

ZONASI KERENTANAN LIKUIFAKSI BERBASIS LIQUEFACTION POTENTIAL INDEX (LPI) DI KECAMATAN SEBERANG MUSI, KABUPATEN KEPAHANG

MUTIA QOTRUNNADA¹, LINDUNG ZALBUIN MASE^{1*}, FEPY SUPRIANI¹, RAISYA AZZAHRA¹, AMINAH RAHMADHANI LUBIS¹, RENA MISLINIYATI¹, KHAIRUL AMRI¹

¹*Jurusan Teknik Sipil, FT, Universitas Bengkulu
Jl. WR Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371, Indonesia*

**Corresponding author
Email: lmase@unib.ac.id*

Diserahkan: 18/05/2026
Diterima: 12/06/2026
Dipublikasikan: 26/06/2026

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menilai dan memetakan potensi likuifaksi akibat gempa bumi di Desa Kandang dan Desa Temdak, Kecamatan Seberang Musi, Kabupaten Kepahiang. Analisis dilakukan dengan menggabungkan parameter geoteknik dan seismik, di antaranya percepatan tanah maksimum (*peak ground acceleration*), kecepatan gelombang geser (*shear wave velocity*), intensitas gempa, dan indeks kerentanan tanah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa wilayah penelitian didominasi oleh percepatan tanah yang tinggi dan intensitas guncangan yang kuat hingga sangat kuat, yang menjadi faktor utama terjadinya likuifaksi. Evaluasi kondisi bawah permukaan menunjukkan bahwa potensi likuifaksi terutama berada pada kedalaman dangkal tanah gembur dan jenuh air, sedangkan lapisan yang lebih dalam umumnya lebih stabil. Nilai *Liquefaction Potential Index* (LPI) menunjukkan variasi yang signifikan, yaitu berkisar dari rendah hingga sangat tinggi pada berbagai lokasi. Nilai tertinggi mencapai 76.04 yang mengindikasikan potensi likuifaksi sangat tinggi, sedangkan nilai terendah sekitar 4.45 yang menunjukkan potensi lebih rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa ketebalan dan dominasi lapisan rentan pada kedalaman dangkal hingga menengah merupakan faktor utama yang mengontrol potensi likuifaksi. Secara keseluruhan, pendekatan yang digunakan mampu memberikan penilaian yang representatif dalam mengidentifikasi zona rawan likuifaksi serta mendukung perencanaan mitigasi risiko gempa di wilayah penelitian.

Kata kunci: likuifaksi, percepatan tanah, kecepatan gelombang geser, kerentanan tanah, gempa bumi

Abstract. This study aims to evaluate and map earthquake-induced liquefaction potential in Kandang and Temdak Villages, Seberang Musi District, Kepahiang Regency. The analysis integrates geotechnical and seismic parameters, including peak ground acceleration, shear wave velocity, earthquake intensity, and soil vulnerability index. The results indicate that the study area is dominated by high ground acceleration and strong to very strong shaking intensity, which act as the main triggering factors of liquefaction. The evaluation of subsurface conditions shows that liquefaction potential mainly occurs in shallow layers composed of loose and saturated soils, while deeper layers tend to be more stable. The liquefaction potential index values vary significantly, ranging from low to very high across different locations. The highest value reaches 76.04, indicating very high liquefaction potential, while the lowest value is

approximately 4.45, indicating lower potential. These findings suggest that the thickness and dominance of vulnerable layers at shallow to intermediate depths are the main factors controlling liquefaction potential. Overall, the applied approach provides a representative assessment for identifying liquefaction-prone zones and supports earthquake risk mitigation planning in the study area.

Keywords: liquefaction, ground acceleration, shear wave velocity, soil vulnerability, earthquake

1. Pendahuluan

Kabupaten Kepahiang di Provinsi Bengkulu, Indonesia, berada pada zona konvergensi Lempeng Indo-Australia dan Eurasia, di mana Lempeng Indo-Australia bergerak ke arah utara, sedangkan Lempeng Eurasia bergerak ke arah selatan [1]. Kondisi ini menjadikan wilayah tersebut rentan terhadap gempa bumi. Bengkulu pernah mengalami gempa besar, seperti gempa Mw 7.4 pada tahun 1943 di Segmen Ketahun yang menyebabkan kerusakan luas di Curup dan sekitarnya [2]. Keberadaan sesar aktif di wilayah Sumatra akibat interaksi lempeng tektonik berkontribusi terhadap tingginya aktivitas gempa di wilayah tersebut [3], sehingga meningkatkan potensi bahaya seismik di daerah seperti Kabupaten Kepahiang.

Salah satu segmen aktif dari Sistem Sesar Sumatra yang melintasi wilayah ini adalah Segmen Musi yang berada di sekitar Kabupaten Kepahiang [4]. Segmen Musi merupakan salah satu bagian dari Sistem Sesar Sumatra dengan panjang sekitar puluhan kilometer dan memiliki potensi menghasilkan gempa dengan magnitudo lebih dari Mw 6 [5], sehingga menunjukkan adanya potensi aktivitas seismik di wilayah tersebut. Aktivitas sesar ini umumnya menghasilkan gempa dangkal yang berpotensi menimbulkan kerusakan di permukaan. Kondisi ini juga dapat memicu fenomena likuifaksi sebagai salah satu dampak gempa bumi.

Selain gempa bumi, Bengkulu juga berpotensi mengalami likuifaksi, sebagaimana terlihat pada gempa Bengkulu–Mentawai 2007 (Mw 8.6) yang memicu kerusakan dan likuifaksi di beberapa wilayah [6]. Likuifaksi merupakan kondisi ketika tanah kehilangan kekuatan akibat getaran sehingga berperilaku seperti fluida [7]. Likuifaksi terjadi akibat peningkatan tekanan air pori selama pembebanan siklik gempa yang menyebabkan penurunan tegangan efektif tanah, sehingga tanah kehilangan kuat geser dan berperilaku menyerupai fluida [8]. Penurunan tegangan efektif dan perubahan volume tanah selama gempa menjadi penyebab utama terjadinya fenomena ini, yang semakin diperparah oleh kondisi muka air tanah yang dangkal [9]. Likuifaksi berpotensi terjadi di wilayah Bengkulu akibat kondisi tanah dan aktivitas seismik yang tinggi [10], terutama pada tanah berbutir lepas dan jenuh air seperti endapan aluvial di sekitar aliran sungai yang memiliki kerentanan tinggi terhadap fenomena tersebut [11].

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu kajian untuk mengevaluasi potensi likuifaksi di wilayah yang memiliki karakteristik serupa, seperti Kabupaten Kepahiang. Penelitian ini dilakukan di wilayah Kabupaten Kepahiang yang mencakup Desa Kandang dan Desa Temdak, yang berada di sekitar jalur Segmen Musi serta memiliki beberapa titik investigasi tanah yang digunakan dalam analisis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan memetakan potensi likuifaksi akibat gempa di wilayah Kabupaten Kepahiang.

