

Penggunaan metode LPI dalam menganalisis potensi likuefaksi di Kota Palu dengan lima variasi nilai M_w

Ilham Siwi Indra Pamungkas^{1*}, Raden Harya Dananjaya¹, Yusep Muslih Purwana¹, Galuh Chrismaningwang¹, Abdul Jalil²

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Indonesia

² Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Liquefaction
Earthquake
CSR
CRR
Factor of Safety
LPI

Corresponding Author:

Ilham Siwi Indra
Pamungkas
ilhamsiwi@gmail.com

Abstract

Liquefaction is the behavior of soil in which soil in saturated soil decreases and strength decreases due to increased pore water pressure during soil vibration caused by an earthquake. If the liquefaction potential is not properly calculated during infrastructure construction, changes in ground strength during an earthquake can cause infrastructure to collapse or deteriorate. A liquefaction event in the city of Palu caused the ground surface to shift and sink, destroying infrastructure in the area. Based on this, the liquefaction potential of Palu city should be thoroughly analyzed in order to determine the liquefaction risk before construction.

A simplified method proposed by Seed & Idriss (1971) calculates the value of the factor of safety (FS) based on the SPT data by comparing the values of CSR (Cyclic Stress Ratio) and CRR (Cyclic Resistance Ratio). Iwasaki et al. (1978, 1982) continued the simplification using the liquefaction potential index (LPI) method, providing results in the form of predictions of soil layer performance and liquefaction potential of the soil surface.

As a result of analysis using the LPI method, it was found that Palu City is an area with the potential for liquefaction with different LPI values for each location. Point B-1 is a very high liquefaction potential point with LPI value of 66.11 under the condition of M_w 7.5. An increase in the magnitude of an earthquake will affect the magnitude of LPI value. The larger the size scale, the larger LPI value analyzed.

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Indonesia tergolong sebagai salah satu negara yang terletak di sepanjang jalur Cincin Api Pasifik, sebuah jalur yang melingkari Samudra Pasifik dan mencakup sejumlah gunung berapi. Situasi ini berpotensi besar untuk terjadinya bencana gempa bumi. Hal ini didukung oleh fakta dimana Indonesia adalah salah satu negara dengan tingkat intensitas gempa yang tinggi dengan tingkat kegempaan melebihi

10 kali lipat dibandingkan dengan Amerika Serikat. (Arnold, 1986).

Dalam merencanakan struktur di daerah yang rentan terhadap gempa, salah satu faktor yang sangat penting adalah mengukur potensi likuefaksi di wilayah tersebut. Selain itu, umur dan sifat fisik sedimen, posisi muka air tanah, dan keberadaan serta karakteristik lapisan kedap air yang rendah juga menjadi faktor untuk terjadinya likuefaksi (Kramer, 1996).

Kota Palu memiliki risiko tinggi terhadap bencana gempa bumi. Salah satu konsekuensi yang sering terjadi akibat gempa bumi adalah likuefaksi. Dalam konteks ini, likuefaksi dapat mengakibatkan beberapa peristiwa seperti penurunan yang cepat (*quick settlement*), kemiringan fondasi (*tilting*), perbedaan penurunan (*differential settlement*), dan penggantian air sumur dengan material yang tidak mengikat (*non-kohesif*).

Pada tahun 2018 beberapa daerah seperti Balaroa mengalami peristiwa likuefaksi akibat gempa yang melanda di Kota Palu. Peristiwa ini menyebabkan permukaan tanah bergerak dan ambles sehingga bangunan infrastruktur di daerah tersebut hancur (Sutopo, 2018). Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dalam halaman resminya menjelaskan, likuefaksi yang terjadi pada daerah Balaroa menyebabkan 47,8 hektar area rusak dan 1.045 unit bangunan hancur.

Analisis potensi likuefaksi adalah salah satu komponen dalam tahap penyelidikan tanah yang berkaitan dengan gempa bumi. Jika potensi likuefaksi dalam pembangunan sebuah infrastruktur tidak diperhitungkan dengan baik, maka dapat terjadi keruntuhan dan penurunan infrastruktur akibat perubahan kekuatan tanah saat terjadi gempa. Berdasarkan hal tersebut, analisis potensi terjadinya likuefaksi perlu dilaksanakan dengan teliti agar dapat diketahui seberapa besar risiko terjadinya likuefaksi sebelum dilaksanakannya pembangunan. Analisa potensi likuefaksi memerlukan beberapa data hasil lapangan. Data yang umumnya diperlukan adalah nilai N_{SPT} , hasil uji *CPT*, hasil uji laboratorium sampel tanah serta data gempa pada daerah tinjauan.

