

## PEMETAAN RAWAN BENCANA GEMPABUMI DI SEPANJANG SESAR LASEM BERDASARKAN NILAI PGA

Dini Vemirantih<sup>1\*</sup>, Yohana Nooradika Maharani<sup>2</sup>, Sorja Koesuma<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, Jl. Wates Km. 8, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Magister Manajemen Bencana, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

<sup>3</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

\*email: [yohanam@upnyk.ac.id](mailto:yohanam@upnyk.ac.id)

Diterima: 18 Juli 2025

Direvisi: 24 Oktober 2025

Dipublikasikan: 25 Oktober 2025

### ABSTRACT

*The region traversed by the Lasem Fault has a high potential for earthquake disasters, although no major recurring events have occurred to date. This condition makes the area particularly interesting for study, especially due to the limited amount of research and mitigation efforts based on quantitative data. This study aims to identify and map the seismic hazard levels around the Lasem Fault using the Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) approach, which has been widely implemented in earthquake risk assessments for its ability to provide deterministic estimates of Peak Ground Acceleration (PGA). PGA values are calculated at several points based on relevant earthquake source parameters and local site characteristics. The analysis results show a variation of PGA values, which are classified into several seismic hazard levels and then mapped to provide a visual representation of risk distribution. The results of the analysis are then mapped using QGIS and further processed with the InaSAFE plugin to identify public facilities located in vulnerable zones. This study recommends further investigation into the structural response of buildings to the predicted maximum ground shaking, as well as the integration of the findings into spatial planning policies, earthquake-resistant building design, and other mitigation efforts. The outcomes are expected to serve as a basis for informed decision-making in disaster risk reduction in areas affected by the Lasem Fault.*

**Keywords:** DSHA; Earthquake; InaSAFE; Lasem Fault; Peak Ground Acceleration

### ABSTRAK

*Wilayah yang dilalui Sesar Lasem memiliki potensi tinggi terhadap bencana gempabumi, meskipun hingga saat ini belum terjadi kejadian besar yang berulang. Kondisi ini menjadikan wilayah tersebut menarik untuk dikaji, terlebih karena minimnya penelitian dan mitigasi yang berbasis data kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memetakan tingkat bahaya seismik di sekitar Sesar Lasem menggunakan pendekatan Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) yang secara luas telah diimplementasikan dalam analisis risiko gempa karena kemampuannya dalam memberikan estimasi nilai Peak Ground Acceleration (PGA) secara deterministik. Nilai PGA dihitung pada sejumlah titik berdasarkan parameter sumber gempa yang relevan dan karakteristik lokal. Hasil analisis menunjukkan variasi nilai PGA yang dikelompokkan ke dalam beberapa klasifikasi tingkat bahaya seismik, yang kemudian dipetakan untuk memberikan gambaran visual terhadap sebaran risiko. Hasil analisis kemudian dipetakan menggunakan QGIS dan diolah lebih lanjut dengan plugin InaSAFE untuk mengidentifikasi fasilitas umum yang berada di zona rawan. Penelitian ini merekomendasikan perlunya pengkajian lebih lanjut terhadap respons struktur bangunan terhadap guncangan maksimum yang diprediksi, serta integrasi data hasil kajian ke dalam kebijakan tata ruang, desain bangunan tahan gempa, dan upaya mitigasi lainnya. Hasil ini diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan dalam pengurangan risiko bencana di wilayah yang dilintasi oleh Sesar Lasem.*

**Kata kunci:** DSHA, Gempabumi, InaSAFE, PGA, Sesar Lasem

## A. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan gempa yang tinggi karena letaknya berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik, yang terus bergerak dan berinteraksi secara aktif (Naryanto dan Wisyanto 2005). Pulau Jawa, khususnya, berada di zona tepi aktif dari interaksi lempeng tersebut, sehingga kerap mengalami aktivitas seismik dengan intensitas yang signifikan, bahkan dapat mencapai maksimum VIII pada skala Modified Mercalli Intensity (MMI) dengan contoh kejadian gempa di Tasikmalaya pada tanggal 2 September 2009 dengan magnitudo 7,3 yang di keluarkan BMKG, gempa Yogyakarta pada tanggal 27 Mei 2006 dengan magnitudo 6,3 dan Gempa di Malang pada tanggal 10 April 2021 dengan magnitudo 6,1 sumber katalog gempabumi signifikan dan merusak 1821-2018. Pusat Gempabumi dan Tsunami BMKG. Kondisi ini menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki potensi bencana gempa bumi yang besar, baik dilihat dari aspek seismotektonik maupun dari nilai kuantitatif potensi bahayanya. Meskipun demikian, beberapa segmen aktif seperti Sesar Lasem masih belum banyak mendapatkan perhatian dalam penelitian.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengindikasikan aktivitas tektonik yang cukup aktif di sekitar Sesar Lasem dan Pati. Tercatat adanya gempa besar pada tahun 1880 yang diduga berasosiasi dengan sesar ini. (McBirney et al. 2003). Kajian dari Pusat Studi Gempa Nasional (PusGen) mengungkapkan bahwa Sesar Lasem merupakan sesar naik dengan potensi magnitudo hingga M6,5. Penelitian Global Positioning System (GPS) oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) juga menunjukkan pergeseran signifikan di wilayah Sesar Pati, yang memperkuat dugaan adanya deformasi aktif di wilayah tersebut (Sulaeman et al. 2020), (SNI 03-7015-2004 BSN, 2004). Meskipun demikian, kajian kuantitatif terkait bahaya seismik dan pemetaan risiko masih terbatas.