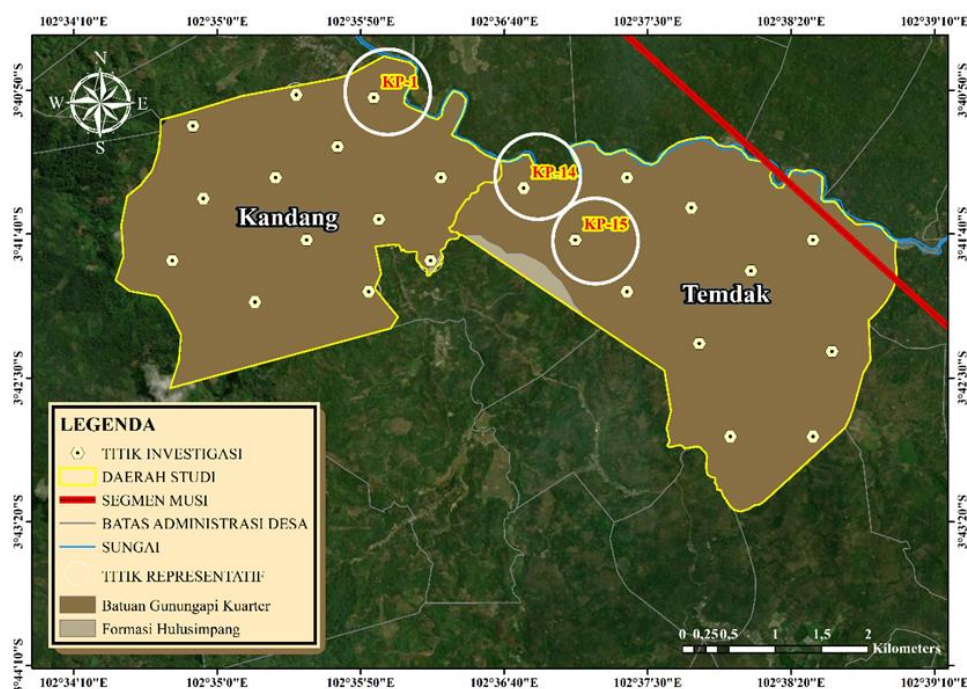
Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi, di antaranya *Liquefaction Potential Index (LPI)*, *Ishihara-inspired Liquefaction Potential Index (LPIISH)*, dan *Liquefaction Severity Number (LSN)* [12]. Metode LPI mengintegrasikan distribusi nilai *Factor of Safety (FS)* terhadap kedalaman sehingga menghasilkan satu indeks yang merepresentasikan potensi likuifaksi suatu lokasi secara keseluruhan. Berbeda dengan LPI, metode LPIISH mempertimbangkan pengaruh ketebalan lapisan tanah non-likuifaksi di permukaan terhadap manifestasi likuifaksi, sedangkan LSN berfokus pada evaluasi tingkat keparahan manifestasi likuifaksi di permukaan berdasarkan deformasi yang ditimbulkan [12].

Penelitian ini menggunakan metode *Liquefaction Potential Index (LPI)* sebagai kerangka analisis utama karena mampu merepresentasikan potensi likuifaksi dalam bentuk indeks yang mencerminkan kondisi lapisan tanah secara keseluruhan [13], serta banyak digunakan untuk menilai tingkat keparahan likuifaksi dengan mempertimbangkan variasi faktor keamanan terhadap kedalaman [14]. Selain itu, analisis ini didukung oleh parameter seismik dan geoteknik, seperti PGA, nilai V_{s30} , intensitas gempa (MMI), serta indeks kerentanan tanah (K_g), sehingga memungkinkan analisis yang lebih komprehensif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung upaya mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan berbasis risiko di wilayah tersebut.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian dan Data Penelitian

Wilayah penelitian terletak di Kecamatan Seberang Musi, Kabupaten Kepahiang, yang mencakup Desa Kandang dan Desa Temdak. Berdasarkan peta geologi (Gambar 1), wilayah ini didominasi oleh batuan gunungapi Kuartar dengan sebagian kecil formasi Hulusimpang, serta dilintasi oleh Segmen Musi dan jaringan sungai yang berpotensi meningkatkan kerentanan terhadap likuifaksi.



Gambar 1. Peta geologi wilayah penelitian di Kecamatan Seberang Musi, Kabupaten Kepahiang.

Data penelitian diperoleh dari investigasi lapangan dan studi terdahulu, meliputi parameter geoteknik seperti V_s , profil tanah, serta koordinat lokasi. Nilai V_{s30} dihitung dari V_s dan digunakan untuk menentukan nilai PGA, yang selanjutnya dimanfaatkan dalam analisis potensi likuifaksi.

2.2 Metode Analisis

Analisis potensi likuifaksi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode prosedur sederhana dengan membandingkan parameter pemicu dan parameter penahan. Salah satu parameter yang digunakan adalah nilai *shear wave velocity* hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) yang digunakan untuk menggambarkan kondisi tanah permukaan pada lokasi penelitian. Nilai V_{s30} berkaitan dengan tingkat kekakuan tanah sehingga dapat digunakan untuk menilai respons tanah terhadap pengaruh gempa dan potensi likuifaksi. Pada penelitian ini, nilai V_{s30} dihitung berdasarkan data kecepatan gelombang geser (V_s) hasil investigasi lapangan mengacu pada rekomendasi NEHRP [15], sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1) :

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (1)$$

di mana d_i merupakan ketebalan tiap lapisan tanah (m), V_{si} merupakan kecepatan gelombang geser pada masing-masing lapisan (m/s), dan n merupakan jumlah lapisan tanah yang dianalisis. Nilai V_{s30} diperoleh dari perhitungan rata-rata kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m dan selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi karakteristik tanah pada lokasi penelitian

Berdasarkan sifat-sifat tanah tersebut, analisis potensi likuifaksi selanjutnya dianalisis menggunakan parameter pemicu dan parameter penghambat. Parameter pemicunya adalah *cyclic stress ratio* (CSR) yang mencerminkan beban gempa, sedangkan parameter penahannya adalah *cyclic resistance ratio* (CRR) yang mencerminkan resistensi tanah terhadap likuifaksi. Nilai faktor keamanan (FS) dihitung sebagai perbandingan antara CRR dan CSR pada setiap lapisan tanah. Selanjutnya, nilai FS digunakan dalam perhitungan LPI untuk mengevaluasi potensi likuifaksi secara keseluruhan. Nilai CSR dihitung menggunakan persamaan berikut, mengacu pada [16]:

$$CSR = 0,65r_d \left(\frac{PGA \max}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \left(\frac{1}{K_\sigma} \right) \left(\frac{1}{MSF} \right) \quad (2)$$

