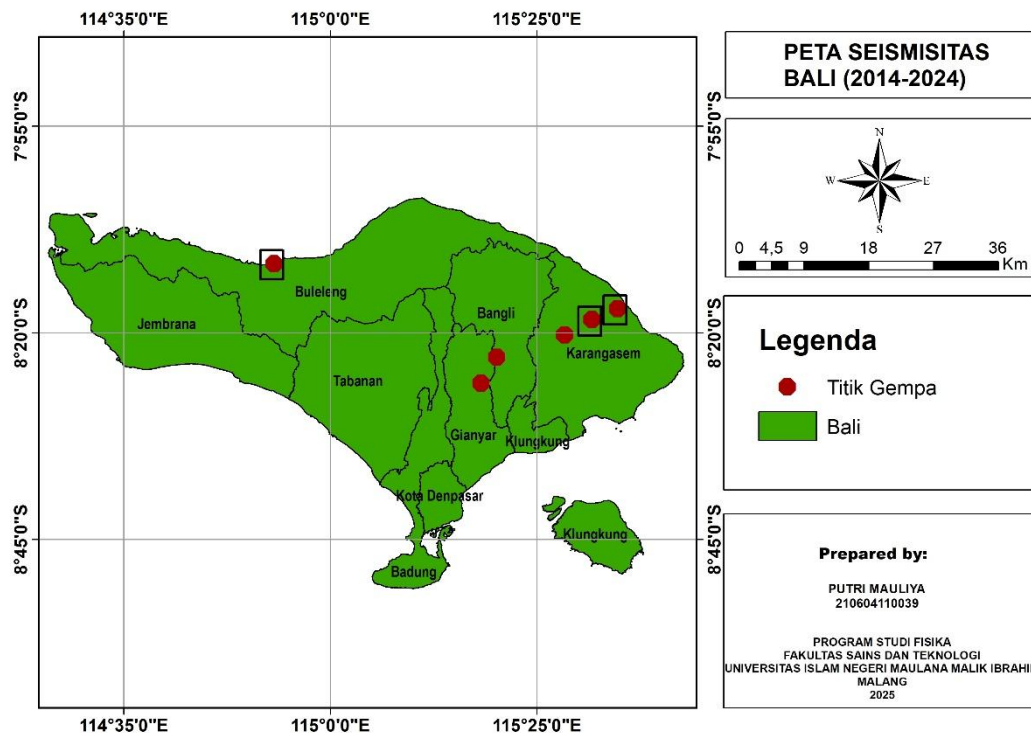
4.1 Analisis Data

Penelitian ini memanfaatkan data digital yang diperoleh dari USGS dan IRIS dalam rentang tahun 2014 hingga 2024. Analisis data selama 10 tahun terakhir diterapkan untuk menyusun sistem peringatan dini gempa dan tsunami serta merumuskan strategi mitigasi risiko bencana. Prediksi kemungkinan gempa di masa depan bisa lebih akurat dengan data yang cukup baru. Ini sangat penting karena Indonesia berada di daerah yang sangat rawan gempa akibat pertemuan beberapa lempeng tektonik aktif. Pada daerah penelitian meliputi semua kabupaten dan kota di Provinsi Bali, dengan parameter magnitude $\geq 4,5$ SR dan kedalaman ≤ 60 km. Hasilnya adalah data gempa bumi historis sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Data gempa bumi di Bali tahun 2014 – 2024

No	Waktu Kejadian	Longitude	Latitude	Magnitude (Mw)	Kedalaman	Sumber Data
1	20 September 2024	115,335	-8,38270	4,74	10	USGS
2	7 september 2024	115,3040	-8,43520	4,93	42	USGS
3	13 Desember 2022	115,5790	-8,28500	5,3	12	IRIS
4	15 Oktober 2021	115,4722	-8,33780	5,25	10	USGS
5	14 November 2019	114,8863	-8,19440	5,25	12	USGS
6	8 November 2017	115,5272	-8,30710	5	36,3	USGS

Tabel 4.1 menunjukkan persebaran hiposenter berdasarkan koordinat geografis (longitude dan latitude) dari kejadian gempa bumi yang tercatat di wilayah penelitian, yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

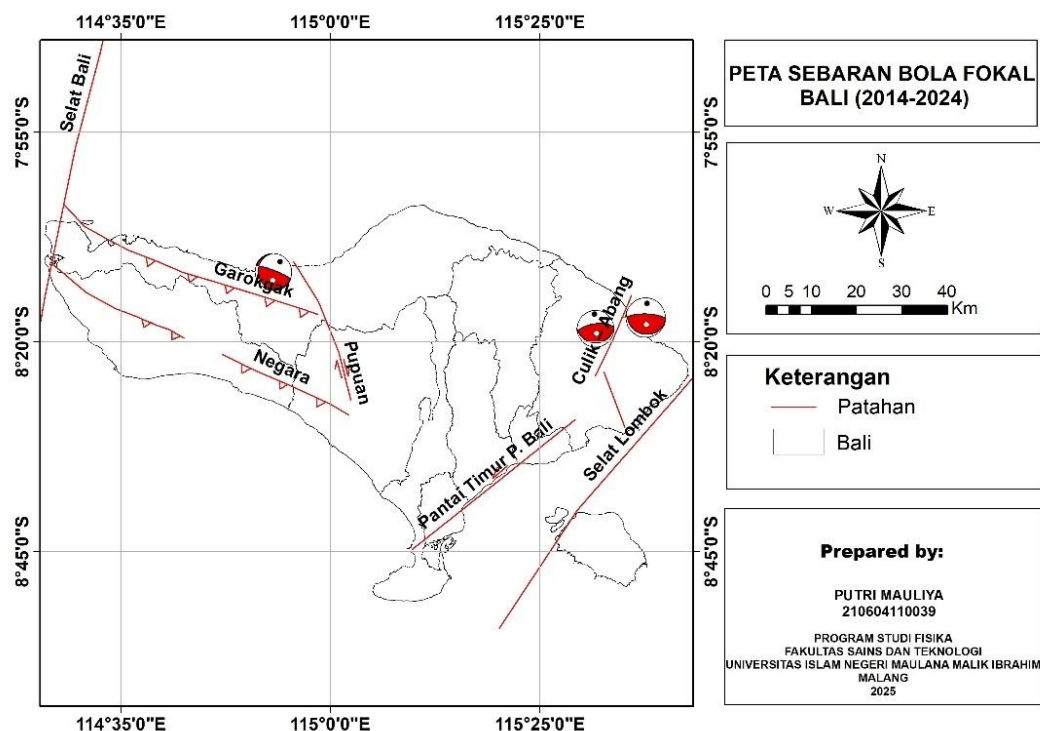


Gambar 4. 1 Sebaran Hiposenter di Wilayah Bali

Gambar 4.1 menunjukkan sebaran 6 gempa bumi yang terjadi di wilayah Bali dari tahun 2014 hingga 2024, masing-masing 1 kali di Kabupaten Gianyar, Kabupaten Bangli, Kabupaten Buleleng, dan 3 kali di Kabupaten Karangasem. Gempa-gempa tersebut mencapai magnitudo $\geq 4,5$ SR dan kedalaman ≤ 60 km. Dari ke 6 gempa bumi tersebut hanya 3 gempa yang tercatat di katalog memiliki nilai *strike*, *dip*, dan *rake*. Hal ini karena dibutuhkan banyak data rekaman gempa dari banyak stasiun seismik yang tersebar merata di sekitar episenter, sehingga gempa dengan cakupan data stasiun yang terbatas memiliki keterbatasan dalam penentuan mekanisme fokus (Fahntalia, & Madlazim, 2017).

4.2 Analisis Mekanisme Fokus

Parameter yang diperoleh dari katalog IRIS digunakan untuk analisis karakteristik sesar berdasarkan mekanisme fokus. Data diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8, yang menghasilkan peta sebaran mekanisme gempa bumi. Pola tektonik di Bali dapat diidentifikasi dengan menggunakan bola fokus yang menunjukkan jenis patahan dan arah pergerakannya.



