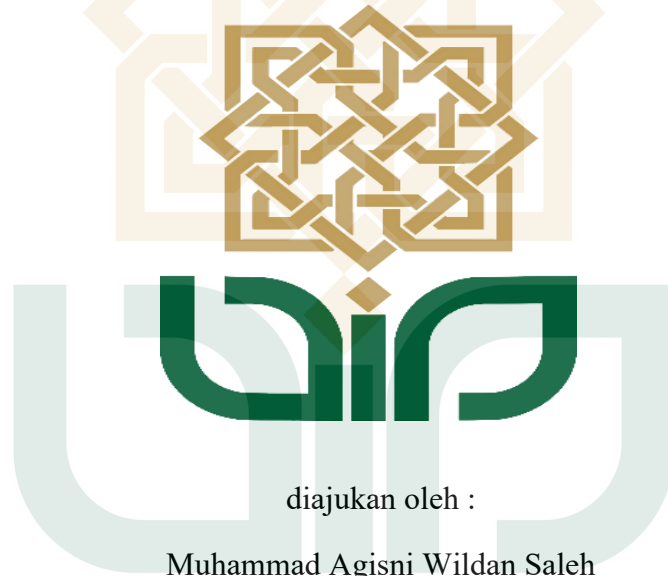


**ANALISIS ZONA RAWAN GEMPA BERDASARKAN  
PENDEKATAN *SPATIAL MULTI CRITERIA  
EVALUATION (SMCE) FUZZYLOGIC* DI DESA  
WATUKELIR KECAMATAN AYAH KEBUMEN**

**TUGAS AKHIR**

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



diajukan oleh :

Muhammad Agisni Wildan Saleh

22106020012

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UIN SUNAN KALIJAGA**

**YOGYAKARTA**

**2026**

## HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

### PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-506/Un.02/DST/PP.00.9/03/2026

Tugas Akhir dengan judul : Analisis Zona Rawan Gempa berdasarkan pendekatan Spacial Multi Criteria Evaluation (SMCE) Fuzzy Logic di Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kebumen

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : MUHAMMAD AGISNI WILDAN SALEH  
Nomor Induk Mahasiswa : 22106020012  
Telah diujikan pada : Senin, 02 Maret 2026  
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang  
Andi, M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 09aa1ad9664d5



Penguji I

Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 09a929850b08d



Penguji II

Asih Melati, S.Si., M.Sc., Ph.D.  
SIGNED

Valid ID: 09a691a027030b



Yogyakarta, 02 Maret 2026  
UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dru. Hj. Khurul Wardati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 09aa455883209

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

### SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Agisni Wildan Saleh

NIM : 22106020012

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul "Analisis Zona Rawan Gempa Berdasarkan Pendekatan *Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE) Fuzzylogic* di Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kebumen" adalah hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diujikan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 23 Februari 2026

Penulis

  
  
Muhammad Agisni Wildan saleh  
NIM. 22106020012

## SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

### **SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Hal : Persetujuan

skripsi Lamp :-

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan  
Teknologi UIN Sunan Kalijaga  
Yogyakarta  
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Muhammad Agisni Wildan Saleh  
NIM : 22106020012  
Judul Skripsi : Analisis Zona Rawan Gempa Berdasarkan Pendekatan *Spacial Multi Criteria Evaluation (SMCE) Fuzzy Logic* Di Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kebumen

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqosyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wB

Yogyakarta, 19 Februari 2026

Pembimbing II

Pembimbing I

Nugroho Budi Wibowo, S.Si., M.Sc  
NIP. 19840228-000000 1 301

Andi, M.Sc  
NIP. 19870210 201903 1 005

## MOTTO

“ Jika bukan karena Allah yang mampukan,  
aku mungkin sudah lama menyerah “

( Qs. Al-Insyirah : 05-06 )

“ siapa peduli jika kita berjuang bertahun-tahun ? usaha kita baru akan diakui saat  
lulus. Jika tidak lulus, dimata orang kita hanyalah orang yang kurang berusaha “

( Daily Dose of sunshine )

“Perang telah usai, aku bisa pulang kubaringkan panah dan berteriak MENANG”

( Nadin Amizah )

“ Segala sesuatu yang telah dimulai, maka harus diakhiri “

( Muhammad Agisni )

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul “**Analisis Zona Rawan Gempa Berdasarkan Pendekatan *Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE) Fuzzylogic* Di Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kebumen**”. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah limpahkan kepada baginda alam Rasullulah Nabi Muhammad SAW yang dinantikan *syafa'at*-nya di hari akhir kelak.

Penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik berkat dukungan, bantuan, dan perhatian dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

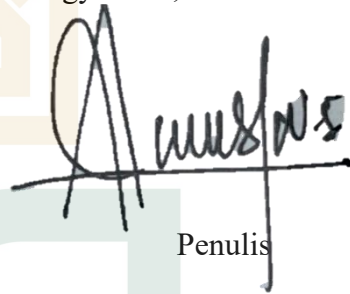
1. Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya. Berkat petunjuk dan lindungan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua, adik-adik serta keluarga besar tercinta atas doa, dukungan moral, dan restu yang senantiasa mengiringi setiap langkah penulis.
3. Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Dekan Fakultas Sains dan teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
5. Ibu Dr. Widayanti, S.Si., M.Si., selaku Kepala Program Studi Fisika, atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan dalam menunjang kegiatan akademik penulis.

6. Bapak Andi, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I, atas segala arahan, masukan, serta bimbingan yang sangat berarti selama proses penyelesaian Tugas akhir ini.
7. Bapak Dr. Nugroho Budi Wibowo, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa sabar meluangkan waktu dalam membimbing tugas akhir ini serta banyak memberikan saran, semangat, nasihat, dan ilmu yang banyak .
8. Fathir Yusron Khoir, Sheira Anggi, Devaline Friska, selaku rekan penelitian tugas akhir saya.
9. Rekan Till Jannah, Sholehot, Unmecour 22, Geofisika 22, KKN Nirmala, Forever serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu dalam penyusunan tugas akhir in.
10. Terakhir, terima kasih untuk diri sendiri, karena telah mampu berusaha keras dan berjuang sejauh ini. Terima kasih “ Agis” sudah memilih untuk bertahan, mau berjuang untuk tetap ada hingga saat ini. Dengan adanya skripsi ini, telah berhasil membuktikan bahwa kamu bisa menyandang gelar S.Si. bagaimanapun kehidupanmu selanjutnya, berbahagialah atas segala proses yang telah dilalui untuk masa depan yang lebih baik dan cerah.