Parameter dalam persamaan CSR dihitung berdasarkan hubungan empiris dengan mempertimbangkan kedalaman tanah, kondisi tegangan, dan karakteristik gempa bumi. Parameter seperti faktor reduksi tegangan (r_d), faktor koreksi tegangan (K_σ), dan *magnitude scaling factor* (MSF) digunakan untuk merepresentasikan pengaruh kondisi bawah permukaan dan magnitudo gempa terhadap respons tanah. Nilai r_d merupakan faktor reduksi tegangan yang bergantung pada kedalaman tanah dan magnitudo gempa, yang dihitung menggunakan persamaan Idriss dan Boulanger [16] sebagai berikut :

$$r_d = \exp[\alpha + \beta M_w] \quad (3)$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \sin \left[5.133 + \left(\frac{z}{11.73} \right) \right] \quad (4)$$

$$\beta = 0.106 - 0.118 \sin \left[5.142 + \left(\frac{z}{11.28} \right) \right] \quad (5)$$

di mana α dan β merupakan koefisien empiris yang ditentukan berdasarkan kedalaman tanah (z) dan digunakan dalam perhitungan faktor reduksi tegangan (r_d). Parameter tersebut menggambarkan pengaruh kondisi bawah permukaan terhadap distribusi tegangan akibat gempa. Pada penelitian ini, nilai PGA_{max} dihitung menggunakan model atenuasi klasik berdasarkan model Kanai [17], yang dinyatakan menggunakan persamaan berikut:

$$PGA_{max} = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{0.16M_w - \left(1.66 + \frac{3.6}{R}\right) \log R + 0.167 - \frac{1.83}{R}} \quad (6)$$

di mana PGA merupakan percepatan tanah maksimum, M_w merupakan magnitudo momen gempa, T_0 merupakan periode dominan tanah, dan R merupakan jarak antara hiposenter gempa dan lokasi penelitian. Nilai T_0 yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh berdasarkan hasil penelitian sebelumnya pada lokasi yang sama. Selain parameter percepatan tanah maksimum, perhitungan CSR juga mempertimbangkan faktor koreksi tegangan (K_σ) untuk merepresentasikan pengaruh tegangan overburden terhadap ketahanan tanah terhadap likuifaksi. [18] menyatakan bahwa nilai K_σ dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$K_\sigma = 1 - c_\sigma \ln \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right) \leq 1,1 \quad (7)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{1.89 - 17.3 \sqrt{\frac{\left(\frac{V_{s1}}{93.2} \right)^{\frac{1}{0.231}}}{46}}} \leq 0.3 \quad (8)$$

di mana σ'_v merupakan tegangan vertikal efektif, P_a merupakan tekanan atmosfer, C_σ merupakan koefisien koreksi tegangan, dan V_{s1} merupakan kecepatan gelombang geser terkoreksi. Perhitungan nilai V_{s1} mempertimbangkan pengaruh tegangan vertikal efektif dan koefisien tekanan tanah diam (K_0), yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_{s1} = V_s \left(\frac{P}{\sigma'_v} \right)^{0.25} \left(\frac{0.25}{K'_v} \right)^{0.125} \quad (9)$$

Selain parameter koreksi tegangan, perhitungan CSR juga memperhitungkan besarnya pengaruh gempa bumi dengan menggunakan faktor skala magnitudo (MSF) untuk merepresentasikan pengaruh besarnya gempa bumi terhadap tegangan siklik akibat beban gempa. Persamaan MSF mengacu pada [16] yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$MSF = 6,9 \exp\left(\frac{-M_w}{4}\right) - 0,058 \leq 1,8 \quad (10)$$

Setelah parameter beban seismik diperoleh, analisis dilanjutkan dengan menghitung resistensi tanah terhadap beban siklik yang diberikan oleh cyclic resistance ratio (CRR) dihitung dengan rumus berikut:

$$CRR = \left\{ 0.022 \left(\frac{K_{a1} V_{s1}}{100} \right)^2 + 2.8 \left(\frac{1}{V_{s1}^* - (K_{a1} V_{s1})} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right) \right\} K_2 \quad (11)$$

Nilai CRR merepresentasikan ketahanan tanah terhadap likuifaksi. Pada persamaan tersebut, V_{s1}^* merupakan kecepatan gelombang geser yang telah dikoreksi, V_{s1}^* merupakan nilai batas kecepatan gelombang geser, K_{a1} merupakan faktor koreksi yang mempertimbangkan kandungan butiran halus (*fine content* / FC), dan K_2 merupakan faktor koreksi yang bergantung pada kondisi tanah. Nilai V_{s1}^* ditentukan berdasarkan persentase *fine content* (FC) mengacu pada [19], sebagaimana dinyatakan pada persamaan berikut :

$$V_{s1}^* = 215 \text{ m/s for } FC \leq 5\% \quad (12)$$

$$V_{s1}^* = 215 - 0.5(FC - 5) \text{ m/s for } 5\% < FC < 35\% \quad (13)$$

$$V_{s1}^* = 200 \text{ m/s for } FC \geq 35\% \quad (14)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa nilai batas kecepatan gelombang geser terkoreksi V_{s1}^* ditentukan berdasarkan persentase kandungan butiran halus (*fine content* / FC) pada tanah. Semakin besar nilai FC, nilai V_{s1}^* yang digunakan dalam perhitungan CRR akan menyesuaikan dengan karakteristik tanah terhadap potensi likuifaksi.

Berdasarkan parameter ketahanan tanah tersebut, tingkat keamanan tanah terhadap potensi likuifaksi selanjutnya dievaluasi menggunakan *factor of safety* (FS) yang dihitung sebagai perbandingan antara nilai CRR dan CSR, sebagaimana dinyatakan pada persamaan berikut :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (15)$$

Nilai FS yang tertera pada persamaan 15 digunakan sebagai indikator potensi likuifaksi dengan nilai $FS < 1$ yang menunjukkan lapisan tanah berpotensi mengalami likuifaksi. Metode *Liquefaction Potential Index* (LPI) digunakan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi secara keseluruhan terhadap kedalaman. Distribusi nilai FS pada setiap lapisan tanah diperhatikan pada persamaan 8 berikut :

$$LPI = \int_0^{20} F_w(z) dz \quad (16)$$

$F(z)$ merupakan fungsi yang diturunkan dari nilai *Factor of Safety* (FS) untuk merepresentasikan tingkat kerentanan likuifaksi pada setiap kedalaman. Nilai $F(z)$ akan meningkat seiring dengan menurunnya nilai FS pada kondisi $FS < 1$, sedangkan untuk $FS \geq 1$ nilai $F(z)$ sama dengan nol sehingga tidak memberikan kontribusi terhadap nilai

Liquefaction Potential Index (LPI). Selanjutnya, fungsi pembobot kedalaman $w(z)$ digunakan untuk memberikan bobot yang lebih besar pada lapisan tanah dangkal dibandingkan lapisan yang lebih dalam. Dengan demikian, lapisan yang berpotensi mengalami likuifaksi pada kedalaman dangkal akan memberikan kontribusi yang lebih signifikan terhadap nilai LPI.