Gambar 4. 2 Peta Sebaran Mekanisme Fokus di Bali

Pada hasil penelitian ini, dari 6 kejadian gempa bumi yang telah dipilih berdasarkan parameter tertentu, sebanyak 3 bola fokus telah diperoleh, yang dapat divisualisasikan dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8. Gambar 4.2 menunjukkan representasi visual dari tiga bola fokus tersebut. Parameter utama dalam penentuan jenis mekanisme sesar adalah nilai *strike*, *dip*, dan *rake*. Nilai *strike* atau jurus ditentukan dari arah utara menuju timur searah putaran jarum jam hingga mencapai jurus patahan, dengan rentang sudut $0^\circ \leq \Phi \leq 360^\circ$. Besarnya sudut

dip merupakan kemiringan bidang sesar terhadap bidang horizontal maupun vertikal dengan arah tegak lurus jurus patahan, yang bernilai antara $0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$. Sementara itu, sudut *rake* adalah sudut antara arah slip dengan jurus patahan, yang bernilai positif pada sesar naik dan negatif pada sesar turun, dengan rentang $-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$.

Peristiwa pertama pada tanggal 8 November 2017 terjadi gempa yang terletak di Babupaten Karangasem dengan magnitude 5 SR dengan kedalaman 36,3 km dengan episenter berada pada koordinat 115,5272 BT dan -8,3071 LS. Dari gambar 4.2 hasil analisis bola fokus yang menunjukkan bahwa aktivitas sesar naik menyebabkan peristiwa gempa bumi tersebut. Parameter sesar dari kejadian gempa ini didapatkan nilai *strike* sebesar 93° , *dip* sebesar 23° , dan *rake* sebesar 99° . Arah pergerakan sesar pada arah 93° menjelaskan bidang sesar mengarah ke timur-barat, sedikit ke tenggara dari utara dengan kemiringan landai ke selatan sebesar 23° (atau turun dibandingkan dengan bidang horizontal) dan *rake* bernilai positif sebesar 99° menggambarkan sesar naik.

Peristiwa kedua pada tanggal 14 November 2019 terjadi gempa yang terletak di kabupaten Buleleng dengan magnitude 5,25 SR dengan kedalaman 12 km dengan episenter berada pada koordinat 114,8863 BT dan -8,1944 LS. Dari gambar 4.2 hasil analisi bola fokus menunjukkan bahwa aktivitas sesar naik menyamping pada patahan garokgak dan mendatar menyamping pada patahan pupuan menyebabkan peristiwa gempa bumi. Parameter sesar dari kejadian gempa ini didapatkan nilai *strike* sebesar 172° , *dip* sebesar 18° , dan *rake* sebesar 150° . Arah pergerakan sesar pada arah 172° menjelaskan bidang sesar mengarah ke utara-selatan sedikit ke timur (karena mendekati 180° /Selatan), dengan kemiringan landai

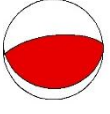
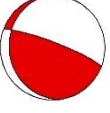
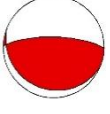
ke timur sebesar 18° dan *rake* bernilai positif sebesar 150° dengan pergerakan utama naik dan sedikit menyamping (komponen *oblique*).

Peristiwa ke tiga Peristiwa kedua pada tanggal 13 Desember 2022 terjadi gempa yang terletak di kabupaten Karangasem dengan magnitudo 5,3 SR dengan kedalaman 12 km dengan episenter berada pada koordinat $115,5790$ BT dan $-8,2850$ LS. Dari gambar 4.2 hasil analisi bola fokus menunjukkan bahwa aktivitas sesar naik pada patahan culik-abang menyebabkan peristiwa gempa bumi. Parameter sesar dari kejadian gempa ini didapatkan nilai *strike* sebesar 112° , *dip* sebesar 17° , dan *rake* sebesar 110° . Arah pergerakan sesar pada arah 112° mengarah ke timur-tenggara, dengan kemiringan landai ke barat daya sebesar 17° dan *rake* bernilai positif sebesar 110° dengan menunjukkan pergerakan naik sedikit bergeser ke kiri (*left-lateral oblique*).

Hasil penelitian ini, melalui analisis mekanisme fokus dapat mengidentifikasi penemuan sesar aktif di Bali. Tiga gempa bumi yang dianalisis secara efektif membedakan sumber gempa bumi utama di area penelitian. Gempa di Karangasem pada tahun 2017 dan 2022 menunjukkan aktivitas sesar naik di dua kedalaman yang berbeda. Ini menunjukkan bahwa sesar-sesar di daratan (seperti Sesar Culik-Abang) juga berperan besar dalam menyebabkan gempa dangkal yang merusak. Sebaliknya, gempa yang terjadi di Buleleng pada tahun 2019 menunjukkan mekanisme sesar naik menyamping, menunjukkan bahwa sesar naik busur belakang flores adalah penyebab utama gempa di Bali Utara. Temuan ini secara keseluruhan tidak hanya mengidentifikasi sesar-sesar tersebut tetapi juga menjelaskan mekanisme pergerakannya. Kedua hal ini sangat penting untuk memahami dinamika tektonik regional.

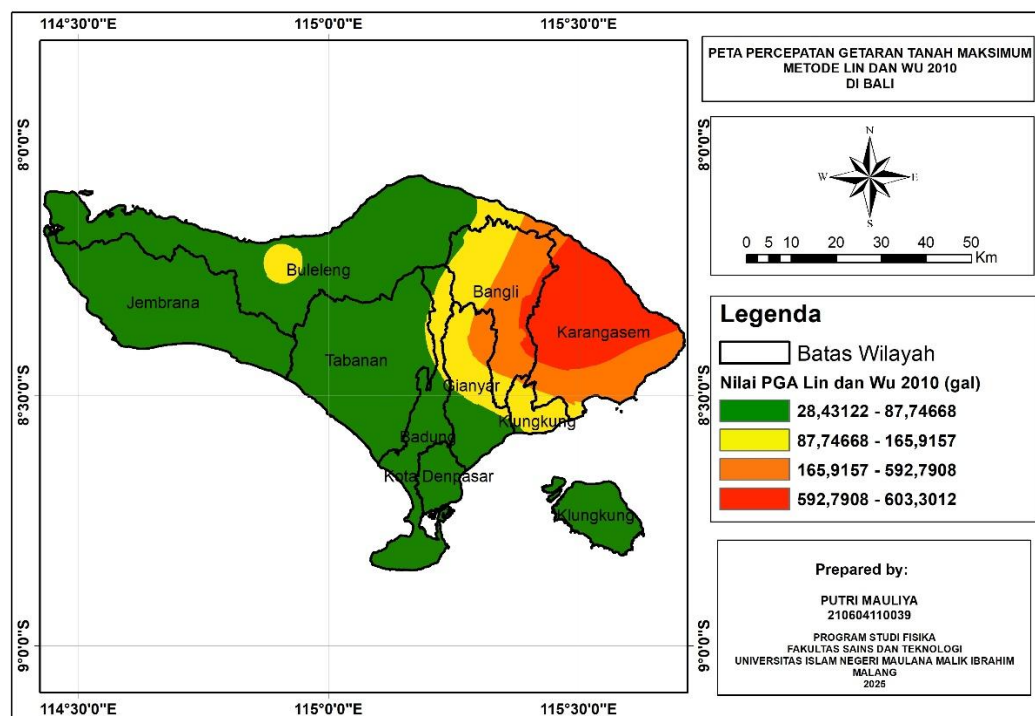
Pada tabel dibawah penguraian terhadap pola sesar yang menyebabkan gempa bumi di wilayah penelitian. Informasi ini mencakup jenis sesar, arah pergerakan, dan kaitannya dengan kejadian gempa, yang mendukung analisis potensi bahaya seismik serta upaya mitigasi bencana.

Tabel 4. 2 Pola sesar penyebab gempa bumi

Tanggal	Titik Koordinat	Strike	Dip	Rake	Jenis Sesar	Sesar	Beachball
8 November 2017	115,5272 BT -8,30710 LS	93	23	99	Sesar Naik		
14 November 2019	114,8863 BT -8,19440 LS	172	18	150	Sesar Naik Menyamping		
13 Desember 2022	115,5790 BT -8,28500 LS	112	17	110	Sesar Naik		

4.3 Anilisis Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dengan Metode Lin dan Wu (2010)

Perhitungan percepatan getaran tanah dilakukan melalui analisis data gempa historis yang diperoleh dari kompilasi katalog USGS dan IRIS dalam rentang waktu 2014–2024. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui distribusi nilai percepatan getaran tanah (PGA) di Bali berdasarkan persamaan Lin dan Wu (2010) dengan menggunakan perangkat lunak ArcGis 10.8, mulai dari kategori rendah hingga kategori tinggi dengan gradasi warna. Persamaan ini akurat untuk lingkungan geotektonik dengan zona subduksi dan sesar aktif.