Studi terkait likuefaksi menjadi topik yang menarik untuk diteliti. Menurut Kementerian PUPR, metode simplifikasi merupakan metode umum yang digunakan untuk menganalisis potensi terjadinya likuefaksi.

Metode simplifikasi hanya memprediksi apakah tanah pada kedalaman tertentu akan berpotensi terjadi likuefaksi, tidak untuk memprediksi tingkat keparahan likuefaksi pada permukaan tanah, sehingga diperlukan metode lain untuk mengatasi hal tersebut. Maurer dkk. (2013) menyatakan dalam penelitiannya, bahwa metode *LPI* efektif untuk memprediksi tingkat keparahan likuefaksi pada permukaan tanah. Kongar, Rossetto, and Giovinazzi (2017) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa performa model untuk menganalisis likuefaksi terhitung baik saat menggunakan metode *LPI*.

Rumusan masalah

Rumusan masalah yang dapat dihasilkan adalah sebagai berikut:

"Bagaimana hasil analisis terhadap potensi terjadinya likuefaksi di Kota Palu?"

Batasan masalah

Beberapa batasan yang perlu diperhatikan pada penelitian ini adalah: data sekunder yang digunakan berupa data N_{SPT} (*Number of Standard Penetration Test*) di Kecamatan Balaroa, penggunaan persamaan Metode Simplifikasi Seed and Idriss (1971) yang berhubungan dengan nilai N_{SPT} , penerapan Metode *LPI* (*Liquefaction Potential Index*) oleh Iwasaki, Tokida, and Tatsuoka (1981), serta penggunaan data gempa dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017.

Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil analisis potensi likuefaksi di Kota Palu dengan menggunakan metode *LPI* dalam beberapa variasi nilai M_w .

Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang teknik sipil, terutama dalam pemahaman potensi likuefaksi

berdasarkan data uji SPT (*Standard Penetration Test*) yang diperoleh dari lapangan setelah gempa di Kecamatan Balaroa. Diharapkan pula dapat memberikan informasi tambahan bagi praktisi dan akademisi yang tertarik mempelajari potensi likuefaksi yang dapat terjadi akibat gempa. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat digunakan sebagai data mitigasi dan sumber informasi mengenai potensi bencana likuefaksi di Kecamatan Balaroa, Palu Barat, Kota Palu, Sulawesi Tengah.

Landasan Teori

Gempa bumi

Gempa bumi didefinisikan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) sebagai getaran yang terjadi di dalam Bumi akibat aktivitas tektonik lempeng. Gempa bumi terjadi ketika lempeng tektonik yang terdapat di dalam bumi bergeser atau bertabrakan, yang menyebabkan terjadinya tegangan yang sangat besar di dalam bumi dan pelepasan energi yang menyebabkan terjadinya getaran atau gempa.

Peristiwa gempa bumi yang terjadi di berbagai wilayah Indonesia memiliki potensi menyebabkan terjadinya peristiwa likuefaksi atau peristiwa pelepasan tanah. Fenomena ini terjadi karena peningkatan tekanan air dalam pori-pori tanah yang disebabkan oleh getaran yang berasal dari gempa bumi (Tohari dkk., 2015).

Percepatan getaran tanah maksimum

Percepatan maksimum dari getaran tanah, juga dikenal sebagai *Peak Ground Acceleration (PGA)*, merujuk pada nilai terbesar dari percepatan getaran tanah yang terjadi di suatu lokasi akibat adanya gelombang gempa bumi. Penghitungan nilai *PGA* melibatkan analisis terhadap gempa-gempa yang terjadi dalam periode waktu tertentu dengan memperhitungkan magnitudo gempa, jarak dari pusat gempa (hiposenter), dan karakteristik perioda tanah di lokasi tersebut (Kirbani, 2012).