Tabel 1. Klasifikasi Liquefaction Potential Index (LPI)

Rentang LPI	Potensi Likuifaksi
$LPI < 4$	Tidak berpotensi
$4 \leq LPI < 8$	Rendah
$8 \leq LPI < 15$	Sedang
$LPI \geq 15$	Tinggi

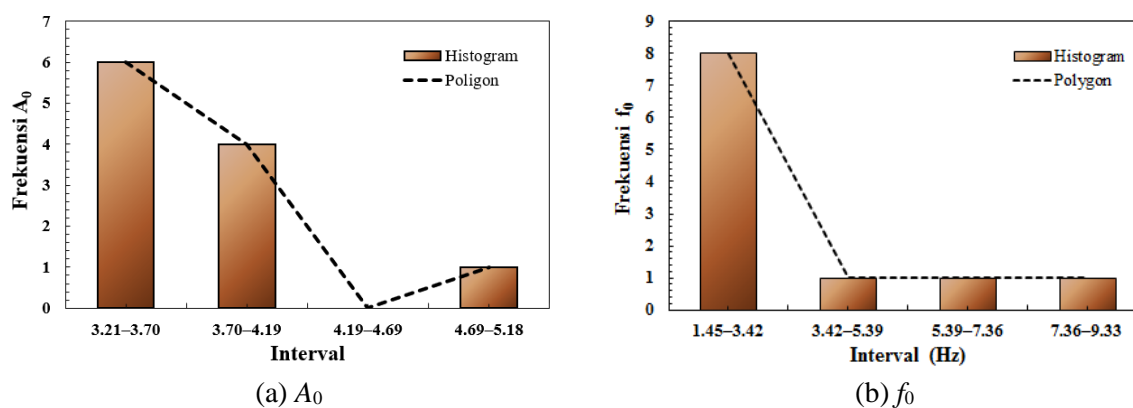
Menurut klasifikasi pada Tabel 1, nilai LPI mewakili kerentanan tanah terhadap likuifaksi, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan kondisi tanah yang semakin rentan terhadap dampak gempa bumi. Selain evaluasi potensi likuifaksi, intensitas gempa pada penelitian ini juga dinyatakan dalam skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI) yang digunakan untuk menggambarkan tingkat guncangan gempa di permukaan. Nilai MMI diperoleh berdasarkan hubungan empiris dengan nilai percepatan tanah maksimum (PGA), sebagaimana diusulkan oleh [20], yang dinyatakan sebagai berikut:

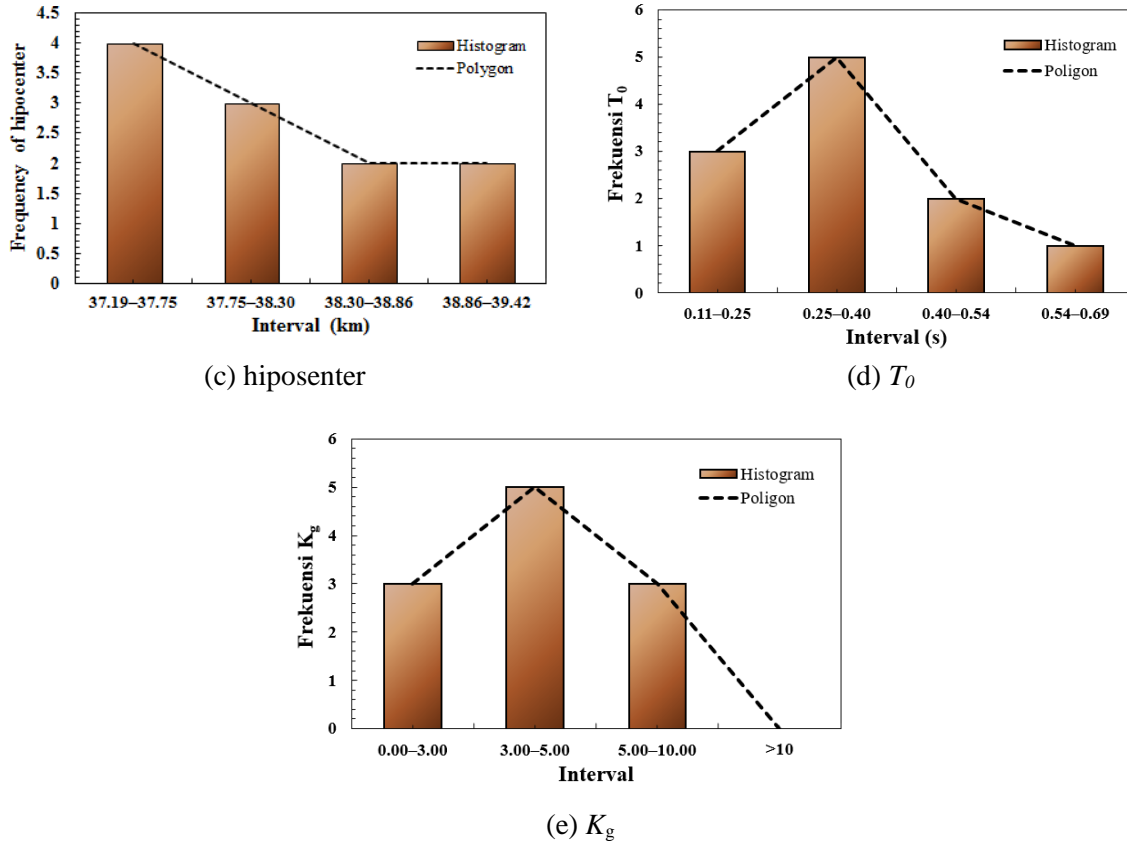
$$\log(PGA) = \left(\frac{1}{4} MMI\right) + \frac{1}{4} \quad (17)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Distribusi Parameter Mikrotremor

Distribusi parameter mikrotremor dan parameter seismik yang dianalisis dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 2, meliputi faktor amplifikasi (A_0), frekuensi dominan (f_0), jarak hiposenter, periode alami (T_0), dan koefisien seismik (Kg).





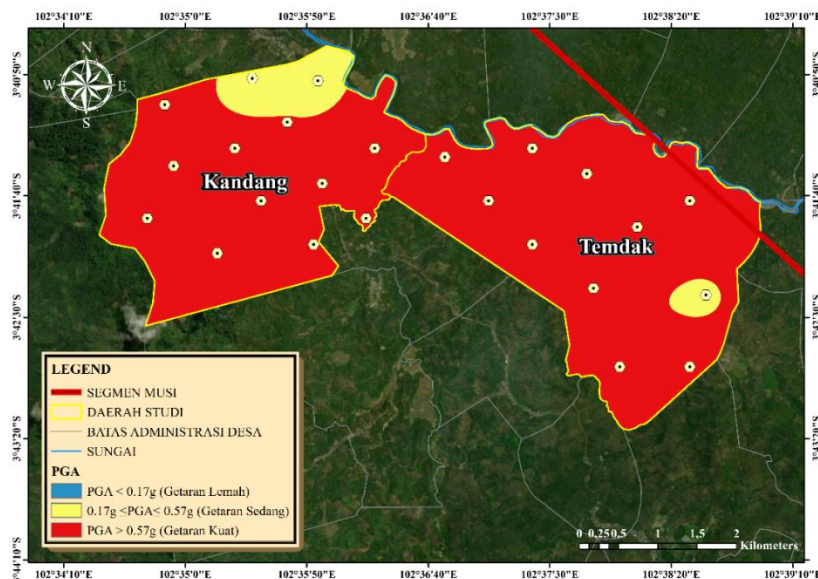
Gambar 2. Histogram dan distribusi frekuensi parameter (a) A_0 , (b) f_0 , (c) hiposenter, (d) T_0 , dan (e) K_g .