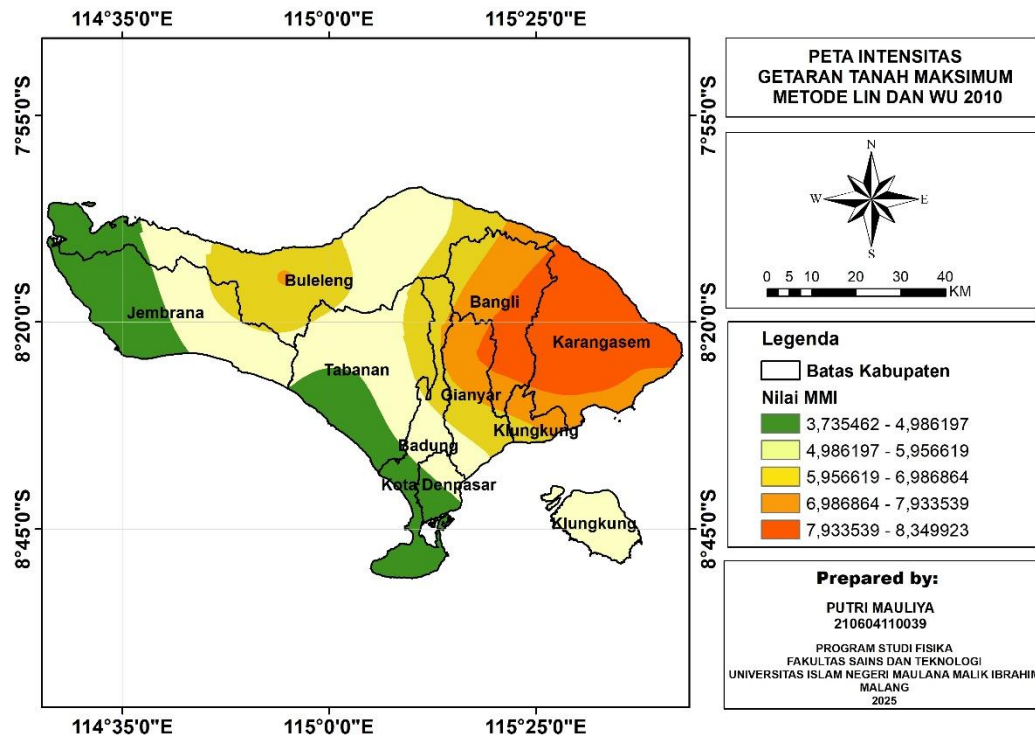
Gambar 4. 3 Peta sebaran Percepatan Getaran Tanah Maksimum Metode Lin dan Wu (2010)

Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) diklasifikasi menurut *Modified Mercally Intensity* (MMI) menjadi empat kelas berdasarkan hasil visualisasi pemetaan metode Lin dan Wu (2010). Warna merah menunjukkan kategori sangat tinggi, jingga menunjukkan kategori tinggi, kuning menunjukkan kategori sedang, dan katagori rendah berwarna hijau. Wilayah di kabupaten Karangasem terdapat nilai percepatan getaran tanah maksimum yang sangat tinggi yaitu 592,7908 – 603, 3012 gal yang berupa warna merah. Faktor utama yang menyebabkan nilai percepatan getaran tanah tinggi di kabupaten Karangasem adalah kejadian gempa bumi yang sering terjadi di area tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3. Berikutnya di beberapa wilayah kabupaten Karangasem, beberapa wilayah kabupaten Bangli, dan sebagian kecil wilayah di kabupaten Gianyar memiliki nilai percepatan getaran tanah maksimum yang tinggi yaitu 165, 9157 - 592,7908 gal berupa warna jingga. Pada beberapa wilayah di kabupaten Bangli,

beberapa wilayah di kabupaten Gianyar, beberapa wilayah di kabupaten Klungkung, beberapa wilayah di kabupaten Badung, dan sebagian kecil wilayah di kabupaten Buleleng. Dengan nilai percepatan getaran tanah maksimum yang sedang yaitu 87,7566 - 65, 9157 gal berwarna kuning. Selanjutnya, warna hijau dengan nilai percepatan getaran tanah maksimum rendah yaitu 28,4312 - 87,7566 gal. Adapun wilayahnya di kabupaten Badung, kabupaten Kota Denpasar, beberapa wilayah di kabupaten Gianyar, beberapa wilayah di kabupaten Klungkung, beberapa wilayah di kabupaten Buleleng, kabupaten Jembrana, dan kabupaten Tabanan.

4.4 Analisis Zona Risiko Gempa Bumi

Penentuan zona risiko pada nilai intensitas maksimum gempa bumi digunakan dalam penelitian ini. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui hasil peta zona gempa bumi berdasarkan *Modified Mercally Intensity* (MMI) atau disebut sebagai intensitas Mercally. Dengan mengklasifikasikan menggunakan software ArcGIS 10.8. Peta yang dihasilkan dari analisis menunjukkan variasi bahaya gempa di setiap wilayah, yang dikategorikan ke dalam beberapa tingkatan, mulai dari rendah hingga sangat tinggi dengan gradasi warna.



Gambar 4. 4 Peta Zona Risiko Gempa Bumi dengan Nilai Intensitas Maksimum

Gambar 4.4 menunjukkan sebaran intensitas getaran tanah maksimum yang dihasilkan oleh metode Lin dan Wu (2010). Wilayah dengan nilai intensitas tertinggi terlihat jelas pada peta, di wilayah kabupaten Karangasem, sebagian wilayah di kabupaten Bangli, dan sebagian kecil wilayah di kabupaten Gianyar memiliki nilai intensitas VIII MMI yang berupa warna jingga dengan tingkat kerusakan sedang hingga berat. Sebagian kecil wilayah di kabupaten Buleleng, sebagian wilayah di kabupaten Bangli, sebagian wilayah di kabupaten Gianyar, dan sebagian wilayah di kabupaten Klungkung memiliki nilai intensitas sebesar VII-VIII MMI yang berupa warna jingga muda dengan tingkat kerusakan ringan hingga sedang. Warna kuning dengan tingkat kerusakan ringan, namun sedang pada bangunan, yaitu sebagian wilayah di kabupaten Buleleng, sebagian wilayah di kabupaten Gianyar, sebagian wilayah di kabupaten Klungkung, serta sebagian kecil di wilayah kabupaten Badung dan Tabanan memiliki nilai intensitas VI-VII MMI.

Sebagian wilayah di kabupaten Jembrana, sebagian wilayah di kabupaten Tabanan, sebagian wilayah di kabupaten Buleleng, sebagian wilayah di kabupaten Badung dan sebagian kecil wilayah di kabupaten Klungkung memiliki nilai intensitas V-VI MMI yang berupa warna kuning muda dengan tingkat kerusakan ringan. Adapun wilayah yang memiliki nilai intensitas IV-V MMI berupa warna hijau dengan tingkatan dapat dirasakan, yaitu wilayah kabupaten Kota Denpasar, sebagian wilayah di kabupaten Badung, sebagian wilayah di kabupaten Tabanan, dan sebagian wilayah di kabupaten Jembrana.

Tabel 4. 3 Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Intensitas Gempa Bumi Menggunakan Metode Lin dan Wu (2010)

No	Nama Kabupaten/Kota	Metode Lin dan Wu (2010)	
		PGA (gal)	MMI
1	Buleleng	68,6 – 252,3	IV – VII
2	Jembrana	32,7 – 98,9	IV – VI
3	Tabanan	46,7 – 111,6	IV – VI
4	Badung	31,5 – 149,9	IV – VI
5	Kota Denpasar	49,5 – 65,4	IV
6	Bangli	219,2 – 426,8	VII – VIII
7	Gianyar	82,5 – 360,1	IV – VII
8	Klungkung	57,4 – 245,4	IV – VII
9	Karangasem	253,5 – 603,3	VII – VIII

Tabel di atas menyajikan nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) dan nilai intensitas getaran tanah maksimum tertinggi dicapai di kabupaten Karangasem, dengan nilai 253,5 gal - 603,3 gal, dan intensitas getaran berdasarkan *Modified Mercalli Intensity* (MMI) mencapai VII hingga VIII, yang menunjukkan potensi guncangan yang kuat hingga sangat kuat. Kabupaten Badung memiliki nilai PGA terendah yaitu 31,5 gal - 149,9 gal dengan nilai intensitas IV hingga VI dan Kota Denpasar nilai PGA 49,5 – 65,4 gal dengan nilai intensitas IV. Kabupaten

Bangli dan Gianyar memiliki nilai PGA yang cukup tinggi masing-masing 426,8 gal dan 360,1 gal dengan nilai intensitas VII hingga VIII, dan IV hingga VII. Ini menunjukkan bahwa daerah timur dan tengah Bali memiliki risiko gempa yang lebih tinggi dibandingkan daerah selatan dan barat.