Amplifikasi merujuk pada peningkatan amplitudo gelombang gempa yang terjadi karena adanya perbedaan densitas yang signifikan antara lapisan-lapisan tanah. Gelombang gempa akan mengalami peningkatan amplitudo saat merambat dari satu medium ke medium lain yang lebih keras daripada medium awalnya. Perbedaan densitas yang semakin besar antara lapisan yang keras dan yang lunak akan memperbesar nilai amplifikasi. Metode amplifikasi ini dirumuskan pada Pers. (1).

$$a_{max} = PGA \times F_{PGA} \quad (1)$$

dimana *PGA* adalah nilai *Peak Ground Acceleration* dan *F_{PGA}* adalah nilai faktor amplifikasi. Besarnya nilai *F_{PGA}* tergantung dari klasifikasi jenis tanah, menurut SNI 1726 tahun 2019.

Standard penetration test

Metode yang sering digunakan untuk mengukur nilai kerapatan relatif adalah uji penetrasi standar atau yang lebih dikenal dengan sebutan uji SPT (*Standard Penetration Test*) dilakukan apabila sampel tanah tak terganggu sulit untuk diperoleh pada tanah granuler. Dalam pengujian ini, sifat-sifat tanah pasir akan ditentukan melalui pengukuran langsung kerapatan relatif di lapangan.

Pengujian SPT menghasilkan nilai yang bervariasi, tergantung pada jenis palu yang digunakan dan metode penjatuhan yang diterapkan selama pengujian. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan nilai *N_{SPT}* terkoreksi dalam analisis potensi likuefaksi. Idriss and Seed (1982b) mengusulkan untuk menggunakan nilai *(N₁)₆₀*, yaitu nilai *N_{SPT}* yang telah dikoreksi terhadap energi 60%. *(N₁)₆₀* yang diformulasikan pada Pers. (2) berikut:

$$(N_1)_{60} = N \cdot C_N \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_E \cdot C_S \quad (2)$$

dimana *(N₁)₆₀* = 60% energi terkoreksi *N_{SPT}*, *C_N* = faktor koreksi tegangan *overburden* tanah, *C_B* = faktor koreksi diameter lubang bor, *C_R* = faktor koreksi panjang lubang, *C_E* = faktor koreksi rasio

energi palu dan C_S = faktor koreksi metode *sampling*. Nilai C_N menggunakan perumusan Kayen (1992 dalam Kramer, 1996) seperti dituliskan pada Pers. (3) berikut.

$$C_N = \frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma'_v}{p_o}} \quad (3)$$

Likuefaksi

Likuefaksi dapat diartikan sebagai perilaku tanah dimana terjadi penurunan bahkan sampai hilangnya kekuatan pada tanah yang jenuh. Hal ini dikarenakan adanya peningkatan tekanan air pori selama getaran tanah akibat gempa (Idriss and Seed, 1982a).

Pasir dianggap sebagai satu-satunya jenis tanah yang rentan terhadap likuefaksi apabila dilihat dari histori terjadinya likuefaksi, tetapi likuefaksi juga diamati pada kerikil dan lanau. Tanah lempung, khususnya tanah yang sensitif, akan menunjukkan perilaku pencairan, tetapi tidak mencair seperti tanah berpasir (Johansson, 2000).

Metode simplifikasi

Metode simplifikasi adalah metode membandingkan nilai *CSR* (*Cyclic Stress Ratio*) dengan *CRR* (*Cyclic Resistance Ratio*) yang dimiliki oleh tanah sebagai tahanan tanah terhadap likuefaksi. Nilai *CSR* adalah rasio tegangan geser rata-rata yang ditimbulkan oleh gempa bumi terhadap tegangan normal efektif di setiap tingkat. Nilai *CSR* dirumuskan pada Pers. (4).

$$CSR = 0,65 \times \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) \times r_d \quad (4)$$

dimana a_{max} = percepatan seismic puncak (*PGA*), g = percepatan gravitasi, σ_{vo} = tegangan *overburden* vertikal total, σ'_{vo} = tegangan *overburden* vertikal efektif dan r_d = koefisien tegangan reduksi.