Distribusi parameter mikrotremor dan parameter seismik yang dianalisis dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 2, meliputi faktor amplifikasi (A_0), frekuensi dominan (f_0), jarak hiposenter, periode alami (T_0), dan koefisien seismik (K_g). Gambar 2(a) menunjukkan bahwa nilai A_0 didominasi pada rentang 3.21-3.70, yang mengindikasikan tingkat amplifikasi tanah sedang akibat keberadaan lapisan sedimen. Sementara itu, Gambar 2(b) memperlihatkan bahwa nilai f_0 umumnya berada pada kisaran 1.45-3.42 Hz, yang mengindikasikan lapisan sedimen relatif tebal, sedangkan nilai yang lebih tinggi hanya dijumpai pada beberapa lokasi.

Selanjutnya, Gambar 2(c) menunjukkan bahwa sebagian besar kejadian gempa memiliki jarak hiposenter 37.19-37.75 km yang mengindikasikan dominasi sumber gempa pada jarak menengah. Gambar 2(d) menunjukkan bahwa periode alami (T_0) umumnya berkisar antara 0.25-0.40 detik, mencerminkan respons dinamik tanah pada tingkat sedang. Sementara itu, Gambar 2(e) menunjukkan bahwa nilai koefisien seismik (K_g) didominasi oleh interval 3.00-5.00 seperti terlihat pada Gambar 2(e), yang mengindikasikan tingkat pengaruh seismik sedang di wilayah penelitian.

3.2 Distribusi Spasial *Peak Ground Acceleration* (PGA)

PGA di wilayah penelitian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, didominasi oleh nilai-nilai tinggi ($> 0.57 g$) yang termasuk dalam kategori getaran kuat. Sebaran nilai tersebut cukup merata di seluruh wilayah dengan hanya sebagian kecil wilayah yang masuk kategori sedang hingga rendah. Kondisi ini berarti bahwa wilayah penelitian secara umum sangat terpengaruh oleh efek percepatan tanah akibat aktivitas seismik.

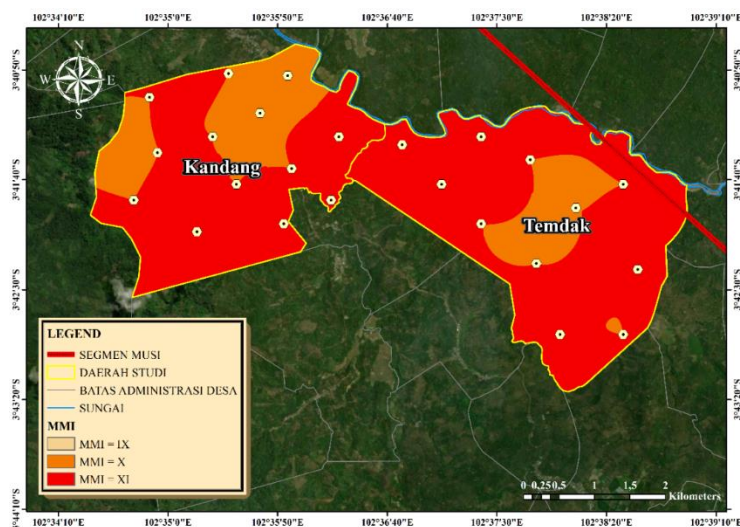


Gambar 3. Peta peak ground acceleration (PGA) di Kecamatan Seberang Musi, Kabupaten Kepahiang.

Hal ini berkontribusi pada peningkatan tegangan siklik pada lapisan tanah, sehingga berperan sebagai pemicu potensial likuifaksi karena peningkatan nilai CSR. Kondisi ini dapat meningkatkan potensi likuifaksi terutama pada lapisan tanah gembur dan jenuh dengan daya tahan rendah terhadap beban siklik. Kondisi ini juga dipengaruhi oleh geologi regional termasuk adanya Segmen Musi yang merupakan bagian dari Sistem Sesar Sumatra. Beberapa nilai yang lebih rendah yang diamati pada titik-titik tertentu dianggap terkait dengan kondisi tanah lokal yang lebih baik dalam meredam gelombang seismik.

3.3 Distribusi Intensitas Gempa (MMI)

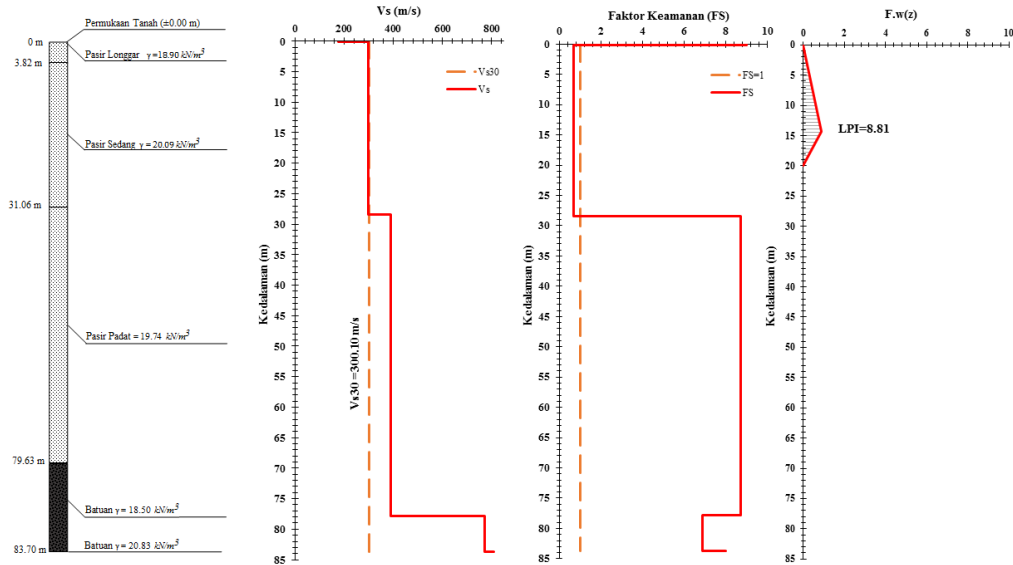
Distribusi Intensitas MMI di wilayah penelitian didominasi oleh intensitas tinggi pada kisaran MMI X-XI. Sementara hanya sebagian kecil wilayah yang berada pada intensitas rendah (MMI IX). Kondisi ini menunjukkan bahwa wilayah penelitian berpotensi mengalami guncangan kuat hingga sangat kuat akibat aktivitas seismik, terutama karena adanya Segmen Musi sebagai bagian dari Sistem Sesar Sumatra (Gambar 4).