4.5 Pembahasan

Penelitian ini menggunakan data gempa darat di Bali tahun 2014–2024 dengan magnitudo $\geq 4,5$ SR dan kedalaman ≤ 60 km. Data tersebut dianalisis menggunakan mekanisme fokus untuk mengidentifikasi sesar aktif, yang kemudian menjadi dasar pemetaan zona risiko gempa dengan metode Lin dan Wu (2010).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kabupaten Karangasem, sebagian kabupaten Bangli, kabupaten Gianyar, dan kabupaten Buleleng memiliki nilai percepatan tanah (PGA) tertinggi > 250 gal dengan nilai intensitas gempa VII–VIII MMI. Sedangkan wilayah Jembrana, dan kota Denpasar memiliki nilai PGA < 100 gal dengan nilai intensitas IV – VI MMI. Berdasarkan identifikasi mekanisme fokus, terdapat tiga patahan yang masih aktif yaitu dua sesar naik di Karangasem dan satu sesar miring naik di Buleleng. Pola ini mendukung teori tektonik bahwa wilayah Bali dipengaruhi tidak hanya oleh subduksi di selatan tetapi juga oleh aktivitas sesar lokal (Suarbawa, Sukarasa, *et al.*, 2020). Hal ini sejalan dengan penelitian Wardani *et al.* (2021) yang juga menekankan pentingnya melakukan analisis mekanisme fokus untuk memahami pola patahan aktif di Lombok, di mana gempa bumi tahun 2018 dipicu oleh patahan naik.

Pada penelitian Helmi *et al.* (2021) panjang sesar di Bali bervariasi antara 2 hingga 20 km, dengan sesar yang teridentifikasi memotong batuan berumur Kuarter. Analisis data kegempaan menunjukkan adanya hubungan dengan sebaran

gempa dangkal. Berdasarkan struktur sesar ini, dapat diinterpretasikan bahwa sesar-sesar yang diidentifikasi melalui mekanisme fokus termasuk sesar aktif, salah satunya adalah sesar Culik-Abang yang berada di kabupaten Karangasem.

Hasil dari mekanisme fokus sejalan dengan penelitian Agastya, Diwyastra, Hespiantoro, et al. (2022) yang mengidentifikasi zona sesar aktif di Desa Ban, Kabupaten Karangasem, sepanjang ± 18 km yang terbagi menjadi lima segmen dengan tipe dominan sesar naik dan sesar mendatar. Analisis citra SRTM DEM, geomorfologi tektonik, pemetaan geologi, serta data seismik melalui mekanisme fokus menunjukkan bahwa sistem sesar tersebut merupakan kombinasi sesar naik dan mendatar yang dipengaruhi oleh aktivitas subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia di selatan Bali. Pada penelitian Suarbawa, Adnyana, et al. (2020) tentang identifikasi sesar lokal di wilayah Tejakula, kabupaten Buleleng, yang menggunakan data gravitasi dan metode derivatif vertikal kedua, menunjukkan keberadaan sesar dengan mekanisme pergeseran horizontal (strike-slip fault) yang dapat dikategorikan sebagai sesar naik menyamping minor di area tersebut.

Potensi bahaya ini diperkuat oleh temuan Darsono et al. (2016), dan Masitah et al. (2025) hasil analisis menunjukkan bahwa Kabupaten Karangasem memiliki nilai percepatan getaran tanah (PGA) yang relatif tinggi serta tingkat bahaya seismik yang lebih signifikan dibandingkan wilayah lain. Kondisi ini mengindikasikan adanya potensi bahaya gempa yang besar sehingga diperlukan langkah mitigasi khusus. Faktor tersebut berkaitan dengan aktivitas subduksi lempeng Indo-Australia di bawah lempeng Eurasia, mengingat Karangasem berada pada busur kecil kepulauan sunda. Wilayah ini dipengaruhi oleh keberadaan Sesar

Subduksi Sunda, Sesar Naik Belakang Busur Flores (*Flores Back Arc Thrust*) di utara dan selatan Bali, serta sesar mendatar Lombok di bagian timur. Kombinasi struktur tektonik tersebut menunjukkan tingginya potensi kegempaan akibat interaksi antara sesar geser di timur dan sesar naik di utara Kabupaten Karangasem, yang menandakan kompleksitas aktivitas tektonik di Bali.

Analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA) merupakan salah satu parameter penting dalam pemetaan zona risiko gempa bumi karena secara langsung menggambarkan besarnya guncangan tanah yang mungkin dirasakan oleh bangunan atau struktur di permukaan. Di wilayah Bali, penelitian sebelumnya oleh Ulfiana, Dkk. (2018) telah membandingkan beberapa metode empiris untuk menghitung PGA dan menemukan bahwa setiap metode menghasilkan nilai yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan metode yang tepat sangat penting agar hasil perhitungan lebih akurat dan sesuai dengan kondisi geologi setempat.

Hasil pemetaan intensitas getaran tanah maksimum di Bali menggunakan metode Lin dan Wu (2010) menunjukkan bahwa kabupaten Karangasem memiliki tingkat intensitas getaran VII–VIII MMI, yang memiliki potensi kerusakan sedang hingga berat. Penelitian ini sejalan dengan laporan lapangan dan berita gempa yang terjadi pada Oktober 2021, gempa bumi berkekuatan magnitudo 4,8 mengguncang Karangasem dengan getaran yang dirasakan sangat kuat hingga tingkat VIII MMI. Dampak gempa tersebut menyebabkan kerusakan signifikan pada rumah dan fasilitas umum, serta korban luka-luka dan tanah longsor yang dilaporkan oleh BMKG dan BPBD Bali. Kejadian ini membuktikan bahwa nilai intensitas getaran hasil perhitungan penelitian sejalan dengan kondisi nyata di lapangan, sehingga

memperkuat validitas pemodelan dan pemetaan risiko gempa yang dilakukan dalam penelitian ini (BMKG, DetikNews, Kompas, 2021).



Gambar 4. 5 Rumah Roboh Dampak dari Gempa Bumi (BPBD Provinsi Bali)

Selain itu, pada September 2024 tercatat gempa dangkal dengan magnitudo 4,9 yang berpusat di darat Kabupaten Gianyar, Bali. Gempa tektonik ini juga terasa di kabupaten Tabanan, Badung, Kota Denpasar, Klungkung. Berdasarkan laporan BMKG, gempa ini dirasakan dengan intensitas III–IV MMI, guncangan terasa nyata di dalam rumah dan menyebabkan gangguan seperti suara derik pada pintu dan jendela. Bangunan rumah mengalami kerusakan, serta fasilitas pendidikan dan fasilitas kesehatan di wilayah tersebut. Sehingga kondisi ini dengan estimasi intensitas III–IV MMI (Suarasurabaya.net, 2024).



Gambar 4. 6 Tembok Pembatas Sisi Selatan Puri Agung Blahbatuh Rusak Akibat Gempa (Putu Krista/DetikBali)

4.6 Hasil Penelitian Dalam Persepektif Islam

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kabupaten Karangasem, beberapa wilayah di kabupaten Bangli, beberapa wilayah di kabupaten Gianyar, dan kabupaten Buleleng dari perhitungan menggunakan metode Lin dan Wu 2010 memiliki nilai percepatan dan nilai intensitas getaran tanah maksimum gempa bumi yang tinggi di banding daerah lain. Hal ini disebabkan karena adanya sesar aktif pada daerah tersebut yaitu sesar garogak dengan jenis patahan miring naik dan sesar culik-abang dengan jenis patahan naik.