Beberapa pendekatan telah digunakan untuk menganalisis potensi bahaya gempa di Indonesia, termasuk metode mikrotremor, pemetaan Peak Ground Acceleration (PGA), dan model prediksi intensitas. Studi di Mataram dan Bantul menunjukkan bahwa kombinasi data mikrotremor, nilai Vs30, dan pendekatan Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) dapat memberikan gambaran spasial terhadap bahaya seismik dan eksposur terhadap bangunan serta populasi (Koesuma et al. 2024). Teknik ini juga memungkinkan untuk menghitung percepatan tanah maksimum (Al Ayubi et al. 2020), (Sunardi 2013) dan mengintegrasikan data dengan pemodelan risiko seperti InaSAFE.

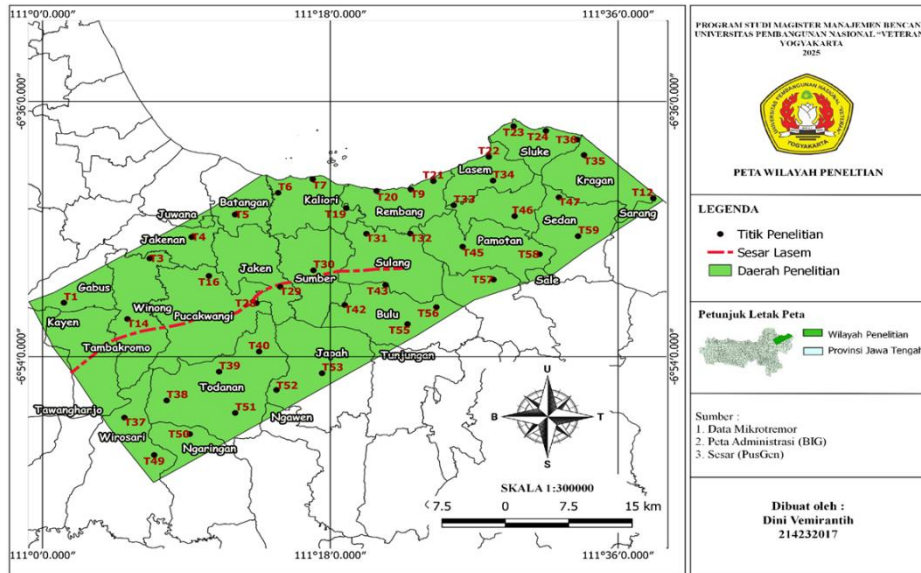
Pentingnya penilaian bahaya seismik juga tercermin dari kajian di wilayah lain seperti Yogyakarta dan Jawa Tengah yang menggunakan berbagai parameter seperti PGA, Vs30, dan Ground Amplification Factor (GAF), intensitas guncangan permukaan, serta indeks bahaya gempa bumi (Janah et al. 2022). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa area di sekitar sesar aktif umumnya memiliki nilai PGA dan intensitas guncangan tinggi, sehingga memerlukan pendekatan mitigasi berbasis data. Selain itu, studi geologi lingkungan juga menunjukkan bahwa zonasi kerentanan berdasarkan komponen geologi lokal dapat mendukung upaya mitigasi secara lebih terarah.

Mengingat dampak gempabumi yang besar terhadap infrastruktur dan kehidupan masyarakat (Elnashai dan Di Sarno (2008)), maka penilaian risiko seismik tidak hanya penting untuk mengurangi kerugian fisik dan ekonomi, tetapi juga untuk mendukung perencanaan tata ruang dan pembangunan berkelanjutan. Penelitian yang mengadaptasi metode DSHA dapat memberikan pendekatan yang lebih objektif dan deterministik dalam memprediksi tingkat bahaya seismik, khususnya melalui estimasi nilai PGA berdasarkan skenario sumber gempa yang relevan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memetakan potensi bahaya seismik di sekitar Sesar Lasem menggunakan metode DSHA. Tantangan utama dalam penelitian ini adalah terbatasnya data kejadian gempa merusak di masa lalu. Oleh karena itu, referensi gempa digunakan dari katalog resmi PusGen. Hasil yang diharapkan berupa nilai PGA yang diklasifikasikan ke dalam zona bahaya, yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung kebijakan mitigasi dan pengurangan risiko bencana gempa bumi di wilayah tersebut.