Tidak ada ungkapan yang dapat penulis sampaikan selain rasa terima kasih yang sebesar-besarnya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan sebagai bahan perbaikan. Besar harapan penulis agar karya ini dapat memberikan manfaat bagi masyarakat serta turut mendukung perkembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamualaikum Wr Wb

Yogyakarta, 20 Februari 2026



Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## INTISARI

### ANALISIS ZONA RAWAN GEMPA BERDASARKAN PENDEKATAN *SPATIAL MULTI CRITERIA EVALUATION (SMCE) FUZZYLOGIC* DI DESA WATUKELIR KECAMATAN AYAH KEBUMEN

**Muhammad Agisni Wildan Saleh**

**22106020012**

## INTISARI

Indonesia sangat rentan terhadap gempa bumi karena kondisi tektoniknya yang kompleks karena dikelilingi oleh 3 lempeng besar dunia. Meskipun peta bahaya seismik regional sering menunjukkan tingkat risiko rendah hingga sedang, kondisi geologi dan tanah lokal dapat secara signifikan memperkuat dampak gempa. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter kerentanan seismik dan memetakan zona rawan gempa di Desa Watukelir, Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen, menggunakan pendekatan *Evaluasi Multi-Kriteria Spasial (SMCE)* yang terintegrasi dengan Logika *Fuzzy*. Data mikrotremor dikumpulkan dari 69 titik pengukuran antara Mei dan November dan 2025. Data tambahan meliputi peta geologi, data DEMnas, dan nilai Puncak Percepatan Tanah (*PGA*) dari batuan dasar yang diperoleh dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Sinyal mikrotremor diproses menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)* untuk memperoleh frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Indeks kerentanan seismik (*Kg*), kecepatan gelombang geser (*vs30*), *PGA* permukaan, regangan Geser tanah (*GSS*), kemiringan, dan kondisi geologi telah dihitung dan selanjutnya dimodifikasi menggunakan metode fuzzy. Semua parameter diintegrasikan menggunakan kerangka *SMCE-Logika Fuzzy* untuk menghasilkan peta zonasi bahaya gempa bumi. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai *Kg* berkisar antara 0,09 hingga 62,74, nilai *vs30* dari 192,42 m/s hingga 1403,63 m/s, nilai *PGA* dari 0,393 g hingga 0,440 g, nilai *GSS* dari  $3,6 \times 10^{-6}$  hingga  $2,4 \times 10^{-4}$ , dan sudut kemiringan dari  $0,05^\circ$  hingga  $45,59^\circ$ . Area studi diklasifikasikan menjadi zona bahaya gempa rendah, sedang, dan tinggi, dengan zona bahaya tinggi sebagian besar terkait dengan Endapan Aluvial. Studi ini memberikan dasar ilmiah untuk mitigasi gempa skala lokal dan perencanaan tata ruang.

**Kata kunci:** Bahaya Gempa, *SMCE*, Logika Fuzzy, Mikrogetaran, Desa Watukelir.

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF EARTHQUAKE-PRONE AREAS BASED ON FUZZYLOGIC SPATIAL MULTI-CRITERIA EVALUATION (SMCE) APPROACH IN WATUKELIR VILLAGE, AYAH SUB-DISTRICT, KEBUMEN

**Muhammad Agisni Wildan Saleh**  
**22106020012**

## ABSTRACT

*Indonesia is highly susceptible to earthquakes due to its complex tectonic setting within the surrounded by 3 major tectonic plates. Although regional seismic hazard maps often indicate low to moderate risk levels, local geological and soil conditions can significantly amplify earthquake impacts. This study aims to determine seismic vulnerability parameters and map earthquake-prone zones in Watukelir Village, Ayah District, Kebumen Regency, using a Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) approach integrated with Fuzzylogic. Microtremor data were collected from 69 measurement points between May and November 2025. Additional data included geological maps, DEMnas data, and bedrock Peak ground acceleration (PGA) values obtained from the Ministry of Public Works and Housing. Microtremor signals were processed using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method to obtain dominant frequency and amplification factor. Seismic vulnerability index (Kg), shear wave velocity (vs30), surface PGA, Ground Shear Strain (GSS), slope, and geological conditions were calculated and subsequently fuzzified. All parameters were integrated using the SMCE–Fuzzylogic framework to produce an earthquake hazard zonation map. The results indicate that Kg values range from 0.09 to 62.74, vs30 values from 192.42 m/s to 1403.63 m/s, PGA values from 0.393 g to 0.440 g, GSS values from  $3.6 \times 10^{-6}$  g to  $2.4 \times 10^{-4}$  g, and slope angles from 0.05° to 45.59°. The study area is classified into low, moderate, and high earthquake hazard zones, with high hazard zones predominantly associated with alluvial formations. This study provides a scientific basis for local-scale earthquake mitigation and spatial planning.*

**Keywords:** Earthquake Hazard, SMCE, Fuzzylogic, Microtremor, Watukelir Village.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
MOTTO .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
INTISARI .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	7
1.3 Tujuan Penelitian .....	8
1.4 Batasan Masalah .....	8
1.5 Manfaat Penelitian .....	9
BAB II .....	10
TINJAUAN PUSTAKA .....	10
2.1 Studi Pustaka .....	10
2.2. Landasan Teori .....	11
2.2.1 Pengertian Gempa Bumi .....	11
2.2.2 Zona Rawan Gempa .....	11
2.2.2.1 Indeks Kerentanan Seismik (Kg) .....	13
2.2.2.2 Peak ground acceleration (PGA) .....	14
2.2.2.3 Kecepatan Gelombang Geser Pada Kedalaman 30 m (VS30) .....	14
2.2.2.4 Ground Shear Strain (GSS) .....	16
2.2.2.5 Kemiringan Lereng .....	17
2.2.3 Tabel Klasifikasi Parameter Kerawanan Gempa .....	17
2.2.4 Metode <i>horizontal to vertical spectral multivation (HVSR)</i> .....	18
2.2.5 Transformasi Fourier .....	20
2.2.6 <i>Spasial Multi Criteria Evaluation (SMCE)</i> .....	21