Dalam perspektif islam, fenomena alam seperti gempa bumi memiliki makna spiritual selain sebagai peristiwa fisik yang dapat dijelaskan secara ilmiah. Gempa bumi (al-Zalزالah) disebutkan dalam Al-Qur'an sebagai salah satu tanda kekuasaan Allah yang menunjukkan kebesaran dan kehendak-Nya. Peristiwa ini juga dapat menjadi peringatan (*tadzkirah*) agar manusia kembali mengingat Allah, memperbaiki akhlak, dan menjauhi perbuatan yang merusak. Keberadaan patahan aktif yang memicu potensi gempa bumi mengingatkan manusia untuk tetap menjalankan amanahnya sebagai khalifah di bumi, termasuk mengambil langkah-langkah mitigasi dan perencanaan pembangunan yang bijaksana (Makmun-Abha, 2013).

Peristiwa gempa bumi telah dicatat dalam Al-Qur'an dan hadist, serta dapat ditelusuri melalui catatan sejarah Islam pada masa lampau. Dari kejadian-kejadian tersebut, umat Islam memperoleh panduan dan pelajaran yang dapat dijadikan pedoman dalam menghadapi bencana gempa bumi. Seperti yang tercantum pada firman Allah dalam surat Al-A'raf ayat 78 yang menceritakan tentang azab berupa gempa bumi yang menimpa kaum Tsamud akibat kemaksiatan mereka:

فَأَخَذَتْهُمُ الرَّجْفَةُ فَأَصْبَحُوا فِي دَارِهِمْ جِثِيمِينَ (٧٨)

Artinya: *Lalu datanglah gempa menimpa mereka, dan mereka pun mati bergelimpangan di dalam reruntuhan mereka.* ” (QS Al-A’raf: 78).

Tafsir Tahlili menjelaskan bahwa setelah kaum Tsamūd menantang Nabi Saleh dengan menuntut hukuman yang dijanjikan Allah, Allah melindungi Rasul-Nya beserta para pengikutnya. Ayat tersebut menggambarkan hukuman yang ditimpakan berupa gempa bumi dan kilat yang dahsyat, yang mengguncang bumi dan menghancurkan semua bangunan hingga musnah. Kilat yang dimaksud bukanlah kilat biasa, melainkan kilat istimewa yang khusus diberikan sebagai hukuman atas kedurhakaan kaum Tsamūd (Nu Online, 2025).

Sebagai bagian dari studi ilmiah geologi dan seismologi, penelitian tentang identifikasi zona risiko gempa bumi dan sesar aktif di Bali, bersinggungan dengan perspektif Islam, yang berasal dari Al-Araf ayat 78 dan tafsir Tahlili. Ayat tersebut menceritakan bagaimana gempa bumi menghancurkan kaum Tsamud, menunjukkan bahwa dari sudut pandang agama, peristiwa alam seperti gempa bumi bukan hanya peristiwa alam semata-mata, tetapi juga dapat berfungsi sebagai hukuman atau peringatan dari Tuhan atas ketidaktaatan manusia dan kerusakan mereka. Pada firman Allah juga dijelaskan dan ditegaskan lagi dalam surah QS. Al-Ankabut ayat 37 sebagai berikut:

فَكَذَّبُوهُ فَأَخَذَتْهُمُ الرَّجْفَةُ فَأَصْبَحُوا فِي دَارِهِمْ جِثِيمِينَ^٧ (العنكبوت: ٣٧)

Artinya: *Maka mereka mendustakan Syu'aib, lalu mereka ditimpa gempa yang dahsyat, dan jadilah mereka mayat-mayat yang bergelimpangan di tempat-tempat tinggal mereka.* (QS. Al-'Ankabut ayat 37)

Tafsir ayat tersebut menjelaskan bahwa umat Nabi Syuaib, seperti kaum Nabi Lut, durhaka dan menolak nasihat yang disampaikan, bahkan mendustakannya. Karena itu, berlaku hukum Allah. Ketika mereka terus-menerus

mengingkari peringatan Nabi Syuaib, Allah menurunkan azab. Bumi tempat tinggal mereka diguncang gempa yang dahsyat, menghancurkan permukiman mereka, sehingga mereka tewas tertimbun bumi dan tidak bisa bergerak lagi (Kemenag, 2025).

Berdasarkan Surat Al-'Ankabut ayat 37 dan tafsirnya, bahwa gempa bumi dalam perspektif islam bukan hanya peristiwa geologis, tetapi juga dapat menjadi manifestasi sunnatullah sebagai peringatan atau hukuman bagi orang-orang yang mengingkari kebenaran dan menolak petunjuk. Kisah kaum Nabi Syuaib menegaskan bahwa pengingkaran terhadap nilai-nilai kebenaran akan berujung pada kehancuran, karena bumi yang mereka huni berguncang hingga hancur.

Dalam konteks penelitian ini, kajian ilmiah tentang potensi dan risiko gempa bumi berfungsi sebagai sarana kewaspadaan dan mitigasi, sementara hikmah dari Al-Qur'an memberikan dimensi spiritual agar manusia senantiasa menjaga keimanan, kesabaran, keadilan, dan keberlanjutan bumi, sehingga bencana tidak hanya dihadapi dengan kesiapan teknis, tetapi juga dengan kesadaran moral dan ketaatan kepada Allah

Islam memandang pentingnya melindungi keselamatan manusia dari berbagai bentuk bahaya, termasuk gempa bumi. Dalam Maqashid Syahriah upaya ini mencakup lima hal pokok yaitu pertama pemeliharaan agama (*hifdz ad-din*) dalam penelitian ini kejadian gempa bumi bisa menjadi pengingat akan kekuasaan Allah dan pentingnya menjaga keimanan. Kedua pemeliharaan jiwa (*hifdz an-nafs*) yang dimaksud bencana gempa bumi disini yaitu menuntut upaya penyelamatan jiwa dan penanganan korban, serta pentingnya kesiapsiagaan dalam menghadapi bencana. Ketiga pemeliharaan akal (*hifdz al-'aql*) dalam bencana gempa bumi

mendorong manusia untuk berpikir kritis, mencari solusi, dan belajar dari pengalaman untuk mengurangi dampak bencana di masa depan. Keempat pemeliharaan keturunan (*hifdz an-nasl*) dari kejadian gempa bumi dapat berdampak pada anak-anak, sehingga penting untuk memberikan perlindungan dan perhatian khusus pada mereka. Dan kelima pemeliharaan harta (*hifdz al-mal*) yaitu gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan harta benda, sehingga penting untuk memiliki sikap bijak dalam pengelolaan harta dan membantu mereka yang terdampak (Ilmi *et al.*, 2025).

Dengan mengidentifikasi sesar aktif dan pemetakan zona risiko gempa menggunakan metode Lin dan Wu (2010), hasil studi menunjukkan bahwa beberapa wilayah di Bali memiliki risiko gempa bumi yang tinggi. Hasil ini sejalan dengan prinsip-prinsip Maqashid Syariah, di mana upaya untuk mengurangi bencana merupakan bagian dari menjaga agama (*Hifz al-Din*) dengan menjaga kelangsungan ibadah dan menjaga amanah Allah dalam melindungi kehidupan. Pemetaan risiko ini juga merupakan bagian dari melindungi jiwa (*Hifz al-Nafs*) karena memberikan informasi penting bagi pemerintah dan masyarakat untuk mengurangi hilangnya nyawa, serta menjaga harta benda (*Hifz al-Mal*) dengan melindungi asset dan infrastruktur. Oleh karena itu, temuan studi ini tidak hanya memiliki nilai ilmiah, tetapi juga memiliki nilai moral dan spiritual yang mendukung keselamatan umat manusia.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis mekanisme fokus gempa bumi di Bali periode 2014–2024, diperoleh karakteristik sesar berupa dua sesar naik (*reverse fault*) di wilayah kabupaten Karangasem dan satu sesar menyamping naik (*oblique thrust*) di wilayah kabupaten Buleleng. Karakteristik ini menunjukkan bahwa aktivitas gempa dangkal di Bali didominasi oleh sesar lokal dengan pergerakan naik dan kombinasi naik menyamping, yang berpotensi menimbulkan guncangan kuat di permukaan.
2. Nilai percepatan getaran tanah maksimum yang ada di Bali dari data gempa bumi tahun 2014 – 2024 dengan wilayah yang tertinggi dicapai di kabupaten Karangasem, dengan nilai 253,5 hingga 603,3 gal yang menunjukkan potensi guncangan yang kuat hingga sangat kuat. Kabupaten Badung memiliki nilai PGA terendah, yaitu 31,5 hingga 149,9 gal. Kabupaten Bangli dan Gianyar memiliki nilai PGA yang cukup tinggi masing-masing 426,8 gal dan 360,1 gal menunjukkan bahwa daerah timur dan tengah Bali memiliki risiko gempa yang lebih tinggi dibandingkan daerah selatan dan barat.
3. Hasil pemetaan zona risiko gempa di Bali berdasarkan nilai MMI menunjukkan bahwa wilayah timur dan tengah, seperti Karangasem, Bangli, Gianyar, Buleleng, dan Klungkung, berada pada kategori risiko tinggi hingga sangat tinggi dengan intensitas VII–VIII MMI. Sementara itu, wilayah barat dan selatan, seperti Denpasar, Jembrana, dan Tabanan, berada pada kategori risiko rendah hingga sedang dengan intensitas IV–VI MMI. Perbedaan sebaran ini

menegaskan bahwa daerah dengan intensitas tinggi memerlukan prioritas dalam upaya mitigasi bencana dan pembangunan infrastruktur tahan gempa.