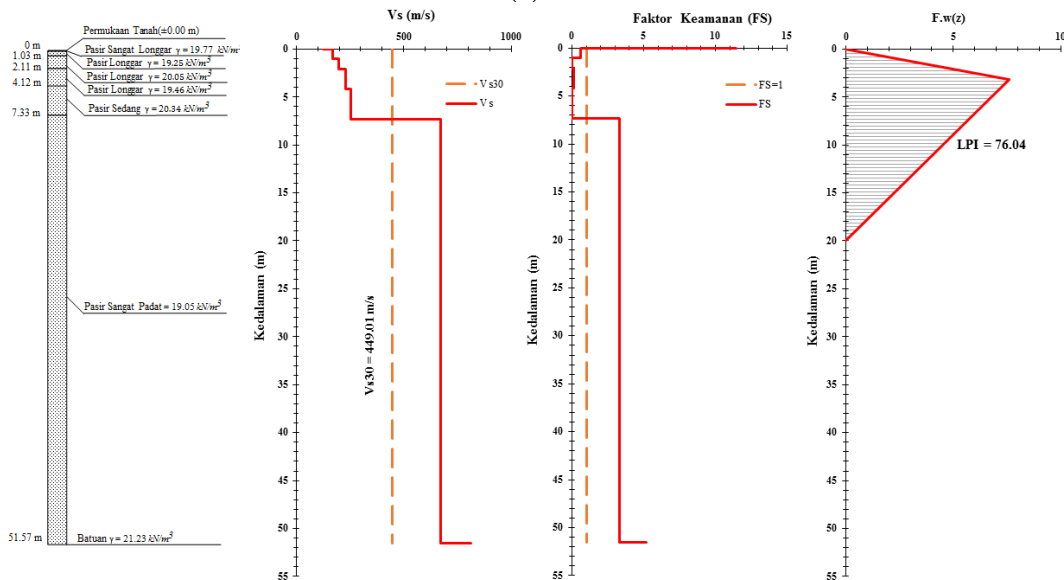
Gambar 4. Peta intensitas gempa (MMI) di Kecamatan Seberang Musi, Kabupaten Kepahiang.

Dari segi geoteknik, tingginya nilai MMI mencerminkan besarnya energi getaran yang diterima permukaan tanah sehingga dapat meningkatkan potensi deformasi dan kerusakan tanah. Tingginya intensitas gempa juga berkaitan dengan meningkatnya nilai PGA yang berkontribusi pada peningkatan tegangan siklik pada lapisan tanah. Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi terjadinya likuifaksi terutama pada tanah gembur dan jenuh air yang mempunyai ketahanan rendah terhadap beban gempa. Selain itu, tingginya transmisi energi seismik ke permukaan menunjukkan adanya respon dinamis tanah yang signifikan pada wilayah penelitian.

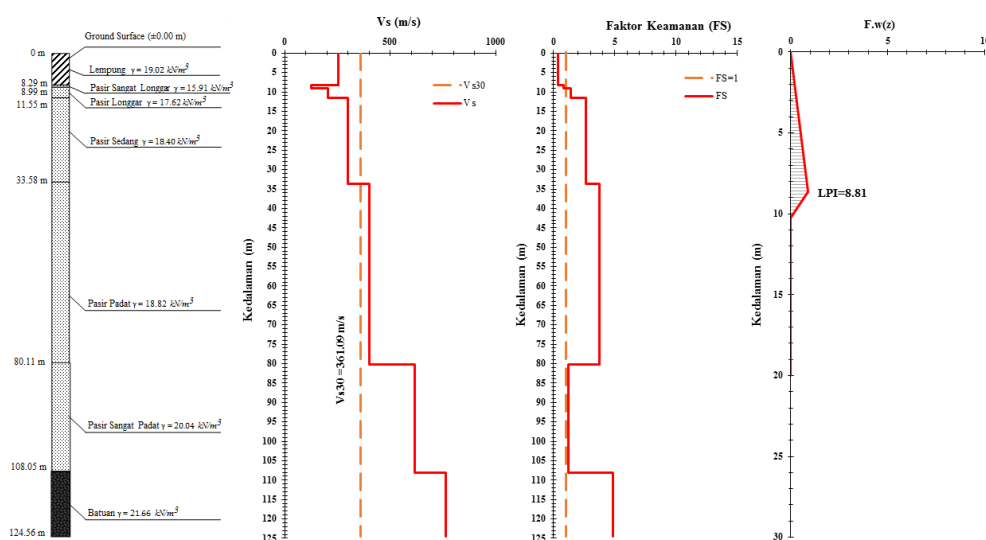
3.4 Distribusi Factor of Safety (FS) terhadap Kedalaman



(a) KP-1



(b) KP-14



(c) KP-15

Gambar 5 menunjukkan sebaran nilai FS yang menunjukkan variasi potensi likuifaksi terhadap kedalaman di setiap titik pengamatan. Pada Gambar 5a (titik 1) terdeteksi nilai $FS < 1$ pada lapisan dangkal hingga kedalaman sekitar 20 m, yang mengindikasikan adanya potensi likuifaksi pada tanah pasir lepas dengan ketebalan terbatas sehingga menghasilkan nilai LPI sebesar 5.81 yang tergolong sedang. Pada Gambar 5b (titik 14) terlihat bahwa zona dengan $FS < 1$ lebih dominan dan berkembang pada lapisan halus hingga tengah yang terdiri atas pasir sangat lepas hingga pasir lepas sehingga menyebabkan nilai LPI sangat tinggi yaitu sekitar 76.04.

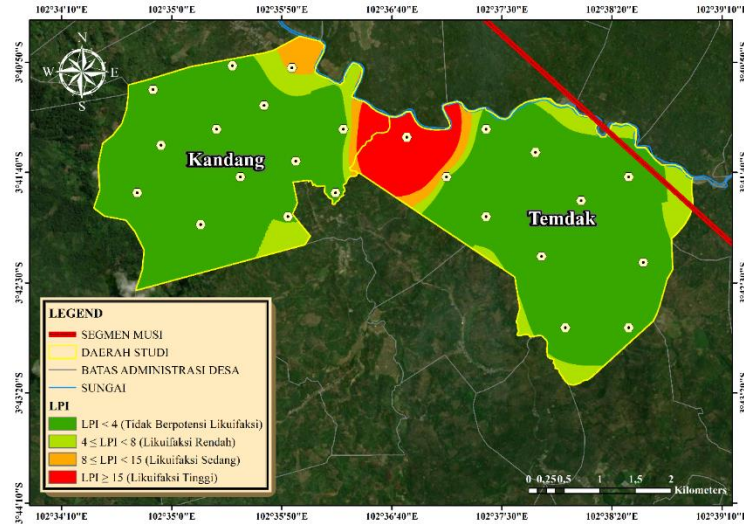
Gambar 5 menunjukkan sebaran nilai FS yang menunjukkan variasi potensi likuifaksi terhadap kedalaman di setiap titik pengamatan. Pada Gambar 5a (titik 1) terdeteksi nilai $FS < 1$ pada lapisan dangkal hingga kedalaman sekitar 20 m, yang mengindikasikan adanya potensi likuifaksi pada tanah pasir lepas dengan ketebalan terbatas sehingga menghasilkan nilai LPI sebesar 5.81 yang tergolong sedang. Pada Gambar 5b (titik 14) terlihat bahwa zona dengan $FS < 1$ lebih dominan dan berkembang pada lapisan halus hingga tengah yang terdiri atas pasir sangat lepas hingga pasir lepas sehingga menyebabkan nilai LPI sangat tinggi yaitu sekitar 76.04.