2.2.6.1 Konsep Dasar SMCE .....	21
2.2.7 <i>Fuzzylogic</i> .....	23
2.2.7.1 Pengertian .....	23
2.2.7.2 Penerapan dalam SMCE .....	23
2.2.7.3 Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzylogic</i> dalam SMCE .....	24
2.2.8 Kondisi Geologi .....	28
2.2.8.1 Formasi Kalipucang (Tmk).....	28
2.2.8.2 Formasi Gabon.....	29
2.2.8.3 Andesit.....	29
2.2.8.4 Endapan Aluvial.....	30
2.2.9 Wawasan islam mengenai bencana gempa bumi .....	30
2.2.9.1. Pandangan islam terkait gempa bumi .....	30
2.2.9.2 Ayat yang menjelaskan tentang gempa bumi.....	31
BAB III .....	32
METODE PENELITIAN.....	32
3.1 Tempat dan Waktu penelitian .....	32
3.1.1 Tempat penelitian.....	32
3.1.2 Waktu penelitian .....	33
3.2 Alat dan Bahan.....	33
3.2.1 Alat Penelitian.....	33
3.2.1.1 Perangkat Keras.....	34
3.2.1.2 Perangkat Lunak.....	37
3.2.2 Bahan Penelitian.....	37
3.3 Prosedur Kerja .....	38
3.3.1 Studi Literatur .....	39
3.3.2 Observasi lapangan .....	39
3.3.3 Pembuatan Desain Survei.....	39
3.3.4 Akuisisi Data.....	40
3.4 Metode Analisis Data .....	40
3.4.1 Pengolahan Data sinyal Mikrotremor .....	40
3.4.2 Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik dan <b>VS30</b> .....	42
3.4.3 Perhitungan <i>Peak ground acceleration (PGA)</i> .....	44
3.4.4 Perhitungan <i>Ground Shear Strain (GSS)</i> .....	45
3.4.5 Perhitungan kemiringan lereng .....	46
3.4.6 Interpretasi <i>Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE) – Fuzzylogic</i> .....	47
BAB IV .....	49

HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1 Hasil Penelitian .....	49
4.1.1 Hasil Penentuan parameter kerentanan seismik .....	50
4.1.2 Hasil Zona Rawan Gempa Berdasarkan <i>Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE) Fuzzylogic</i> .....	55
4.2 Pembahasan.....	63
4.2.1 Analisis Parameter penentuan tingkat kerentanan seismik .....	63
4.2.2 Zona Rawan Gempa berdasarkan <i>Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE) Fuzzylogic</i> .....	75
4.2.3 Integrasi Interkoneksi.....	80
BAB V .....	82
KESIMPULAN DAN SARAN.....	82
4.1 Kesimpulan.....	82
DAFTAR PUSTAKA .....	84
LAMPIRAN.....	89



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1</b> Peta Kerawanan Gempa Jawa Tengah (BPBD, 2024).....	3
<b>Gambar 2. 1</b> Peta Geologi Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kebumen	28
<b>Gambar 3. 1</b> Peta Desain Survei Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kebumen	32
<b>Gambar 3. 2</b> Seismometer tipe LE-3DLite.....	34
<b>Gambar 3. 3</b> Digital Portable Seismograph merek Taurus.....	34
<b>Gambar 3. 4</b> <i>Global Positioning System (GPS)</i> .....	35
<b>Gambar 3. 5</b> <i>Accu (Baterai)</i> .....	35
<b>Gambar 3. 6</b> Satu Set Kabel Penghubung .....	36
<b>Gambar 3. 7</b> Laptop.....	36
<b>Gambar 3. 8</b> Diagram Alir Penelitian.....	38
<b>Gambar 3. 9</b> Sinyal Mikrotremor pada Software Sesaray Geopsy.....	41
<b>Gambar 3. 10</b> Kotak Tools H/V .....	41
<b>Gambar 3. 11</b> Kurva H/V .....	42
<b>Gambar 3. 12</b> Diagram Alir pengolahan Indeks Kerentanan Seismik dan $vs_{30}$ .	44
<b>Gambar 3. 13</b> Diagram Alir Pengolahan <i>Peak ground acceleration (PGA)</i> .....	45
<b>Gambar 3. 14</b> Diagram Alir Pengolahan <i>Ground Shear Strain (GSS)</i> .....	46
<b>Gambar 3. 15</b> Diagram Alir Pengolahan Kemiringan Lereng.....	47
<b>Gambar 3. 16</b> Diagram Alir Interpretasi <i>Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE) – Fuzzylogic</i> .....	48
<b>Gambar 4. 1</b> Peta Kontur nilai Indeks Kerentanan Seismik di wilayah penelitian	50
<b>Gambar 4. 2</b> Peta Kontur Persebaran Nilai $vs_{30}$ di wilayah penelitian.....	51
<b>Gambar 4. 3</b> Peta Kontur nilai <i>Peak ground acceleration (PGA)</i> di wilayah penelitian.....	52
<b>Gambar 4. 4</b> Peta Kontur nilai Ground Sheir Strain(GSS) di wilayah penelitian	53
<b>Gambar 4. 5</b> Peta Kontur nilai Kemiringan Lereng di wilayah penelitian.....	54
<b>Gambar 4. 6</b> Peta Kontur nilai <i>SMCE Fuzzylogic</i> di wilayah penelitian.....	55
<b>Gambar 4. 7</b> Kondisi Lapangan Validasi Titik Pengukuran di Andesit.....	56
<b>Gambar 4. 8</b> Dokumentasi Validasi Titik Pengukuran kawasan Formasi Kalipucang .....	57
<b>Gambar 4. 9</b> Lanjutan validasi titik pengukuiuran Kawasan formasi Gabon.....	58
<b>Gambar 4. 10</b> Dokumentasi Lapangan Titik Validasi Pengukuran kawasan Formasi Gabon.....	59
<b>Gambar 4. 11</b> Dokumentasi Validasi Lapangan Titik pengukuran kawasan Endapan Aluvial.....	60
<b>Gambar 4. 12</b> Lanjutan Dokumentasi Validasi lapangan Kawasan Endapan Aluvial.....	61
<b>Gambar 4. 13</b> Dokumentasi Validasi Lapangan Kemiringan lereng.....	62