## **B. METODE PENELITIAN**

Penelitian lapangan bertujuan untuk mendapatkan data mikrosesimik di wilayah sepanjang sesar lasem yang dapat dilihat pada gambar 1, selain itu bertujuan untuk mengetahui data kondisi bangunan, pemukiman dan data kondisi geologi yang secara umum sebagai data penunjang dalam menentukan analisis zona Tingkat kerawanan kegempaan, dan menghitung berapa banyak bangunan fasilitas umum pada setiap kecamatan yang terpapar atau berada pada zona kerawanan jika terjadi gempabumi di sepanjang sesar lasem pada wilayah tersebut.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Penelitian di sepanjang sesar Lasem

Penelitian ini menggunakan data mikrotremor dari 45 titik pengukuran. Data direkam menggunakan Seismograf Portabel lunitex dan dianalisis menggunakan metode HVSR. Hasil HVSR digunakan untuk inversi dengan perangkat lunak OpenHVSR untuk mendapatkan nilai  $V_{s30}$ . Nilai PGA dihitung menggunakan metode DSHA melalui perangkat lunak OpenQuake, dengan skenario gempa maksimum dari PusGen. Horizontal to vertical spectral ratio (HVSR)

Data mikrotremor direkam dalam format (\*.seed) dan kemudian dianalisis menggunakan metode Perbandingan Spektral Horizontal terhadap Vertikal (HVSR). Frekuensi sampling yang digunakan adalah 100 Hz, dengan rentang frekuensi antara 0,5–15 Hz dan panjang jendela waktu 25 detik. Kurva H/V yang dihasilkan dari pemrosesan ini menggambarkan frekuensi dominan dan faktor amplifikasi pada setiap titik pengukuran. Untuk mengevaluasi kurva H/V yang dihasilkan, digunakan kriteria keandalan yang disediakan oleh SESAME

#### Inversi Kurva HVSR

Kurva H/V yang diperoleh dari hasil pemrosesan kemudian dilakukan proses inversi menggunakan perangkat lunak OpenHVSR, untuk memperoleh nilai kecepatan gelombang geser. Langkah pertama dalam proses inversi adalah menyiapkan data masukan, yang terdiri atas kurva H/V dalam format (\*.txt) dan data parameter model awal, termasuk kecepatan gelombang primer ( $V_p$ ), kecepatan gelombang sekunder ( $V_s$ ), densitas lapisan ( $\rho$ ), dan ketebalan lapisan ( $h$ ).

Di mana  $N$  adalah jumlah lapisan hingga kedalaman 30 meter,  $h_i$  adalah ketebalan masing-masing lapisan (m),  $V_{si}$  adalah kecepatan gelombang geser pada lapisan ke- $i$  (m). Nilai  $V_{s30}$  ini kemudian diklasifikasikan berdasarkan jenis tanah sesuai dengan kriteria yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (SNI) 1726:2019 (Tabel 1).

**Table 1.** Site classification (SNI 1726: 2019)

Site Class	$\bar{V}_S$ (m/s)
SA (Hard Rock)	> 1500
SB (Rock)	750-1500
SC (Hard Soil)	350-750
SD (Medium Soil)	175-350
SE (Soft Soil)	< 175

#### Peak ground acceleration (PGA)

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menentukan Percepatan Tanah Maksimum (PGA) adalah metode Analisis Bahaya Gempa Deterministik (DSHA). PGA menggambarkan percepatan maksimum getaran tanah di suatu lokasi akibat gempa bumi dalam suatu periode tertentu. Semakin besar nilai PGA, semakin tinggi risiko gempa bumi di lokasi tersebut. Nilai PGA dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk magnitudo gempa, jarak lokasi terhadap sumber gempa, dan kedalaman gempa. Dalam metode deterministik, skenario gempa telah ditentukan sebelumnya. Skenario ini mencakup informasi mengenai peristiwa gempa bumi yang diperkirakan dapat terjadi di lokasi tertentu dengan magnitudo tertentu. Salah satu keunggulan dari metode DSHA adalah kemudahannya dalam memperkirakan gerakan gempa pada skenario terburuk. Dalam penelitian ini, perangkat lunak OpenQuake digunakan untuk menghitung nilai PGA dengan metode DSHA. Sumber gempa yang digunakan didasarkan pada data gempa terburuk sepanjang Sesar Lasem dengan magnitudo maksimum 6,5 Mw, yang menghasilkan model gempa kerak dangkal (shallow crustal earthquake).

Nilai PGA dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat kekuatan guncangan gempa di permukaan tanah. MMI umumnya digunakan untuk menilai intensitas guncangan gempa. Semakin tinggi nilai PGA, maka semakin besar gaya gempa yang bekerja pada struktur di permukaan tanah, sehingga daerah tersebut dikategorikan sebagai zona rawan tinggi. Zona