5.2 Saran

Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengidentifikasi gempa bumi yang bukan disebabkan oleh sesar aktif, khususnya di wilayah Kabupaten Bangli dan Gianyar. Pada cakupan data dilakukan dengan lebih luas, termasuk gempa dengan magnitudo di bawah 4,5 SR dan gempa laut. Pada pemetaan zona risiko gempa ditambahkan parameter geologi seperti kondisi tanah dan litologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agastya, I. B. O., Diwyastra, P. D., & Hespianoro, S. (2022). IDENTIFIKASI ZONA SESAR MENGGUNAKAN PENDEKATAN GEOMORFOLOGI TEKTONIK DAN PEMETAAN GEOLOGI DI DESA BAN, KABUPATEN KARANGASEM, BALI. JURNAL GEOMINERBA (JURNAL GEOLOGI, MINERAL DAN BATUBARA), 7(1), 14–25. <https://doi.org/10.58522/ppsdm22.v7i1.53>
- Agastya, I. B. O., Diwyastra, P. D., Hespianoro, S., & Kesdm, P. G. (2022). Identification of Fault Zones Using Tectonic Geomorphological Approaches and Geological Mapping In Ban Village, Karangasem Regency, Bali.
- Andriyani, G., Kahar, S., Awaluddin, M., & Meilano, I. (2012). KAJIAN REGANGAN SELAT BALI BERDASARKAN DATA GNSS KONTINU TAHUN 2009-201.
- Aslamiah Roemaf, S. R. (2013). ANALISA SESAR AKTIF MENGGUNAKAN METODE FOCAL MECHANISM (STUDI KASUS DATA GEMPA SEPANJANG CINCIN API ZONA SELATAN WILAYAH JAWA BARAT PADA TAHUN 1999-2009). JURNAL NEUTRINO. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.2435>
- Basiron, N. F. M., & Razzak, M. A. (2012). Rujukan al-Quran dan al-Hadith dalam Penelitian Fenomena Gempa Bumi.
- Darsono, R., Sukarasa, I. K., & Setiawan, Y. A. (2016). ANALISA TINGKAT RISIKO BENCANA GEMPA BUMI DI WILAYAH BALI. 17(1).
- Diaz, N., Suarbawa, K. N., & Mursitantyo, A. (2018). Earthquake Relocation in Northern Bali Island in 2015-2017 using Double Difference Method (DD). BULETIN FISIKA, 19(2), 64. <https://doi.org/10.24843/BF.2018.v19.i02.p05>
- Edwiza, D., & Novita, S. (2008). PEMETAAN PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DAN INTENSITAS SEISMIK KOTA PADANG PANJANG MENGGUNAKAN METODE KANAL. 29.
- Fadhilah, U., Wibowo, N. B., & Darmawan, D. (n.d.). MIKROZONASI INDEKS KERENTANAN SEISMIK DI KAWASAN JALUR SESAR GRINDULU, KABUPATEN PACITAN BERDASARKAN DATA MIKROTREMOR.
- Ghifari, A., Murti, M. A., & Nugraha, R. (n.d.). PERANCANGAN ALAT PENDETEKSI GEMPA MENGGUNAKAN SENSOR GETAR.
- Hamidi, A. (2018). Analisis Pengaruh Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) Terhadap Story Shear Bangunan Bertingkat. Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa, 9(2), 1. <https://doi.org/10.30630/jipr.13.2.108>
- Helmi, H., Marliyani, G. I., & Nur'aini, S. (2021). Identifikasi Sesar Aktif di Pulau Bali dengan Menggunakan Data Pemetaan Geologi Permukaan dan Morfologi Tektonik. Majalah Geografi Indonesia, 35(1), 45. <https://doi.org/10.22146/mgi.61928>

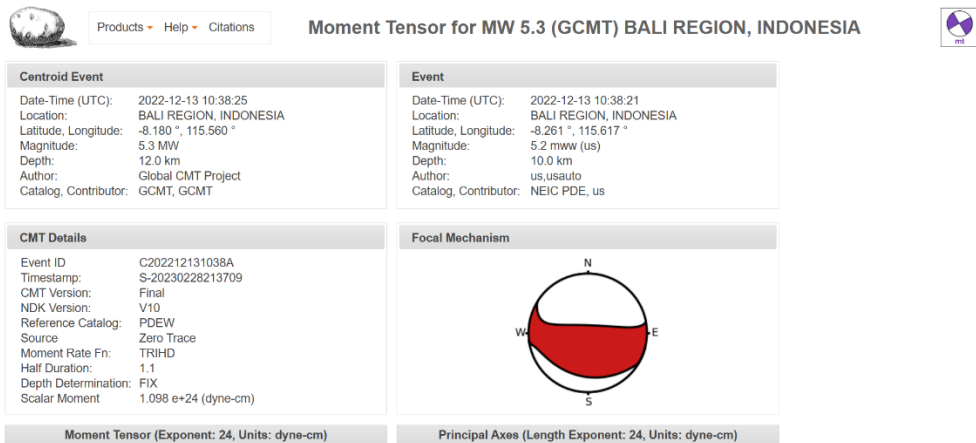
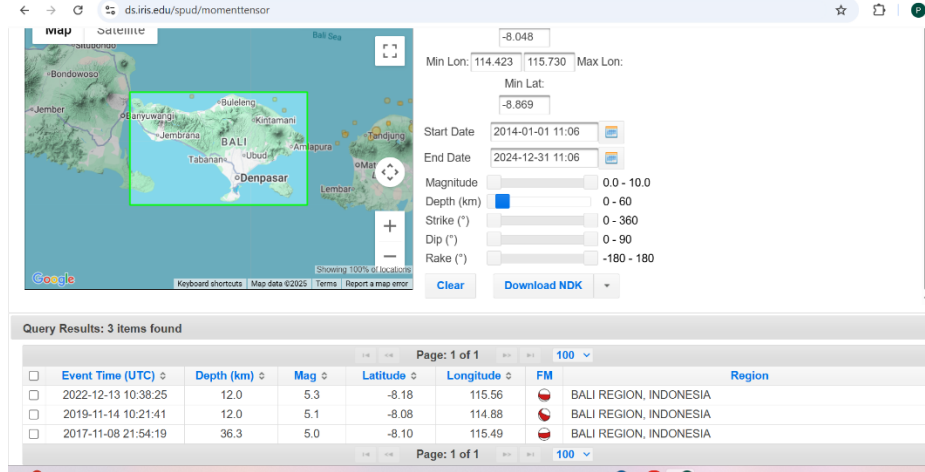
- Hendrawanto, B. (2021). Studi Penentuan Percepatan (Acceleration) Tanah Daerah Ampana, Balikpapan, Bone, Bulukumba, Bau-Bau Akibat Gempabumi Donggala 28 September 2018. 4.
- Hielmy, R. I. (2024). PERBANDINGAN METODE DAVENPORT, MILNE, DAN MCGUIRRE DALAM PENENTUAN NILAI PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI PULAU BALI.
- Ilimi, I., Syafa'ah, L., & Pratiwi, B. (2025). MAQASHID SYARIAH DAN TANTANGAN DEKADENSI MORAL DALAM PERSPEKTIF ESKATOLOGI ISLAM. 05.
- Imelda, A., Farihin, M. Z., Sholihah, N. C., & Sari, D. P. (2024). DINAMIKA PERGERAKAN LEMPENG TEKTONIK MENGGUNAKAN ANALISIS LITERATUR TENTANG TEORI DAN DAMPAKNYA.
- Irjan, I., Luthfin, A., & Hidayati, S. N. (2022). Analisis Kerentanan Bahaya Gempa Bumi Tektonik Merusak Berdasarkan Fungsi Atenuasi Zhao Di Nusa Tenggara Timur. *INDONESIAN JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, 12(2), 242. <https://doi.org/10.13057/ijap.v12i2.59373>
- Lestari, A. D., Suarbawa, K. N., Supardi, I. W., & Pratama, I. P. D. (2021). Analysis Regional Vulnerability of Earthquakes Based on Parameters Fragility Rock Value (B-Value) and Peak Ground Acceleration (PGA) In Bali Province. *BULETIN FISIKA*, 23(2), 97. <https://doi.org/10.24843/BF.2022.v23.i02.p04>
- Maharani, A. A. (2022). ANALISIS POLA SESAR DI PULAU SULAWESI BERDASARKAN DATA GEMPA BULAN FEBRUARI TAHUN 2022 DI BBMKG WILAYAH IV MAKASSAR.
- Makmun-Abha, M. (2013). Gempa Bumi dalam Al-Qur'an (Tafsir Tematik). *ESENSIA: Jurnal Ilmu-Ilmu Ushuluddin*, 14(1), 19–36. <https://doi.org/10.14421/esensia.v14i1.748>
- Masitah, S., Sukarasa, I. K., Dedy Pratama, I. P., Yuliara, I. M., Suryatika, I. B. M., & Kasmawan, I. G. A. (2025). Analisis Peak Ground Accerelation (PGA) di Kabupaten Karangasem Menggunakan Pendekatan Empiris. *Kappa Journal*, 9(1), 78–81. <https://doi.org/10.29408/kpj.v9i1.28647>
- Priyanto, D. K., Suarbawa, K. N., & Septiadhi, A. (2018). Determination of Empirical Formula Model of Soil Vibration Acceleration of Denpasar Area. *BULETIN FISIKA*, 19(1), 23. <https://doi.org/10.24843/BF.2018.v19.i01.p05>
- Rahayu, N. L. P., Trisuandayani, N. K., & Mursitantyo, A. (2021). Relokasi Hiposenter Gempabumi Susulan di Seririt pada 14 November 2019 Dengan Metode Double Difference. *BULETIN FISIKA*, 24(1), 40. <https://doi.org/10.24843/BF.2023.v24.i01.p06>
- Rahmawati, W., & . M. (2021). ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN NORMAL GEMPA BUMI DI WILAYAH SESAR SUMATRA MENGGUNAKAN METODE INVERSI TEGANGAN. *Inovasi Fisika Indonesia*, 10(2), 73–80. <https://doi.org/10.26740/ifi.v10n2.p73-80>