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Relevansi Studi Pustaka .....	10
<b>Tabel 2. 2</b> Nilai $v_s$ untuk material .....	15
<b>Tabel 2. 3</b> Klasifikasi nilai Indeks Kerentanan Seismik.....	17
<b>Tabel 2. 4</b> Klasifikasi Situs $v_{s30}$ .....	16
<b>Tabel 2. 5</b> Klasifikasi nilai <i>Peak ground acceleration (PGA)</i> .....	17
<b>Tabel 2. 6</b> Klasifikasi nilai $v_{s30}$ .....	18
<b>Tabel 2. 7</b> <i>Klasifikasi nilai Ground Shear Strain (GSS)</i> .....	18
<b>Tabel 2. 8</b> Klasifikasi nilai Kemiringan Lereng .....	18
<b>Tabel 3. 2</b> Perangkat keras.....	33
<b>Tabel 3. 3</b> Perangkat Lunak.....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b>	Hasil Nilai Pengolahan Tiap Parameter.....	91
<b>Lampiran 2</b>	Hasil Nilai vs .....	92
<b>Lampiran 3</b>	Lanjutan vs.....	93
<b>Lampiran 4</b>	Lanjutan vs.....	94
<b>Lampiran 5</b>	Lanjutan Nilai vs.....	95
<b>Lampiran 6</b>	Lanjutan Nilai vs.....	96
<b>Lampiran 7</b>	Lanjutan Nilai vs.....	97
<b>Lampiran 8</b>	Lanjutan Nilai vs.....	98
<b>Lampiran 9</b>	Lanjutan Nilai vs.....	99
<b>Lampiran 10</b>	Gambar Pengolahan <i>SMCE fuzzylogic</i> .....	100
<b>Lampiran 11</b>	Gambar Pengolahan <i>SMCE fuzzylogic</i> .....	100
<b>Lampiran 12</b>	Gambar Pengolahan <i>SMCE Fuzzylogic</i> .....	101
<b>Lampiran 13</b>	Gambar Pengolahan <i>SMCE Fuzzylogic</i> .....	101
<b>Lampiran 14</b>	Gambar Pengolahan <i>SMCE Fuzzylogic</i> .....	102
<b>Lampiran 15</b>	Gambar Pengolahan <i>SMCE Fuzzylogic</i> .....	103
<b>Lampiran 16</b>	Gambar Pengolahan <i>SMCE Fuzzylogic</i> .....	104
<b>Lampiran 17</b>	Pengolahan <i>SMCE Fuzzylogic</i> .....	104
<b>Lampiran 18</b>	Gambar Fungsi keanggotaan <i>Fuzzylogic</i> .....	105
<b>Lampiran 19</b>	Lanjutan Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i> .....	106
<b>Lampiran 20</b>	Peta <i>Fuzzy Indeks Kerentanan Seismik</i> .....	107
<b>Lampiran 21</b>	Peta <i>Fuzzy vs30</i> .....	108
<b>Lampiran 22</b>	Peta <i>Fuzzy PGA</i> .....	108
<b>Lampiran 23</b>	Peta <i>Fuzzy GSS</i> .....	109
<b>Lampiran 24</b>	Peta <i>Fuzzy Kemiringan Lereng</i> .....	110
<b>Lampiran 25</b>	Gambar Dokumentasi Lapangan .....	111
<b>Lampiran 26</b>	Gambar Dokumentasi Lapangan .....	112
<b>Lampiran 27</b>	Gambar Dokumentasi Lapangan .....	113
<b>Lampiran 28</b>	Gambar Dokumentasi Validasi Lapangan Kemiringan Lereng..	114
<b>Lampiran 29</b>	Gambar Data Validasi Kemiringan Lereng .....	115
<b>Lampiran 30</b>	Peta Geologi Hasil Koreksi .....	115
<b>Lampiran 31</b>	Peta Geologi Lembar Banyumas .....	116

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

Indonesia termasuk wilayah yang sering dilanda gempa bumi karena memiliki struktur tektonik yang kompleks serta aktivitas seismik yang tinggi (Mahmudah dan Supardi, 2023). Indonesia juga terletak diantara *Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik) yang terbentang sejauh 40.000 Km (Utomo dan Purba, 2019). Berdasarkan kondisi geologis Indonesia hal itu yang menyebabkan sangat sering terjadi bencana alam di Indonesia seperti gempa bumi serta letusan gunung berapi (Fahrurrijal dkk., 2020).

Gempa bumi adalah guncangan pada permukaan bumi yang disebabkan oleh aktivitas tektonik seperti tumbukan antar lempeng, pergeseran sesar (patahan), aktivitas vulkanik (Cahyo dkk., 2023). Gempa bumi umumnya dipicu oleh berbagai aktivitas geologi, seperti pergerakan fluida di bawah permukaan, letusan gunung api, maupun pergeseran pada sesar aktif (Bustari dan Wibowo, 2023). Bencana ini bersifat merusak dan kejadiannya sesaat dalam waktu yang singkat. Proses terjadinya gempa bumi sulit untuk diamati secara langsung karena melibatkan interaksi yang kompleks antara energi dan material di dalam sistem sesar aktif yang berada di bawah permukaan bumi (Karakas dkk., 2023).

Gempa bumi berdampak besar terhadap berbagai aspek kehidupan. Dampak ini bisa bersifat jangka pendek maupun panjang, (BNPB, 2022; Badan Geologi, 2021). Gempa bumi dapat menimbulkan dampak serius berupa korban jiwa maupun

kerugian materi. Secara fisik, dampak yang ditimbulkan antara lain kerusakan atau robohnya bangunan, terjadinya tanah longsor akibat guncangan, keretakan pada permukaan tanah, putusnya jalur transportasi, rusaknya tanggul yang dapat memicu banjir, hingga potensi tsunami jika gempa terjadi di dasar laut. Selain dampak fisik, gempa bumi juga mempengaruhi kondisi sosial masyarakat. Bencana ini dapat menyebabkan meningkatnya angka kemiskinan, kelaparan, penyebaran penyakit, bahkan mengganggu stabilitas politik serta melumpuhkan sistem ekonomi apabila terjadi dalam skala yang besar (Simanjuntak dkk., 2025).

Sebagaimana dijelaskan dalam Al-Qur'an Surah Az-Zalzalah ayat 1 – 2 , yang berbunyi :