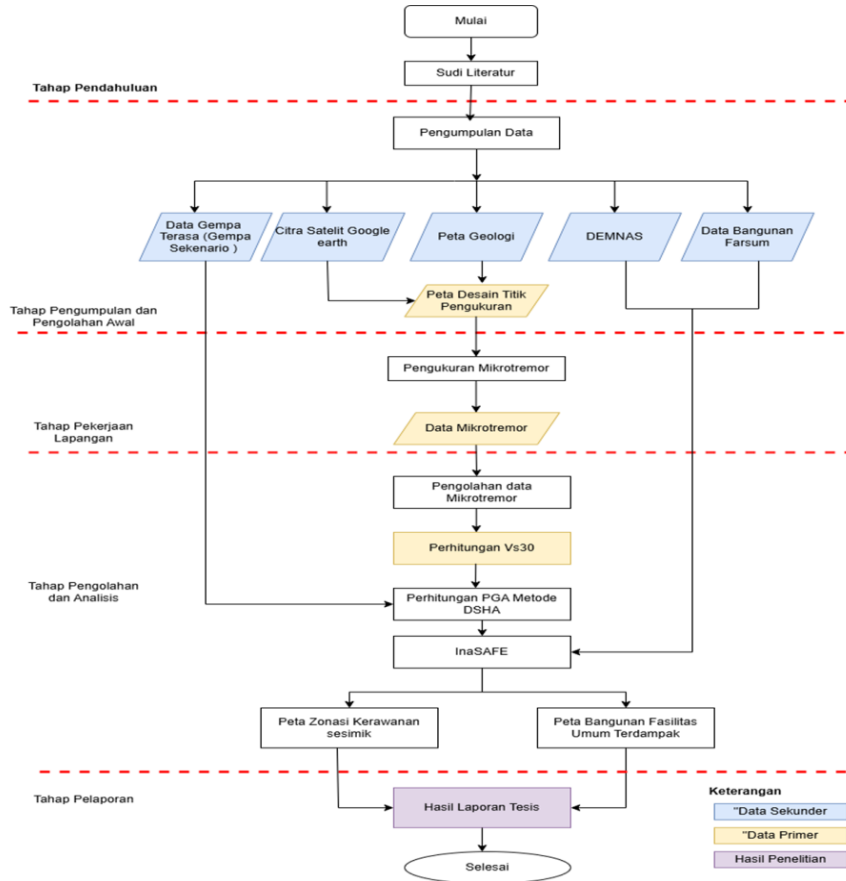
kerawanan kemudian diklasifikasikan menjadi beberapa tingkatan seperti terdapat pada Tabel 2 klasifikasi PGA menurut NEHRP/USGS (dalam satuan g) :

**Tabel 2.** Tabel Klasifikasi Nilai PGA (g)

NILAI PGA (g)	TINGKAT KERAWANAN
$\leq 0.1$	Rendah
0.1 – 0.2	Sedang
0.2 – 0.3	Cukup Tinggi
0.3 – 0.5	Tinggi
> 0.5	Sangat Tinggi

Analisis zona Tingkat kerawanan gempabumi menggunakan nilai Vs30 yang di olah menggunakan metode HVSR dan OpenHVSR, sehingga menghasilkan Output Estimasi f0 dan nilai Vs30 dimana nilai Vs30 tersebut menjadi salah satu data yang di butukan dalam menghitung nilai PGA ( Peak Ground Acceleration) dengan metode DSHA ( Deterministic Seismic Hazard Analysis ) yang menggunakan perangkat lunak OpenQuake dengan menginput nilai Vs30 dan skenario Gempa dirasakan diambil dari data PusGen, maka akan menghasilkan nilai PGA (g) dan di petakan menggunakan Software QGis dan setelah mendapatkan peta nilai PGA di overlay dengan peta DEM

Hasil analisis risiko bangunan pada fasilitas umum menggunakan tools InaSAFE pada QGis dengan menginput nilai PGA yang di konversi mejadi MMI, lalu menginput data spasial bangunan fasilitas umum seperti bangunan pendidikan, bangunan perkantoran, bangunan tempat ibadah, bangunan pelayanan kesehatan dan bangunan perekonomian seperti pasar tradisional dan minimarket atau supermarket, sehingga akan dihasilkan output berupa estimasi jumlah bangunan fasilitas umum yang terdampak di tiap kecamatan. Secara keseluruhan alur penelitian disajikan dalam Gambar 2

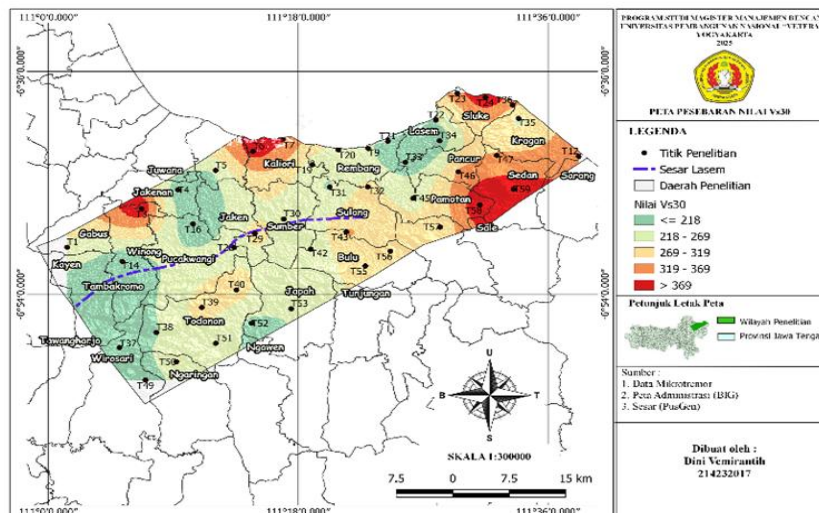


Gambar 2. Flowchart

### C. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Nilai Vs30

Berdasarkan hasil pemetaan nilai kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30meter (Vs30) yang diperoleh dari hasil pengolahan data mikrotremor, diketahui bahwa wilayah penelitian di sepanjang Sesar Lasem, meliputi Kabupaten Pati dan Kabupaten Rembang, menunjukkan variasi klasifikasi site yang cukup beragam seperti Peta pada gambar 3



**Gambar 3.** Peta Pesebaran Nilai Vs30

Distribusi Klasifikasi Vs30, Berdasarkan legenda peta, klasifikasi nilai Vs30 dibagi menjadi empat kategori seperti yang disajikan dalam Tabel 3.