3.5 Analisis *Liquefaction Potential Index (LPI)*

Berdasarkan Gambar 5, nilai *Liquefaction Potential Index (LPI)* menunjukkan variasi tingkat kerentanan likuifaksi yang dipengaruhi oleh distribusi (FS) terhadap kedalaman. Pada Gambar 5a (titik 1), nilai LPI sebesar 5.81 mengindikasikan potensi likuifaksi sedang, yang disebabkan oleh keberadaan lapisan dengan $FS < 1$ pada kedalaman dangkal hingga sekitar 20 m dengan ketebalan yang relatif terbatas. Pada Gambar 5b (titik 14), nilai LPI meningkat secara signifikan hingga 76.04, yang menunjukkan potensi likuifaksi sangat tinggi akibat dominasi lapisan Pasir sangat lepas hingga pasir lepas dengan $FS < 1$ yang tersebar luas pada zona dangkal hingga menengah. Ketebalan lapisan rentan ini berperan besar dalam meningkatkan akumulasi nilai LPI.

Sementara itu, nilai LPI sebesar 4.45 pada Gambar 5c (titik 15) menunjukkan potensi likuifaksi rendah hingga sedang, karena zona dengan $FS < 1$ terbatas pada lapisan dangkal dengan ketebalan tipis, sedangkan lapisan di bawahnya didominasi oleh tanah

yang lebih padat dan stabil ($FS > 1$). Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa nilai LPI tidak hanya dikendalikan oleh keberadaan lapisan yang rentan, tetapi juga oleh ketebalan dan distribusi vertikalnya, di mana semakin tebal dan dominan zona dengan $FS < 1$, semakin tinggi potensi likuifaksi yang dihasilkan.



Gambar 6. Peta potensi likuifaksi berdasarkan Liquefaction Potential Index (LPI) di Kecamatan Seberang Musi, Kabupaten Kepahiang.

Sebaran nilai LPI pada Gambar 6 memperlihatkan bahwa tingkat potensi likuifaksi di wilayah penelitian tidak merata, dengan kategori yang bervariasi dari rendah hingga sangat tinggi. Wilayah dengan nilai LPI yang lebih tinggi menunjukkan tingkat kerentanan yang lebih besar terhadap likuifaksi, sedangkan wilayah dengan nilai LPI rendah cenderung memiliki kondisi tanah yang lebih stabil. Pola sebaran tersebut memberikan gambaran spasial mengenai potensi likuifaksi di wilayah penelitian sehingga dapat menjadi informasi pendukung dalam identifikasi daerah prioritas untuk mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan berbasis risiko.

Secara umum, hasil menunjukkan bahwa LPI mampu merepresentasikan potensi likuifaksi melalui distribusi FS terhadap kedalaman. Hal ini sejalan dengan [22], di mana LPI mengintegrasikan profil FS untuk menghasilkan parameter tunggal yang merepresentasikan tingkat keparahan likuifaksi secara keseluruhan pada suatu lokasi. Variasi nilai LPI dipengaruhi oleh ketebalan lapisan dengan $FS < 1$, terutama pada zona dangkal hingga menengah, yang menunjukkan peran kondisi tanah dalam menentukan tingkat kerentanan. Oleh karena itu, LPI dapat digunakan untuk mengidentifikasi zona yang lebih rentan terhadap likuifaksi. Hasil ini sejalan dengan [13] yang menyatakan bahwa metode LPI memiliki korelasi yang baik dalam memprediksi tingkat bahaya likuifaksi secara keseluruhan pada suatu lokasi.

Tabel 2. Ringkasan Statistik Parameter Seismik dan Geoteknik

Parameter	PGA (g)	V_{s30} (m/s)	K_g	LPI
Nilai minimum	0.399	240.577	2.387	0.000
Nilai maksimum	1.239	449.013	13.000	76.036
Nilai rata-rata	0.747	348.066	4.585	3.984
Standard deviasi	0.181	37.102	2.394	15.482

Berdasarkan Tabel 2, parameter seismik dan geoteknik pada wilayah penelitian menunjukkan variasi karakteristik kondisi tanah dan respons seismik di setiap lokasi. Nilai PGA berkisar antara 0.399–1.239 g yang mengindikasikan tingkat percepatan tanah relatif tinggi di wilayah penelitian. Nilai V_{s30} berada pada rentang 240.577–449.013 m/s yang menunjukkan variasi kondisi kekakuan tanah permukaan. Selain itu, nilai K_g berkisar antara 2.387–13.000 yang mencerminkan perbedaan tingkat kerentanan seismik lokasi. Variasi nilai LPI yang cukup besar, yaitu 0.000–76.036, menunjukkan bahwa potensi likuifaksi pada wilayah penelitian bervariasi dari rendah hingga sangat tinggi.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah dan distribusi titik investigasi tanah yang tersedia di wilayah penelitian. Jarak antar titik investigasi yang relatif berjauhan menyebabkan variasi kondisi bawah permukaan tanah di antara titik pengujian belum dapat terwakili secara rinci. Meskipun demikian, penelitian ini tetap mampu memberikan gambaran awal mengenai distribusi potensi likuifaksi di Kecamatan Seberang Musi dan dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan maupun upaya mitigasi bencana di wilayah tersebut.

3. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa wilayah Kecamatan Seberang Musi, khususnya Desa Kandang dan Desa Temdak, Kabupaten Kepahiang, memiliki potensi likuifaksi yang bervariasi akibat kondisi geoteknik dan aktivitas seismik yang tinggi. Nilai PGA yang tergolong tinggi ($>0,57$ g) serta intensitas gempa MMI X–XI menjadi faktor utama yang berpotensi memicu likuifaksi. Hasil analisis *Factor of Safety* (FS) menunjukkan bahwa potensi likuifaksi umumnya terjadi pada lapisan pasir gembur hingga sangat gembur yang jenuh air dengan nilai FS < 1 , sedangkan lapisan yang lebih dalam cenderung stabil karena memiliki kepadatan yang lebih tinggi. Perhitungan *Liquefaction Potential Index* (LPI) menghasilkan nilai yang bervariasi, yaitu 5,81 pada titik 1 (kategori sedang), 76,04 pada titik 14 (kategori sangat tinggi), dan 4,45 pada titik 15 (kategori rendah hingga sedang), yang menunjukkan bahwa ketebalan lapisan rentan berperan penting terhadap tingkat potensi likuifaksi. Secara keseluruhan, metode LPI mampu memberikan gambaran potensi likuifaksi secara komprehensif melalui distribusi nilai FS terhadap kedalaman sehingga hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam identifikasi zona rawan likuifaksi serta mendukung upaya mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan di wilayah penelitian.