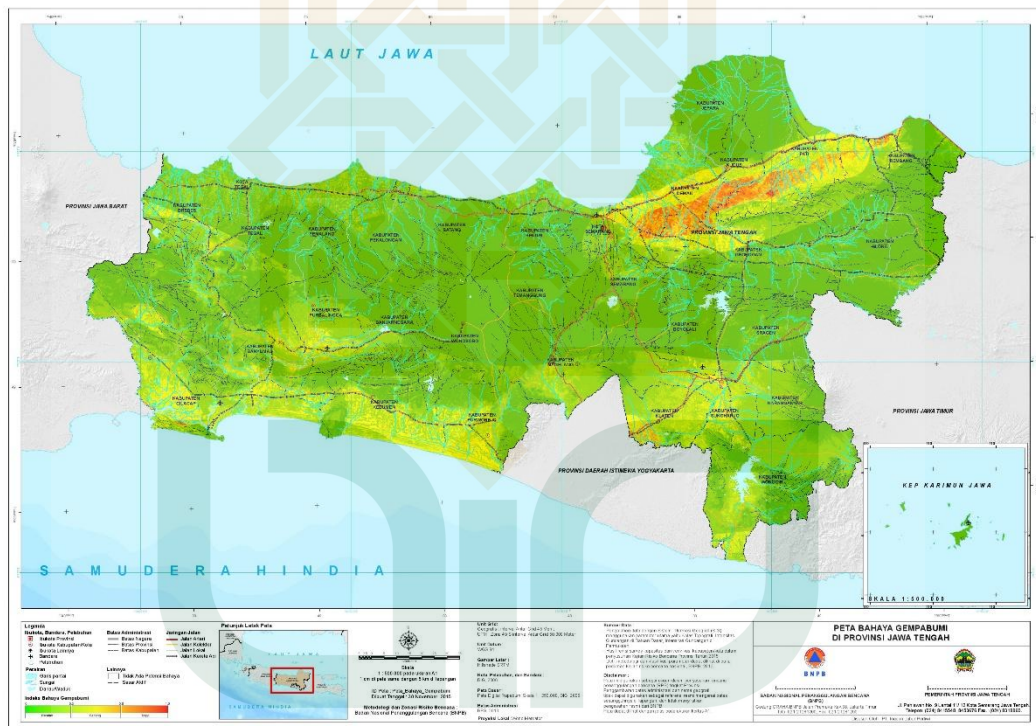
إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زُلْزَالَهَا ۝ ١ وَأَخْرَجَتِ الْأَرْضُ أَثْقَالَهَا ۝ ٢

Artinya "*Apabila bumi diguncangkan dengan guncangan yang dahsyat, dan bumi mengeluarkan isi perutnya*".

Ayat di atas menggambarkan bahwa gempa bumi adalah bagian dari kehendak dan kekuasaan Allah SWT. Ayat ini tidak hanya menekankan aspek fisik dari bencana alam, tetapi juga mengandung pesan spiritual sebagai peringatan bagi manusia. Oleh karena itu, analisis dan pemetaan zona rawan gempa tidak hanya menjadi langkah ilmiah, tetapi juga merupakan bagian dari ikhtiar dalam memahami sunatullah, serta bentuk tanggung jawab dalam menjaga kehidupan dan lingkungan (Kementerian Agama RI, 2019).

Berdasarkan data yang diperoleh BMKG Wilayah Jawa tengah mencatat sebanyak 693 gempa bumi sepanjang tahun 2024 dan 375 gempa sepanjang 2025 . Dari data BMKG tersebut menunjukkan bahwa wilayah Jawa tengah mengalami tingkat aktivitas seismik yang tinggi. Berbagai studi yang berfokus pada bencana

alam dengan pendekatan data mining dan data science telah dilakukan. Berdasarkan hasil analisis pengelompokan data menggunakan metode k-means, diperoleh temuan bahwa Provinsi Jawa Tengah dan Provinsi Jawa Barat merupakan dua wilayah di Pulau Jawa dengan tingkat kerawanan gempa bumi yang paling tinggi (Wahyu dan Rushendra, 2022).



**Gambar 1. 1** Peta Kerawanan Gempa Jawa Tengah (BPBD, 2024)

Menurut peta kerawanan gempa nasional pada gambar 1.1 wilayah Kebumen digolongkan dalam zona dengan tingkat bahaya rendah hingga sedang dan wilayah Kebumen juga berada dekat dengan zona subduksi yang berada di pantai selatan. Namun, secara historis kejadian wilayah ini pernah diguncang gempa kuat pada 25 Januari 2014 dengan magnitudo 6,5 SR, kedalaman sekitar 48 km, dan pusat gempa berada sekitar 104 km barat daya Kebumen. Peristiwa tersebut mengakibatkan kerusakan ratusan rumah dan guncangannya terasa hingga ke wilayah Jakarta dan

Banyumas (BMKG, 2014). Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa klasifikasi kerawanan dalam peta bersifat umum pada skala regional, sedangkan dampak aktual di lapangan sangat dipengaruhi oleh faktor lokal seperti jenis tanah, dan kondisi geologi. Oleh karena itu, meskipun peta resmi menampilkan tingkat kerawanan rendah, pengalaman empiris di Kebumen membuktikan adanya potensi kerusakan bangunan yang signifikan akibat aktivitas seismik.

Gempa bumi termasuk dalam kategori bencana geologi yang muncul secara mendadak dan memiliki tingkat ketidakpastian yang tinggi, baik terkait waktu terjadinya maupun besarnya magnitudo. Dalam menghadapi bencana seperti ini, penting bagi masyarakat Indonesia untuk memiliki kesadaran serta pengetahuan dan keterampilan yang memadai terkait upaya mitigasi bencana. Namun, sebagian besar masyarakat masih kurang memahami faktor-faktor penyebab bencana serta langkah-langkah penanganan yang tepat saat bencana terjadi pada bencana gempa bumi, selain faktor sumber gempa (magnitudo, kedalaman, mekanisme patahan), kondisi geologis wilayah setempat sangat mempengaruhi tingkat kerusakan dan kerawanan (Aviedo Murel dkk., 2024).

Oleh karena itu, upaya mitigasi yang efektif, diperlukan pemahaman yang mendalam mengenai faktor-faktor teknis yang menentukan tingkat kerawanan suatu wilayah terhadap gempa bumi. Salah satu langkah penting adalah mengidentifikasi dan menganalisis parameter-parameter yang digunakan dalam penentuan zona rawan gempa.

Ada beberapa parameter penentuan dalam pemetaan zona rawan gempa di wilayah tertentu yaitu Parameter seismologi, parameter geologi, parameter

geofisika, parameter sosial dan spasial, kemiringan lereng dan parameter kekuatan gempa (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 21, 2007).

Parameter seismologi mencakup nilai magnitudo, frekuensi, kedalaman dan pusat gempa. Parameter geologi mencakup struktur batuan wilayah setempat sifat fisik batuan, sesar atau patahan yang terdapat di wilayah setempat. Parameter geofisika pengukuran menggunakan metode geofisika seperti Frekuensi dominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik,  $v_{s30}$  (kecepatan gelombang geser). Parameter sosial dan spasial mencakup kepadatan penduduk. Kemiringan lereng dapat memberikan gambaran tingkat stabilitas terhadap kemungkinan terjadinya longsor atau runtuh tanah dan batuan, terutama pada saat terjadi kawasan rawan gempa bumi. Parameter kekuatan gempa seperti intensitas gempa (MMI) (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 21, 2007).

Beberapa parameter di atas dapat ditentukan menggunakan metode geofisika salah satunya yaitu metode mikrotremor. Metode mikrotremor ini bisa menghasilkan beberapa parameter seperti frekuensi dominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik, ( $V_{s30}$ ) kecepatan gelombang geser, dan *Peak ground acceleration (PGA)*, *Ground Shear Strain (GSS)* (Rudin dan Safani, 2024).