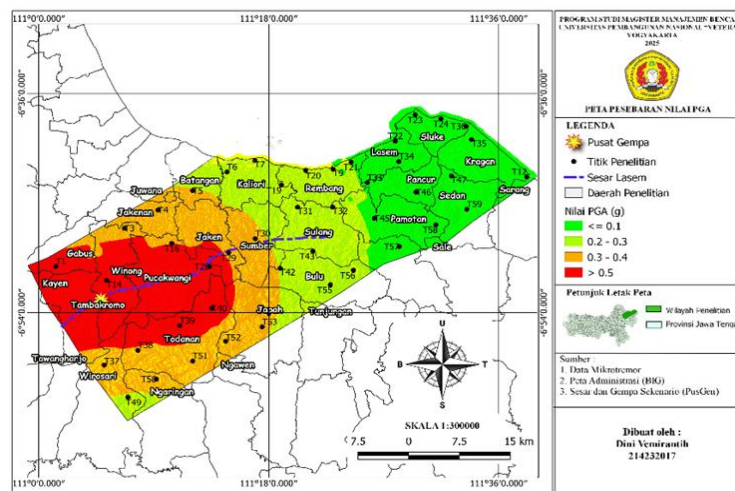
**Tabel 3.** Klasifikasi Nilai Vs30

Kategori	Vs30	keterangan
<b>Sangat Rendah</b>	$\leq 218$ m/	Mengindikasikan zona dengan Tanah lunak/sangat lunak, aluvium
<b>Rendah</b>	218 – 269m/s	Mengindikasikan zona Endapan lempung, pasir lunak
<b>Sedang</b>	269 – 319m/s	Mengindikasikan zona endapan vulkanik tua, batuan lapuk
<b>Tinggi</b>	319 – 369m/s	Mengindikasikan zona Batuan keras terlapukkan, lava dan tuf
<b>Sangat Tinggi</b>	$> 369$	Mengindikasikan zona Batuan sangat keras/kompak

Nilai Vs30 di wilayah penelitian menunjukkan variasi yang cukup signifikan, dengan kisaran nilai dari  $\leq 218$  m/s hingga  $> 369$  m/s. Variasi ini mencerminkan heterogenitas kondisi tanah permukaan yang dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat, aktivitas tektonik Sesar Lasem.

#### Analisis Nilai PGA

Peak Ground Acceleration (PGA) menggambarkan tingkat percepatan tanah maksimum di suatu lokasi saat gempa berlangsung. Pada penelitian ini nilai PGA diukur berdasarkan skenario terburuk apabila pusat gempa berada di tengah Sesar Lasem dengan magnitudo maksimum 6.5 (PusGen 2017) Perhitungan nilai PGA menggunakan nilai masukan Vs30 hasil inversi mikrotremor dan parameter kegempaan (Magnitudo dan lokasi pusat gempa) dengan metode DSHA, Model PGA berbasis Vs30 dikembangkan dengan pendekatan klasifikasi tanah (Mase & Keawsawasvong, 2022). dapat dilihat pada gambar 4



#### Gambar 4. Peta Pesebaran Nilai PGA

Sebaran nilai PGA Kabupaten Rembang dan Kabupaten Pati berada pada kisaran 0.0523 g hingga 0.656 g, dengan rata-rata 0.196 g. Dimana semakin tinggi nilai PGA maka titik daerah penelitian akan berwarna merah. Secara garis besar nilai PGA berkorelasi dengan tingkat kerusakan atau risiko yang dapat ditimbulkan saat terjadi gempa bumi di suatu tempat, dan semakin besar nilai PGA maka akan semakin besar juga risiko kerusakan yang dapat (Tabel 4).

**Tabel 4.** Tabel Zonasi Bahaya Seismik Berdasarkan PGA

Zona Bahaya	Rentang PGA (g)	Kecamatan Terdampak
<b>Zona Rendah</b>	< 0.1	Lasem, Sluke, Pancur, Kragan, Sedan, Sarang, Rembang, Kaliori — dominasi batuan keras (andesit & breksi vulkanik)
<b>Zona Sedang</b>	0.1 – 0.3	Jakenan, Sulang, Pamotan, Bulu, Japah, Gunem - area transisi dari zona keras ke zona lempung
<b>Zona Tinggi</b>	0.3 – 0.6	Kayen, Winong, Pucakwangi, Gabus, sebagian Jaken - daerah aluvial tebal dan dekat sesar
<b>Zona Sangat Tinggi</b>	> 0.6	Tambakromo (bagian selatan), Todanan, Wirosari - dekat pusat sesar, amplifikasi maksimum