- Rusmilawati, D., Lepong, P., & Hendrawanto, B. (2019). STUDI MEKANISME SUMBER GEMPABUMI DI WILAYAH KALIMANTAN BERDASARKAN GERAK AWAL GELOMBANG P. 2.
- Sari, B. D. W., Djayus, D., Supriyanto, S., & Hendrawanto, B. (2022). Penentuan Nilai Parameter Gempabumi Menggunakan Metode Geiger dan Hukum Laska pada Pulau Lombok. *GEOSAINS KUTAI BASIN*, 5(1). <https://doi.org/10.30872/geofisunmul.v5i1.706>
- Suarbawa, K. N., Adnyana, I. G. A. P., & Riyono, E. (2020). Identification of local sesars of tejakula buleleng bali with anomaly gravity data using second vertical derivative method. *International Journal of Physics & Mathematics*, 3(1), 18–25. <https://doi.org/10.31295/ijpm.v3n1.170>
- Suarbawa, K. N., Sukarasa, I. K., & Riyono, E. (2020a). Identifikasi Deformasi Pulau Bali Berdasarkan Rekaman Data GPS, Menggunakan Software GAMIT/GLOBK 10.6. *BULETIN FISIKA*, 22(1), 47. <https://doi.org/10.24843/BF.2021.v22.i01.p07>
- Suarbawa, K. N., Sukarasa, I. K., & Riyono, E. (2020b). Identifikasi Deformasi Pulau Bali Berdasarkan Rekaman Data GPS, Menggunakan Software GAMIT/GLOBK 10.6. *BULETIN FISIKA*, 22(1), 47. <https://doi.org/10.24843/BF.2021.v22.i01.p07>
- Suarbawa, K. N., Sukarasa, I. K., & Riyono, E. (2020c). Identifikasi Deformasi Pulau Bali Berdasarkan Rekaman Data GPS, Menggunakan Software GAMIT/GLOBK 10.6. *BULETIN FISIKA*, 22(1), 47. <https://doi.org/10.24843/BF.2021.v22.i01.p07>
- Ulfiana, Dkk, E. (2018). ANALISIS PENDEKATAN EMPIRIS PGA (PEAK GROUND ACCELERATION) PULAU BALI MENGGUNAKAN METODE DONOVAN, MC. GUIRRE, DAN M.V. MICKEY. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 2(2). <https://doi.org/10.24198/jiif.v2i2.19730>
- Wardani, N. N. S. K., Suarbawa, K. N., & Kusnandar, R. (2021). Determination of Fault Type of Lombok Earthquakes from July 1 to December 31, 2018, using Focal Mechanism Method. *BULETIN FISIKA*, 22(2), 91. <https://doi.org/10.24843/BF.2021.v22.i02.p06>
- Wiguna, I. (2019). Penentuan Persamaan Empiris Percepatan Tanah Di Wilayah Bali Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 2008-2016. *Kappa Journal*, 3(2), 71–78. <https://doi.org/10.29408/kpj.v3i2.1613>
- ZAMRI, A. M. B. M. (2013). RELEVANSI SAINS DENGAN MAKNAZALZALAH DALAM AL-QUR'AN. *UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU*.

LAMPIRAN

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data parameter Mekanisme Fokus (*Strike, Dip & Rake*)



Event ID	C202212131038A
Timestamp:	S-20230228213709
CMT Version:	Final
NDK Version:	V10
Reference Catalog:	PDEW
Source:	Zero Trace
Moment Rate Fn:	TRIHD
Half Duration:	1.1
Depth Determination:	FIX
Scalar Moment	1.098 e+24 (dyne-cm)

Moment Tensor (Exponent: 24, Units: dyne-cm)		
Component	Value	Error
Mrr	0.532	0.01
Mtt	-0.597	0.008
Mpp	0.065	0.01
Mrt	-0.934	0.024
Mrp	0.0	0.03
Mtp	0.127	0.008

Principal Axes (Length Exponent: 24, Units: dyne-cm)			
Name	Azimuth (°)	Plunge (°)	Length
T	173	60	1.063
N	273	6	0.071
P	6	29	-1.134

Nodal Planes			
Name	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)
NP1	112	17	110
NP2	271	74	84

Data Used in Inversion			
Type	Stations	Components	Shortest Period (s)
Body Waves	109	163	40
Mantle Waves	0	0	0
Surface Waves	128	217	50


[Products](#) - [Help](#) - [Citations](#)

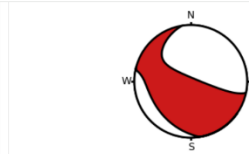
Moment Tensor for MW 5.1 (GCMC) BALI REGION, INDONESIA



Centroid Event	Event
Date-Time (UTC): 2019-11-14 10:21:41	Date-Time (UTC): 2019-11-14 10:21:39
Location: BALI REGION, INDONESIA	Location: BALI REGION, INDONESIA
Latitude, Longitude: -8.090 °, 114.880 °	Latitude, Longitude: -8.139 °, 114.876 °
Magnitude: 5.1 MW	Magnitude: 4.9 Mw (us)
Depth: 12.0 km	Depth: 10.0 km
Author: Global CMT Project	Author: us
Catalog, Contributor: GCMC, GCMC	Catalog, Contributor: NEIC PDE, us

CMT Details	Focal Mechanism
Event ID: C201911141021A	
Timestamp: S-20200129213514	
CMT Version: Final	
NDK Version: V10	
Reference Catalog: PDEW	
Source: Zero Trace	
Moment Rate Fn: TRIHD	
Half Duration: 0.8	
Depth Determination: FIX	
Scalar Moment: 5.202 e+23 (dyne-cm)	