Metode mikrotremor merupakan metode pengambilan data berupa getaran yang bersumber dari bawah permukaan bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia atau alami. Data tersebut kemudian diolah dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)*. Nilai dari kurva *HVSr* akan dimanfaatkan dalam metode inversi atau yang lebih dikenal dengan metode *ellipticity curve*. Metode ini digunakan untuk mencari nilai kerentanan seismik,

kecepatan gelombang geser ( $V_s$ )(Silitonga, 2022).

Penelitian mengenai pemetaan analisis zona rawan gempa yang telah dilakukan (Afsari dkk., 2023) menggunakan jaringan syaraf tiruan untuk melihat kerentanan di kawasan perkotaan, kemudian (Barua dkk., 2023) menekankan pentingnya pendekatan multi-kriteria dalam memetakan sensitivitas resiko gempa. Berdasarkan data GIS dan metode AHP, penelitian ini berhasil menghasilkan zonasi tingkat kerawanan yang dapat menjadi dasar bagi perencanaan tata ruang yang lebih aman dari bencana.(Mohammadi dkk., 2024) melakukan penelitian sistem fuzzy yang dikombinasikan dengan data satelit dan GIS untuk menangani ketidakpastian dalam analisis. Selanjutnya penelitian (Gohil dkk., 2024) yang menekankan integrasi *fuzzylogic* dengan data geospasial, serta (Vahid Razavi-Termeh dkk., 2025) yang mengoptimalkan metode pembelajaran mesin untuk meningkatkan ketepatan pemetaan.

Berdasarkan beberapa penelitian serupa yang dilakukan sebelumnya belum terdapat penelitian yang spesifik mengenai pemetaan analisis zona rawan gempa dengan pendekatan *Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE)* berbasis *Fuzzylogic* di Desa Watukelir kecamatan ayah Kebumen. Wilayah kebumen juga berdekatan dengan zona subduksi yang berada di pantai selatan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dengan menggabungkan beberapa parameter untuk pemetaan analisis zona rawan gempa yang bersifat spasial dan memiliki tingkat ketidakpastian yang tinggi(Syahputri dan Sismanto, 2020).

Pendekatan *Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE)* yang dikombinasikan dengan *fuzzylogic* untuk melakukan pemetaan zona rawan gempa. Metode SMCE

menyediakan struktur analisis berbasis kriteria dan sistem pembobotan yang memungkinkan integrasi berbagai parameter spasial secara sistematis (Meena dkk., 2019). Di sisi lain, *fuzzylogic* berperan penting dalam menangani ketidakpastian dan ambiguitas data, khususnya dalam pengambilan keputusan berbasis variabel yang tidak pasti atau bersifat linguistik (Masoumi dkk., 2025).

Integrasi kedua metode ini memberikan keunggulan dalam menghasilkan pemetaan resiko yang lebih realistis dan adaptif terhadap kondisi lapangan. Kombinasi SMCE dan *fuzzylogic* dapat meningkatkan akurasi hasil pemodelan serta mendukung perumusan strategi mitigasi bencana yang lebih aplikatif, terutama dalam konteks kebijakan tata ruang berbasis risiko (Feizizadeh dkk., 2014).

Oleh karena itu, Pendekatan ini memungkinkan setiap parameter, baik seismologi, geologi, geofisika, maupun sosial-spasial, diberikan bobot dan nilai keanggotaan fuzzy yang merepresentasikan tingkat kontribusinya terhadap potensi kerawanan secara lebih efektif (Syahputri dan Sismanto, 2020). Hasil penelitian diharapkan tidak hanya berkontribusi pada pemetaan geologi regional, tetapi juga menjadi dasar pengetahuan untuk mitigasi bencana wilayah penelitian.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian yang berjudul “Analisis Zona Rawan Gempa Menggunakan Data Mikrotremor Berdasarkan Pendekatan *Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE) Fuzzylogic* Di Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kebumen” sebagai berikut:

- a. Bagaimana menentukan Indeks Kerentanan Seismik, kecepatan

gelombang geser ( $V_{S30}$ ), PGA, GSS, kemiringan lereng, kondisi geologi pada struktur bawah permukaan di Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kabupaten Kebumen.

- b. Bagaimana menganalisis zona rawan gempa menggunakan data Mikrotremor berdasarkan pendekatan *Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE)-Fuzzylogic* di Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kabupaten Kebumen.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian yang berjudul “Analisis Zona Rawan Gempa Menggunakan Data Mikrotremor Berdasarkan Pendekatan *Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE)-Fuzzylogic* Di Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kebumen” sebagai berikut:

- a. Menentukan Indeks Kerentanan Seismik, kecepatan gelombang geser ( $V_{S30}$ ), PGA, GSS, kemiringan lereng, kondisi geologi pada struktur bawah permukaan di Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kabupaten Kebumen.
- b. Menganalisis Zona Rawan Gempa Menggunakan Data Mikrotremor Berdasarkan Pendekatan *Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE)-Fuzzylogic* di Desa Watukelir Kecamatan Ayah Kabupaten Kebumen.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian menggunakan pendekatan *spasial multi criteria Evaluation (SMCE)* dan *Fuzzy-logic*
2. Parameter yang digunakan berupa Indeks Kerentanan Seismik, kecepatan

gelombang geser ( $V_{s30}$ ), PGA puskim , GSS, kemiringan lereng, kondisi geologi. Data sekunder yang digunakan yaitu Nilai PGA *Bedrock*, Peta geologi, data Topografi, DEM (*Digital Elevation Model*).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Sebagai kontribusi keilmuan dalam bidang kebencanaan dan geospasial.
2. Memberikan informasi kerawanan gempa yang dapat dimanfaatkan untuk mitigasi bencana di wilayah penelitian.
3. Memberikan informasi terkait rekomendasi tata ruang yang lebih aman terhadap potensi gempa bumi.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis data yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai yang diperoleh dari penelitian ini yaitu indeks kerentanan seismik dengan rentang nilai 0,09 s.d 62,74, Kecepatan gelombang geser rata-rata di kedalaman 30 meter ( $V_{S30}$ ) memiliki rentang nilai 192,42 m/s s.d 1403,63 m/s, *Peak ground Acceleration (PGA)* dengan rentang nilai 0,393 g s.d 0,440 g, *Ground shear strain (GSS)* dengan rentang nilai  $3,6 \times 10^{-5}$  s.d  $2,4 \times 10^{-2}$  dan kemiringan lereng dengan rentang nilai  $0,05^\circ$  s.d  $45,59^\circ$ .
2. Daerah penelitian memiliki tingkatan kerawanan gempa yang berbeda-beda yang diklasifikasikan menjadi 5 zona kerawanan gempa. Zona yang memiliki kerawanan rendah hingga sedang yang berada di formasi gabon dan andesit, formasi kalipucang, serta kerawanan tinggi hingga sangat tinggi berada di Endapan Aluvial. wilayah dengan tingkat kerawanan tinggi direkomendasikan untuk menjadi prioritas dalam upaya mitigasi gempabumi. Rekomendasi yang dapat diterapkan meliputi pengendalian pemanfaatan ruang, pembatasan pembangunan infrastruktur vital, serta penerapan standar bangunan tahan gempa.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, masih terdapat sejumlah keterbatasan yang menjadi bahan evaluasi. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan penyempurnaan dan pengembangan lebih lanjut diantaranya :