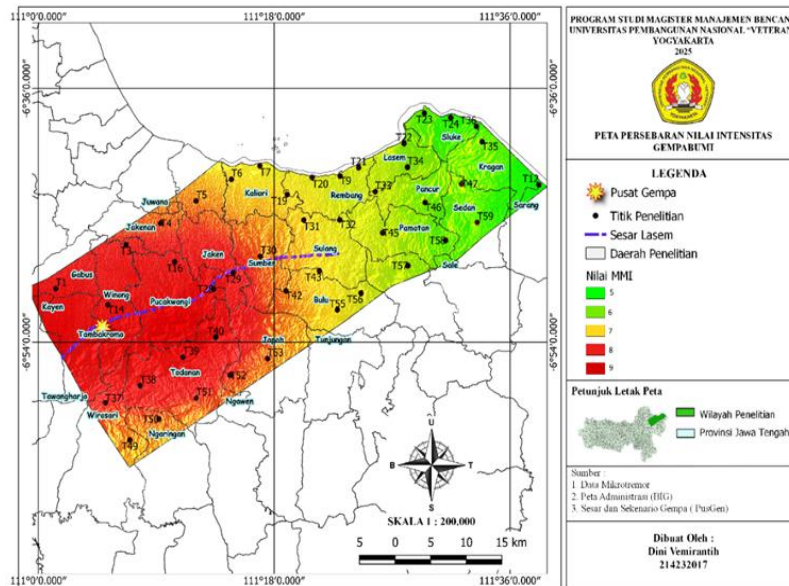
#### Analisis Nilai MMI

Intensitas merupakan suatu ukuran yang menggambarkan seberapa kuat getaran pada suatu tempat akibat guncangan selama terjadi gempa bumi. Intensitas gempa lebih berfokus pada dampak yang dirasakan oleh manusia dan struktur bangunan, dan bentang alam. Intensitas gempa bumi dinyatakan dalam bentuk skala Mercally atau yang dikenal dengan MMI. Skala ini terbagi atas 12 tingkatan yang menggambarkan efek gempa (Worden et al. 2012).

Peta persebaran MMI daerah penelitian terpetakan pada Gambar 5, dimana kecamatan Sulang, Sumber, dan Bulu, menunjukkan tingkat guncangan sedang (MMI VII). Berbeda pada bagian utara dan timur wilayah penelitian yang berada pada zona dengan intensitas guncangan relatif ringan (MMI V–VI), seperti Rembang, Lasem, Sluke, Kragan, Pancur, Pamotan, Sedan, dan Sarang.

Pada wilayah penelitian menunjukkan distribusi zona guncangan yang bervariasi (Gambar 5), mulai dari intensitas MMI V hingga MMI IX. Intensitas tertinggi (MMI IX) terkonsentrasi di bagian barat daya, meliputi kecamatan Tambakromo, Kayen, Pucakwangi,

Gabus, Winong, dan sebagian Jaken (Tabel 5). Wilayah-wilayah tersebut berlokasi sangat dekat dengan jalur Sesar Lasem sebagai sumber gempa utama yang aktif secara tektonik



**Gambar 5.** Peta Persebaran Nilai MMI

**Tabel 5.** Zonasi Intensitas Guncangan Berdasarkan MMI

Intensitas MMI	Deskripsi Guncangan	Wilayah Dominan	Keterangan
V	Guncangan ringan	Sarang, Kragan, Sluke, Lasem	Bangunan pada intensitas MMI V dan VI ini tersebar di wilayah timur laut, yang relatif lebih jauh dari pusat sumber gempa menandakan bahwa pada wilayah tersebut mengalami guncangan Ringan hingga cukup kuat
VI	Guncangan cukup kuat	Rembang, Sulang, Sumber	
VII	Guncangan kuat	Japah, Ngaringan, sebagian Winong	Bangunan pada intensitas MMI VII, menandakan bahwa pada wilayah penelitian tersebut mengalami guncangan kuat
VIII	Guncangan sangat kuat	Tambakromo, Gabus, Kayen, Pucakwangi, Jaken, Todanan	Bangunan pada intensitas MMI VIII dan IX khususnya pada wilayah yang berdekatan langsung dengan pusat gempa Sesar Lasem utamanya mengalami

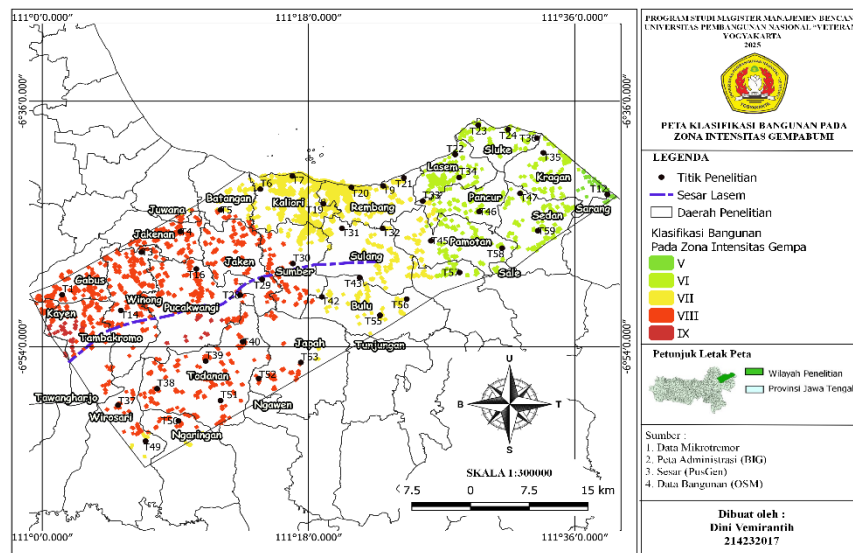
<b>IX</b>	Guncangan sangat berat	Tambakromo, Gabus, Kayen, Pucakwangi, Jaken, Todanan	guncanga sangat kuat hingga sangat berat.
-----------	---------------------------	---	--