Event ID: C201911141021A
 Timestamp: S-20200129213514
 CMT Version: Final
 NDK Version: V10
 Reference Catalog: PDEW
 Source: Zero Trace
 Moment Rate Fn: TRIHD
 Half Duration: 0.8
 Depth Determination: FIX
 Scalar Moment: 5.202 e+23 (dyne-cm)



Moment Tensor (Exponent: 23, Units: dyne-cm)			Principal Axes (Length Exponent: 23, Units: dyne-cm)			
Component	Value	Error	Name	Azimuth (°)	Plunge (°)	Length
Mrr	1.28	0.084	T	184	51	4.935
Mtt	-0.55	0.07	N	293	15	0.537
Mpp	-0.727	0.073	P	34	35	-5.469
Mrt	-4.47	0.2				
Mrp	1.7	0.212				
Mtp	1.78	0.052				

Nodal Planes				Data Used in Inversion			
Name	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Type	Stations	Components	Shortest Period (s)
NP1	172	18	150	Body Waves	48	63	40
NP2	291	81	75	Mantle Waves	0	0	0
				Surface Waves	86	115	50


[Products](#) - [Help](#) - [Citations](#)

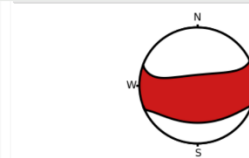
Moment Tensor for MW 5.0 (GCMC) BALI REGION, INDONESIA



Centroid Event	Event
Date-Time (UTC): 2017-11-08 21:54:19	Date-Time (UTC): 2017-11-08 21:54:17
Location: BALI REGION, INDONESIA	Location: BALI REGION, INDONESIA
Latitude, Longitude: -8.100 °, 115.490 °	Latitude, Longitude: -8.313 °, 115.525 °
Magnitude: 5.0 MW	Magnitude: 4.9 Mw (us)
Depth: 36.3 km	Depth: 10.0 km
Author: Global CMT Project	Author: us
Catalog, Contributor: GCMC, GCMC	Catalog, Contributor: NEIC PDE, us

CMT Details	Focal Mechanism
Event ID: C201711082154A	
Timestamp: S-20180129210313	
CMT Version: Final	
NDK Version: V10	
Reference Catalog: PDEW	
Source: Zero Trace	
Moment Rate Fn: TRIHD	
Half Duration: 0.8	
Depth Determination: FREE	
Scalar Moment: 3.742 e+23 (dyne-cm)	

Event ID: C201711082154A
 Timestamp: S-20180129210313
 CMT Version: Final
 NDK Version: V10
 Reference Catalog: PDEW
 Source: Zero Trace
 Moment Rate Fn: TRIHD
 Half Duration: 0.8
 Depth Determination: FREE
 Scalar Moment: 3.742 e+23 (dyne-cm)



Moment Tensor (Exponent: 23, Units: dyne-cm)			Principal Axes (Length Exponent: 23, Units: dyne-cm)			
Component	Value	Error	Name	Azimuth (°)	Plunge (°)	Length
Mrr	2.39	0.163	T	167	67	3.5
Mtt	-2.88	0.099	N	265	3	0.479
Mpp	0.486	0.112	P	356	23	-3.983
Mrt	-2.63	0.127				
Mrp	-0.339	0.135				
Mtp	-0.141	0.083				

Nodal Planes				Data Used in Inversion			
Name	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Type	Stations	Components	Shortest Period (s)
NP1	93	23	99	Body Waves	48	61	40
NP2	264	68	86	Mantle Waves	0	0	0
				Surface Waves	94	140	50

**Lampiran 2. Hasil Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)
Metode Lin dan Wu (2010)**

Longitude	Latitude	PGA (gal)
115.2189	-8.56470	79.3138
115.1734	-8.72606	41.10346
115.1644	-8.81277	31.53111
115.1596	-8.64701	50.05256
115.1820	-8.55814	70.17231
115.2211	-8.45278	149.9014
115.3623	-8.48613	219.2108
115.3395	-8.24382	264.8454
115.3308	-8.43674	337.6104
115.3894	-8.41441	426.8618
115.0366	-8.23641	150.849
115.0907	-8.11662	58.91946
114.9043	-8.32938	390.3944
114.6673	-8.18826	51.21317
115.2183	-8.14125	87.74668
115.1734	-8.15265	74.7921
114.9118	-8.24651	356.8361
115.1044	-8.19206	75.50565
115.3032	-8.13980	125.9455
115.1935	-8.66564	52.0473
115.2259	-8.70533	49.49378
115.2466	-8.64276	65.30847
115.2125	-8.62577	62.7882
115.3179	-8.58354	104.6494
115.3369	-8.54616	136.1824
115.2567	-8.38551	264.2227
115.2755	-8.60604	82.45403
115.2914	-8.49094	177.9698
115.2926	-8.40210	360.0344
115.2591	-8.51810	122.6923
114.6508	-8.31889	52.52178
114.5454	-8.24521	29.07866
114.7467	-8.29114	108.1216
114.7023	-8.32272	74.49023
114.5891	-8.35863	35.66144
114.8682	-8.39873	181.5851
115.6207	-8.36679	531.1544
115.5420	-8.40599	499.9729
115.6314	-8.44313	255.6185
115.5126	-8.26920	678.4168
115.5244	-8.48020	292.3984

115.4190	-8.42848	462.2447
115.4784	-8.41888	592.7908
115.4394	-8.48317	299.5766
115.3750	-8.53555	165.9157
115.3820	-8.48337	245.4539
115.4466	-8.53776	191.2844
115.4087	-8.55221	162.0181
115.5413	-8.73953	57.39339
115.1767	-8.33461	111.6794
115.1182	-8.59137	50.93308
115.0868	-8.52626	52.33543
115.1689	-8.46416	94.58171
115.1220	-8.39627	75.62639
115.0084	-8.36027	184.6713
115.0400	-8.45811	80.79161
114.9797	-8.45742	103.3399
115.0618	-8.48996	61.06845
115.1335	-8.50657	65.58852

**Lampiran 3. Hasil Nilai Intensitas Getaran Tanah Maksimum (MMI) Metode
Lin dan Wu (2010)**

Longitude	Latitude	IMM
115.2189	-8.56470	5.177656
115.1734	-8.72606	4.149962
115.1644	-8.81277	3.735462
115.1596	-8.64701	4.457935
115.1820	-8.55814	4.986197
115.2211	-8.45278	6.1729
115.3623	-8.48613	6.767103
115.3395	-8.24382	7.062773
115.3308	-8.43674	7.442297
115.3894	-8.41441	7.809034
115.0366	-8.23641	6.182753
115.0907	-8.11662	4.712931
114.9043	-8.32938	7.669413
114.6673	-8.18826	4.493774
115.2183	-8.14125	5.33563
115.1734	-8.15265	5.085881
114.9118	-8.24651	7.528888
115.1044	-8.19206	5.100726
115.3032	-8.13980	5.900658
115.1935	-8.66564	4.519034
115.2259	-8.70533	4.440382
115.2466	-8.64276	4.87389
115.2125	-8.62577	4.812361
115.3179	-8.58354	5.611052
115.3369	-8.54616	6.022835
115.2567	-8.38551	7.059093
115.2755	-8.60604	5.238363
115.2914	-8.49094	6.441247
115.2926	-8.40210	7.542838
115.2591	-8.51810	5.859742
114.6508	-8.31889	4.533222
114.5454	-8.24521	3.608868
114.7467	-8.29114	5.662085
114.7023	-8.32272	5.079558
114.5891	-8.35863	3.927916
114.8682	-8.39873	6.472689
115.6207	-8.36679	8.150795
115.5420	-8.40599	8.056207
115.6314	-8.44313	7.007332
115.5126	-8.26920	8.533388
115.5244	-8.48020	7.21751

115.4190	-8.42848	7.933539
115.4784	-8.41888	8.322445
115.4394	-8.48317	7.255428
115.3750	-8.53555	6.331595
115.3820	-8.48337	6.943892
115.4466	-8.53776	6.554047
115.4087	-8.55221	6.294429
115.5413	-8.73953	4.671903
115.1767	-8.33461	5.712703
115.1182	-8.59137	4.4852
115.0868	-8.52626	4.527665
115.1689	-8.46416	5.452906
115.1220	-8.39627	5.103224
115.0084	-8.36027	6.499038
115.0400	-8.45811	5.206518
114.9797	-8.45742	5.591365
115.0618	-8.48996	4.768941
115.1335	-8.50657	4.88058