1. Diperlukan penelitian lanjutan yang lebih komprehensif untuk memetakan keberadaan struktur sesar lokal di kawasan penelitian guna melengkapi peta mikrozonasi seismik, sehingga berkorelasi antara patahan aktif dengan hasil zona rawan gempa pada penelitian ini.
2. Mitigasi dan Penataan Ruang, Pemerintah daerah dan masyarakat disarankan untuk mempertimbangkan hasil zonasi ini dalam perencanaan pembangunan infrastruktur. Khusus untuk wilayah dengan formasi Alluvium yang memiliki kerentanan tinggi, disarankan penerapan standar konstruksi bangunan tahan gempa yang lebih ketat.
3. Edukasi Masyarakat, Perlu adanya sosialisasi kepada masyarakat mengenai peta kerawanan ini, terutama bagi penduduk yang bermukim di zona tinggi sebagai upaya kesiapsiagaan dini terhadap potensi bencana seismik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afsari, R., Shorabeh, N. S., Lomer, B., Homae, A. R., M., dan Arsanjani, J. J. 2023. Using Artificial Neural Networks to Assess Earthquake Vulnerability in Urban Blocks of Tehran. *Remote Sensing*, **Vol.15 No.5 Februari 2023** : 143 - 146.
- Ansori, C. I. W. F. A. 2019. Tipe Magmatik Batuan Beku Formasi Gabon di Tinggian Karangbolong, Kebumen. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, **Vol.20 No.2 April 2019** : 63–74.
- Arroyo-Solórzano, M., Quesada-Román, A., dan Barrantes-Castillo, G. 2022. Seismic and geomorphic assessment for coseismic landslides zonation in tropical volcanic contexts. *Natural Hazards*, **Vol.114 No.3 Februari 2022** : 2811–2837.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2016. Disasters Risk of Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Science*.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2019. Standar Nasional Indonesia SNI 1726:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung*.
- Barua, U., Ansary, M. A., Islam, I., Munawar, H. S., dan Mojtahedi, M 2023. Multi-Criteria Earthquake Risk Sensitivity Mapping at the Local Level for Sustainable Risk-Sensitive Land Use Planning (RSLUP). *Sustainability (Switzerland)*, **Vol.15 No.9 Mei 2023** : 1-24
- Bergmann, M. 2012. *An Introduction to Many-Valued and Fuzzy Logic: Semantics, Algebras, and Derivation Systems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bustari, A. A., dan Wibowo, N. B. 2023a. Pemetaan sebaran nilai  $v_{s30}$ , faktor amplifikasi tanah, dan peak ground acceleration wilayah Bantul timur. *Cakrawala Jurnal Ilmiah Bidang Sains*, **Vol.1 No.2 Januari 2023** : 73 - 80
- Burger, H. R. 1992. *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Cahyo, F. D., Ihsan, F., Roulita, R., Wijayanti, N., dan Mirwanti, R. 2023. Kesiapsiagaan Bencana Gempa Bumi Dalam Keperawatan: Tinjauan Penelitian. *JPP (Jurnal Kesehatan Poltekkes Palembang)*, **Vol.18 No.1 Juni 2023** : 87–94.
- Cipta, A., Afif, H., Pradipto, A., M. J., Omang, A., dan Solikhin, A. 2023. Optimizing *HVSR* Curves, Slope and Geologic Information for  $v_{s30}$  and

Seismic Vulnerability Zoning in Likupang. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, **Vol.14 No.1 April 2023** : 1-8

- Derras, B., Bard, P. Y., dan Cotton, F. 2017. vs30, slope, H800 and f0: Performance of various site-condition proxies in reducing ground-motion aleatory variability and predicting nonlinear site response 4. *Seismology. Earth, Planets and Space*, **Vol.69 No.1 September 2017** : 1 - 21
- Fahrurijal, R., Tohari, A., dan Muttaqien, I. 2020. Mikrozonasi Seismik Di Wilayah Ancaman Sesar Lembang Antara Seksi Cihideung Dan Gunung Batu Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. *RISSET Geologi Dan Pertambangan*, **Vol.30 No.1 Juni 2020** : 81-92
- Feizizadeh, B., Shadman Roodposhti, M., Jankowski, P., dan Blaschke, T. 2014. A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Computers and Geosciences*, **Vol.73 No.6 Oktober 2014** : 208–221.
- Gemintang, K. N., Hanatha, F. D., Indriatmoko, T. W., Qurrotu'aeni, W. S., Azis, B. N. L., dan Hamdalah, H. 2022. Identifikasi Zona Rawan Amblesan Berdasarkan Parameter *HVSR* Dan Ground Shear Strain Di Daerah Gua Pindul. *Jurnal Geosaintek*, **Vol.8 No.3 Desember 2022** : 232 - 241
- Gohil, M., Mehta, D., dan Shaikh, M. 2024. An integration of geospatial and fuzzy-logic techniques for multi-hazard mapping. *Results in Engineering*, **Vol. 21 No.23 Januari 2024** : 1 - 22
- Sugianto, S., Farid, M., dan Suhendra 2017. *Kondisi Geologi Lokal Kota Bengkulu*. *Spektra Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, **Vol.2 No. 1 April 2017** : 29–36.
- Gunawan, A., dan Khadiyanto, P. 2012. Kajian Aspek Bentuk Lahan dan Geologi Berdasarkan Mikrotremor dalam Perencanaan Ruang Kawasan Rawan Gempa di Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta (Studi Kasus: Kecamatan Bantul, Jetis, Imogiri, dan Kretek). *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, **Vol.8 No.2 April 2012** : 178 - 190
- Hadi, A. I., Brotopuspito, K. S., Pramumijoyo, S., dan Hardiyatmo, H. C. 2018. Regional landslide potential mapping in earthquake-prone areas of kepahiang regency, Bengkulu Province, Indonesia. *Geosciences (Switzerland)*, **Vol.8 No.6 Juni 2018** : 1-16.
- Indrastuti, N., dan Suwanto, B. 2007. Mikrozonasi daerah Yogyakarta berdasarkan data mikrotremor pasca gempa 27 Mei 2006. *Jurnal Geofisika Indonesia*, **vol. 6 No. 2 Januari 2026** : 89–98.
- Karakas, G., Kocaman, S., dan Gokceoglu, C. 2023. A Hybrid Multi-Hazard Susceptibility Assessment Model for a Basin in Elazig Province, Türkiye.