### Bangunan Fasilitas Umum Terdampak

Dampak gempabumi berdasarkan sekenario terburuk dari Sesar Lasem di gambarkan oleh perangkat lunak InaSAFE dengan memasukan data ancaman (bencana Gempa bumi ) dan data keterpaparan Bangunan yang dapat dilihat pada Gambar 6 di perkirakan jumlah bangunan Fasilitas umum yang terpapar di daerah penelitian sepanjang sesar lasem berjumlah 3419 bangunan yang terdiri dari Bangunan terdampak dengan skala MMI V hingga IX:

- 1359 unit bangunan tempat ibadah.
- 1239 unit bangunan sarana Pendidikan.
- 469 unit bangunan kantor pemerintahan.
- 203 unit bangunan sarana perekonomian.
- Dan 149 unit bangunan sarana kesehatan

Pemetaan ini penting untuk mengetahui jumlah dan lokasi bangunan vital yang berpotensi terdampak gempa, tingkat risiko kerusakan berdasarkan intensitas guncangan dan prioritas wilayah untuk perencanaan mitigasi struktural dan non-struktural.



**Gambar 6.** Peta Klasifikasi Bangunan Pada Zona Intensitas Gempabumi

Wilayah zona MMI VIII – IX merupakan area dengan kerentanan sangat tinggi, di mana banyak bangunan fasilitas umum berdiri di atas tanah lunak (endapan aluvial) serta berada tepat di jalur sesar aktif (Sesar Lasem). Ini menyebabkan kemungkinan keruntuhan bangunan pada fasilitas seperti sekolah, puskesmas, kantor kelurahan, dan tempat ibadah. Perlu penanganan prioritas untuk retrofit dan relokasi pada bangunan bangunan di wilayah tersebut yaitu di kecamatan Sulang, Sumber, dan Bulu, Japah, Ngawen, Tondanan, Ngaringan, Wirosari, Tambakromo, Kayen, Pucakwangi, Gabus, Winong, Jakenan dan sebagian Jaken, karena berpotensi sangat besar jika terjadi gempa (jumlah korban, gangguan layanan).

Wilayah zona MMI VI dan V relatif lebih aman, tetapi tetap perlu peningkatan kesiapsiagaan non-struktural, jika bangunan di sana masih banyak yang belum memenuhi standar tahan gempa. Peta ini menunjukkan bahwa lebih dari 60% fasilitas umum di wilayah penelitian berada pada zona dengan potensi guncangan kuat hingga sangat berat (MMI VII–IX) (Tabel 6)

**Tabel 6** Distribusi jumlah bangunan terdampak pada masing-masing kategori fasilitas umum

Hazard Zone (MMI)	Tempat ibadah	Kantor Pemerintahan	Sarana Pendidikan	Sarana Kesehatan	Sarana Prekonomian	Jumlah
IX	43	11	16	2	4	76
VIII	681	208	526	60	53	1528
VII	307	139	284	59	130	919
VI	308	106	399	24	14	851
V	20	5	14	4	2	45

#### D. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis mikrotremor dengan metode HVSR dan pemodelan deterministik DSHA menggunakan skenario gempa dari Sesar Lasem, menghasilkan nilai percepatan tanah maksimum (Peak Ground Acceleration - PGA) yang bervariasi antara 0.0523 g hingga 0.656 g, dengan nilai rata-rata sebesar 0.196 g. Nilai tertinggi berada pada area yang berdekatan langsung dengan jalur sesar aktif, terutama di wilayah Kecamatan Kayen, Tambakromo, dan Gabus.

Distribusi zona bahaya menunjukkan bahwa wilayah dengan PGA tertinggi ( $> 0.3$  g) terkonsentrasi di bagian barat daya, khususnya di Kecamatan Tambakromo, Pucakwangi, Kayen, Gabus, Winong, dan Jaken. Nilai PGA tertinggi ditemukan di zona yang berdekatan langsung dengan jalur sesar aktif, khususnya pada lapisan tanah lunak dan endapan aluvium, yang menunjukkan tingkat amplifikasi gelombang seismik yang tinggi memiliki kondisi geologi kurang stabil.

Daerah yang berada pada zona PGA tinggi harus diperkuat secara structural dan pemerintah daerah setempat wajib mensyaratkan sertifikasi struktur bangunan tahan gempa dan pentingnya sosialisasi mengenai mitigasi bencana gempabumi.