Ucapan Terimakasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Geoteknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bengkulu atas dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya dalam penyediaan dan pengolahan data. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dan masukan selama penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] A. I. Hadi *et al.*, “Seismic microzonation of kepahiang regency, Indonesia using the HVSR method: enhancing Urban resilience to mitigate earthquake vulnerability,” *Indian Geotechnical Journal*, Jun. 2025, doi: 10.1007/s40098-025-01299-z.

- [2] B. I. Siburian, M. Marzuki, and A. M. Lubis, "Local site effects and seismic microzonation around Suban Area, Curup Rejang Lebong, Bengkulu deduced by ambient noise measurements," *Geoenvironmental Disasters*, vol. 11, no. 1, p. 5, Jan. 2024, doi: 10.1186/s40677-024-00268-7.
- [3] D. Didik Prayogo, "Geometry And Kinematics Of The Renun Segment Of The Sumatran Fault In North Sumatra," *International Journal of GEOMATE*, vol. 28, no. 126, Feb. 2025, doi: 10.21660/2025.126.4779.
- [4] L. Z. Mase, Refrizon, N. S. Pakpahan, A. Shelina, J. Wu, and S. Chaiyaput, "Site Characteristics of Musi Fault Zone in Kepahiang Urban Area, Bengkulu Province, Indonesia," *Transportation Infrastructure Geotechnology*, vol. 11, no. 4, pp. 2453–2482, Aug. 2024, doi: 10.1007/s40515-024-00375-w.
- [5] D. H. Natawidjaja, "The Sumatran Fault Zone-from Source to Hazard," 2007.
- [6] M. Farid, L. Z. Mase, and T. F. Fathani, "The Investigation of Subsurface Beds using Microtremor and Geo-electric Methods in A Liquefied Area in Bengkulu City After The Bengkulu-Mentawai Earthquake," *Indonesian Journal on Geoscience*, vol. 11, no. 3, pp. 377–390, Nov. 2024, doi: 10.17014/ijog.11.3.377-390.
- [7] S. Y. Kang, K.-H. Kim, Y. S. Gihm, and B. Kim, "Soil liquefaction potential assessment using ambient noise: A case study in Pohang, Korea," *Front. Earth Sci. (Lausanne)*, vol. 10, Nov. 2022, doi: 10.3389/feart.2022.1029996.
- [8] W. Wang *et al.*, "Mapping of Soil Liquefaction Associated with the 2021 Mw 7.4 Maduo (Madoi) Earthquake Based on the UAV Photogrammetry Technology," *Remote Sens. (Basel)*, vol. 15, no. 4, p. 1032, Feb. 2023, doi: 10.3390/rs15041032.
- [9] R. Misliniyati *et al.*, "Liquefaction Risk Assessment and Microzonation in Bengkulu Port Area After a Megathrust Earthquake," *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 43, no. 3, p. 126, Mar. 2025, doi: 10.1007/s10706-025-03090-6.
- [10] C. Eliesa Suhartini, L. Zalbuin Mase, and M. Farid, "Mapping the liquefaction potential index (LPI) in Ratu Agung subdistrict, Bengkulu City, Indonesia using the shear wave velocity approach," *E3S Web of Conferences*, vol. 331, p. 04014, Dec. 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202133104014.
- [11] L. Z. Mase, W. Tanapalungkorn, P. Anussornrajkit, and S. Likitlersuang, "Assessing liquefaction risk and hazard mapping in a high-seismic region: a case study of Bengkulu City, Indonesia," *Natural Hazards*, vol. 121, no. 6, pp. 6597–6623, Apr. 2025, doi: 10.1007/s11069-024-07057-3.
- [12] A. Cruz, S. Karimzadeh, N. Chieffo, E. Sandoval, and P. B. Lourenço, "A Review of Probabilistic Approaches for Assessing the Liquefaction Hazard in Urban Areas," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 31, no. 8, pp. 4673–4708, Dec. 2024, doi: 10.1007/s11831-024-10124-4.
- [13] S. Chanda, N. Kumar, and D. Kushwaha, "Liquefaction Potential Index (LPI): A Parameter to Assess Liquefaction Hazard," 2023, pp. 103–112. doi: 10.1007/978-981-99-3955-8_7.
- [14] D. J. L. Buhay *et al.*, "Mapping and characterization of the liquefaction impacts of the July and October 2022 earthquakes in Northwestern Luzon, Philippines," *Eng. Geol.*, vol. 342, p. 107759, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.enggeo.2024.107759.
- [15] BSSC, "Recommended provisions for seismic regulation for new buildings and other structures: Part 1–Provisions and Part 2–Commentary (FEMA 302, 303)," Washington, DC, 2020.

- [16] I. M. Idriss and R. W. Boulanger, "Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 26, no. 2–4, pp. 115–130, Feb. 2006, doi: 10.1016/j.soildyn.2004.11.023.
- [17] J. Douglas, "Ground motion prediction equations 19642023 (incomplete)," 2024. [Online]. Available: <https://www.strath.ac.uk/staff/douglasjohndr/>
- [18] R. W. Boulanger, I. M. Idriss, and R. W. Boulanger, "Center For Geotechnical Modeling Cpt And Spt Based Liquefaction Triggering Procedures Cpt And Spt Based Liquefaction Triggering Procedures," 2014.
- [19] Andrus and Stokoe, "andrus_2000_liquef_resistance_from_Vs," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2000, doi: 10.1061/(ASCE)1090-N_0241(2000)126:11(1015).
- [20] L. Z. Mase *et al.*, "Application of Simplified Energy Concept for Liquefaction Prediction in Bengkulu City, Indonesia," *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 41, no. 3, pp. 1999–2021, May 2023, doi: 10.1007/s10706-023-02388-7.
- [21] C. W. W. Ng, P. A. Crous, M. Zhang, and M. Shakeel, "Static liquefaction mechanisms in loose sand fill slopes," *Comput. Geotech.*, vol. 141, p. 104525, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.compgeo.2021.104525.
- [22] M. D. Syafrizal, L. Z. Mase, W. Tanapalungkorn, Z. Gao, and S. Likitlersuang, "Enhancing liquefaction analysis of the coastal area in Bengkulu City, Indonesia using data-driven techniques," *Bulletin of Earthquake Engineering*, Jan. 2026, doi: 10.1007/s10518-026-02362-7.