*International Journal of Disaster Risk Science*, **Vol.14 No.2 Maret 2023** : 326–341.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2025. *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman (PUSKIM). Diakses pada 20 November 2025, dari <https://puskim.pu.go.id>

Kurniawan, C. W., Yatini, Y., dan Pramono, S. 2023. Application of *Ground Shear Strain (GSS)* for Mapping Liquefaction Potential in Palu, Central Sulawesi, Indonesia. *International Journal of Scientific and Research Publications*, **Vol.13 No.2 Februari 2023**: 64–71.

Liu, C. W., & Kang, S. C. 2014. A video-enabled dynamic site planner. *Computing in Civil and Building Engineering - Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, **Vol.353 No.6 November 2014** : 1562–1569.

Murel, M. A., Saputra, M. F. Y., Kristian, E., Micelle, F. A., dan Kristianti, N. 2024. Analisis Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Di Aceh, Yogyakarta, Dan Sulawesi Tengah Menggunakan Metode Polygon Pada Aplikasi Qgis. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, **Vol.8 No.3 Juni 2024**: 4194–4199.

Malczewski, J. 2006. *GIS-based multicriteria decision analysis*: John Wiley and Sons, New York.

Masoumi, I., Maggio, S., dan De Iaco, S. 2025. An Advanced Spatial Approach Based on Multi-criteria Analysis and Geostatistical Simulation for a Comprehensive Geogenic Radon Hazard Index Mapping. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, **Vol.30 No.2 Agustus 2025** : 334–362.

Meena, S. R., Mishra, B. K., dan Piralilou, S. T. 2019. A hybrid spatial multi-criteria evaluation method for mapping landslide susceptible areas in Kullu valley, Himalayas. *Geosciences (Switzerland)*, **Vol.9 No.4 April 2019** : 1-18

Mohammadi, S., Balouei, F., Amini, S., & Rabiei-Dastjerdi, H. 2024. Beyond the richter scale: a fuzzy inference system approach for measuring objective earthquake risk. *Natural Hazards*, **Vol.121 No. 8 Juli 2024** : 245–268.

Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta

Departemen Pekerjaan Umum. 2007. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 21/PRT/M/2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Letusan*

*Gunung Berapi dan Kawasan Rawan Gempa Bumi*. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Penataan Ruang, Jakarta.

- Rahim, A., Hermansyah, A., Aziz Samudra, A., & Satispi, E. (2023). *Bencana Gempa Bumi di Cianjur Zainal Muksin, Mitigasi*. **Vol.6 No.4 April 2023** : 2486–2490.
- Risa, I. N., Maison, M., dan Dewi, I. K. 2022. Analisis Kerentanan Tanah Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Di Desa Jati Mulyo, Tanjung Jabung Timur. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, **Vol.9 No.1 Desember 2022** : 18–31.
- Rudin, dan Safani, J. 2024. Interpretation of Microtremor Data Through Analysis Horizontal to Vertical Spectral Ratio (*HVSR*) for Microzonation of Seismic Earthquake Hazards in Baubau City. *Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia*, **Vol.6 No.02 Agustus 2024** : 147–162.
- Mahmudah, A., dan Supardi, Z. A. I. 2023. Analisis Parameter Kegempaan (Nilai-A Dan Nilai-B) Di Wilayah Busur Banda. *Jurnal Riset Rumpun Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, **Vol.2 No.1 Mei 2023** : 254–262.
- Silitonga, B. 2022. Pengukuran Seismik Dengan Metode *HVSR* Untuk Pendugaan Bencana Gempa Bumi. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, **Vol.5 No.2 September 2022**: 103–111.
- Simanjuntak, E. Y., Aryani, N., dan Sipayung, N. P. 2025. Edukasi Tanggap Bencana : Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi Pada Anak Sekolah Dasar. *Journal Abdimas Mutiara*, **Vol.6 No.1 Februari 2025** : 268–275.
- Syahputri, A., dan Sismanto, S. 2020. Identifikasi Potensi Tanah Longsor Menggunakan Metode Mikrotremor Di Dusun Tegalsari Desa Ngargosari Kecamatan Samigaluh Kabupaten Kulon Progo. *Jurnal Fisika Indonesia*, **Vol.24 No.2 Agustus 2020** : 66 -71
- Utomo, D. P., dan Purba, B. 2019. Penerapan Datamining pada Data Gempa Bumi Terhadap Potensi Tsunami di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Riset Information Science (SENARIS)*, **Vol.1 No.1 September 2019** : 846 - 853
- Vahid Razavi-Termeh, S., Sadeghi-Niaraki, A., Ali, F., Pradhan, B., dan Choi, S.-M. 2025. *Optimizing ensemble learning for satellite-based multi-hazard monitoring and susceptibility assessment: Landslide, Land subsidence, Flood, and Wildfire*, **Vol.15 No.1 Agustus 2025** : 1–27.
- Wahyu, A., dan Rushendra, R. 2022. Klasterisasi Dampak Bencana Gempa Bumi Menggunakan Algoritma K-Means di Pulau Jawa. *Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, **Vol.8 No.1 April 2022** : 174 - 179
- Windiyaniti, A. C., Karyanto, Rustadi, dan Rudianto. 2017. Analisis Zona Rawan

Gempabumi Daerah Lampung Berdasarkan Nilai Percepatan Tanah Maksimum (*PGA*) Dan Data Accelererograph Tahun 2008-2017. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, **Vol.3 No.2 April 2017** : 17–27.

Widyawarman, D., Sismanto, dan Purnama, A. Y. 2024. Mapping earthquake vulnerable areas based on microtremor measurements near Kebumen City. *Malaysian Journal of Science*, **Vol. 43 No. 4 Desember 2024** : 38–43

Winter, J. D. 2001. *Igneous and Metamorphic Petrology(1st edition)*.Prentice Hall : Upper Saddle River, New Jersey, USA