Relokasi perlu dipertimbangkan untuk fasilitas kategori kritis tinggi yang berada di zona sangat tinggi ( $>0.5$  g), khususnya jika berdiri di atas tanah lunak ( $V_{s30} < 200$  m/s) maka jika relokasi tidak memungkinkan, lakukan retrofitting atau penguatan struktur berdasarkan peta risiko

Berdasarkan hasil simulasi skenario terburuk gempa bumi dari Sesar Lasem menggunakan perangkat lunak InaSAFE dan data keterpaparan bangunan dari OpenStreetMap (OSM), ditemukan bahwa terdapat 3.419 unit bangunan fasilitas umum yang berpotensi terdampak di wilayah penelitian. Bangunan-bangunan ini tersebar pada zona intensitas guncangan MMI V hingga IX, yang mencerminkan tingkat risiko kerusakan yang beragam, dari ringan hingga sangat berat. Sebaran fasilitas umum terdampak terdiri dari : 1.359 unit tempat ibadah, 1.239 unit sarana pendidikan, 469 unit kantor pemerintahan, 203 unit sarana perekonomian, 149 unit sarana Kesehatan, Analisis menunjukkan bahwa lebih dari 60% fasilitas umum berada di zona dengan intensitas MMI VII hingga IX, yang berarti wilayah tersebut memiliki tingkat kerentanan struktural yang sangat tinggi terhadap guncangan gempa bumi. Kecamatan seperti Pucakwangi, Tambakromo, Kayen, dan sekitarnya menjadi prioritas karena kepadatan fasilitas umumnya tinggi dan berada dalam zona guncangan sangat kuat hingga sangat berat (MMI VIII–IX).

## E. DAFTAR PUSTAKA

- Al Ayubi, S. S., Karyanto, K., Haerudin, N., Rasimeng, S., & Wibowo, R. C. (2020). Zonasi Site Effect Dan Analisis Bahaya Penguatan Gempa Menggunakan Metode Dsha Untuk Menentukan PGA Di Kabupaten Sumba Barat Daya. *Indonesian Physical Review*, 3(2), 38–53. <https://doi.org/10.29303/ipr.v3i2.44>

- Yulians, M., Tohari, A., & Rochman, J. P. G. N. (2024). Development of Seismic microzonation for Rancaekek Sub-District using microtremor method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1373, 12017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1373/1/012017>
- BSN. (2004). Sni 03-7015-2004. *Sni 03 - 6572 - 2001*, 112.
- Elnashai, A. S., & Di Sarno, L. (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470024867>
- Koesuma, S., Shidqi, A. Z., & Sunardi, B. (2024). Hazard analysis of earthquake in Pleret, Bantul Regency, Yogyakarta Special Region based on microtremor data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1314(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1314/1/012077>
- McBirney, A. R., Serva, L., Guerra, M., & Connor, C. B. (2003). Volcanic and seismic hazards at a proposed nuclear power site in central Java. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126(1–2), 11–30. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(03\)00114-8](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(03)00114-8)
- Sunardi, B. (2013). *Peta Deagregasi Hazard Gempa Wilayah Jawa dan Rekomendasi Ground Motion di Empat Daerah*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1072.7280>
- Worden, C. B., Gerstenberger, M. C., Rhoades, D. A., & Wald, D. J. (2012). Probabilistic Relationships between Ground-Motion Parameters and Modified Mercalli Intensity in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(1), 204–221. <https://doi.org/10.1785/0120110156>
- Venturelli, R., Akanyeti, O., Davis, J. J., & Straczkiewicz, M. (n.d.). Measurement of ground response of Semarang coastal region risk of earthquakes by Horizontal To Vertical Spectral Ratio ( HVSR ) microtremor method Measurement of ground response of Semarang coastal region risk of earthquakes by Horizontal To Vertical Spec. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1943/1/012033>
- Supendi, P., Winder, T., Rawlinson, N., Bacon, C. A., Palgunadi, K. H., Simanjuntak, A., ... Jatnika, J. (2023). A conjugate fault revealed by the destructive Mw 5.6 (November 21, 2022) Cianjur earthquake, West Java, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 257(August), 105830. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2023.105830>

- Sulaeman, C., Minarno, P. A., Priambodo, I., & Afif, H. (2020). Model Sesar Pati di Jawa Tengah Berdasarkan Data GPS. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 21(1), 9. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v21i1.450>
- Wibowo, N. B., Fathani, T. F., Pramumijoyo, S., & Marliyani, G. I. (2023). Microzonation of Seismic Parameters in Geological Formation Units Along the Opak River Using Microtremor Measurements. *International Journal of GEOMATE*, 25(110), 208–219. <https://doi.org/10.21660/2023.110.4017>
- Setiawan, A. R. (2024). Pendugaan Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor Berbantuan Sistem Informasi Geografis di Kecamatan Pujon Kabupaten Malang. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.29408/geodika.v8i1.17187>
- McBirney, A. R., Serva, L., Guerra, M., & Connor, C. B. (2003). Volcanic and seismic hazards at a proposed nuclear power site in central Java. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126(1–2), 11–30. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(03\)00114-8](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(03)00114-8)
- Izza, A. S., Pribadi, C. B., & Budisusanto, Y. (2020). Analisis Kesesuaian Kawasan Terbangun Dengan Rencana Tata Ruang Wilayah Di Kawasan Sempadan Pantai Kabupaten Rembang. *Geoid*, 16(1), 1. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v16i1.7972>