CRR adalah ukuran ketahanan lapisan tanah terhadap beban siklik. Persamaan (5) merupakan persamaan yang hanya berlaku untuk $CRR_{7,5}$ dengan nilai $(N_1)_{60cs}$ di bawah

30. Jika $(N_1)_{60cs}$ melebihi 30, maka $CRR_{7,5}$ memiliki nilai 1,2. Namun, untuk tanah dengan kontinuitas kurang dari 5% perhitungannya didasarkan pada Pers. (6).

$$CRR_{7,5} = \frac{\tau_1}{\sigma'_{vo}} \quad (5)$$

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34-N} + \frac{N}{135} + \frac{50}{(10N+45)^2} - \frac{1}{200} \quad (6)$$

dimana $CRR_{7,5} = CRR$ untuk gempa dengan *magnitude* M_w 7,5, τ_1 = tegangan geser yang terjadi pada bidang horizontal dan $N = (N_1)_{60cs}$.

Nilai *CRR* dengan besar M_w selain M_w 7,5 dapat dihitung menggunakan Pers. (7) yang diusulkan oleh Youd dan Idriss (2001) sebagai berikut.

$$CRR_{M_w} = CRR_{7,5} \times MSF \times K_\sigma \times K_a \quad (7)$$

dimana $CRR_{(M_w)} = CRR$ untuk gempa diluar M_w 7,5, *MSF* = *magnitude scale factor*, K_σ = faktor koreksi tegangan efektif tanah dan K_a = faktor koreksi kemiringan lereng.

Setelah diperoleh nilai *CSR* dan *CRR*, selanjutnya dilakukan perbandingan antara tersebut sehingga diperoleh nilai *factor of safety* (*FS*). Untuk melakukan analisis yang akurat, diperlukan nilai *CSR* dan *CRR* sebagai faktor pendukung yang digunakan pada Pers. (8) berikut.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (8)$$

Apabila nilai *FS* di bawah 1, maka daerah tinjauan memiliki potensi terjadinya likuefaksi. Jika *FS* sama dengan 1, maka terjadi kondisi kritis akan likuefaksi, dan jika *FS* di atas 1, maka tidak berpotensi terjadi peristiwa likuefaksi di daerah tinjauan.

Metode LPI

Liquefaction Potential Index (*LPI*) dikemukakan oleh Iwasaki et al. (1981) dimana perhitungan potensi likuefaksi berdasarkan lebar dan kedalaman dari area yang berpotensi terjadinya likuefaksi dan berdasarkan data historis likuefaksi di

daerah tersebut. Berbeda dengan metode simplifikasi Seed and Idriss (1971), metode *LPI* memprediksi kinerja dari lapisan tanah dan potensi likuefaksi pada permukaan tanah. *LPI* yang dikemukakan oleh Iwasaki et al. (1981) dapat dirumuskan pada Pers. (9) sebagai berikut.

$$LPI = \sum_{i=1}^n F_i \times W_i \times H_i \quad (9)$$

Metode *LPI* memiliki potensi untuk menghitung faktor keamanan setiap lapisan tanah, menghitung kedalaman dan ketebalan setiap lapisan, dan

mengintegrasikan faktor-faktor tersebut di sepanjang lapisan tanah hingga kedalaman 20 m. Dengan cara ini, estimasi kerentanan likuefaksi menggunakan metode *LPI* lebih mewakili kondisi aktual yang terjadi selama gempa bumi (Toprak and Holzer 2003). Selain itu, setelah interval *LPI* diklasifikasikan sesuai dengan Tabel (1), indeks tersebut mencerminkan peningkatan keparahan bahaya likuefaksi, yang berguna untuk memprediksi kerusakan akibat likuefaksi.

Tabel 1. Klasifikasi *Liquefaction Potential Index*

<i>LPI</i>	Potensi Likuefaksi	Penjelasan
0	Sangat rendah	Tidak diperlukan metode perbaikan
$0 < LPI \leq 5$	Relatif rendah	Diperlukan investigasi untuk fasilitas penting
$5 < LPI \leq 15$	Relatif tinggi	Diperlukan perbaikan tanah dan penyelidikan fasilitas yang sangat diperlukan
$LPI > 15$	Sangat tinggi	Sangat diperlukan perbaikan tanah.

Metodologi Penelitian

Uraian umum

Penelitian ini didasarkan pada data sekunder yang telah ada, dengan tujuan menganalisis potensi likuefaksi di Kota Palu. Metode simplifikasi berdasarkan formula Seed and Idriss (1971), serta metode *LPI* yang dikembangkan oleh Iwasaki et al. (1981) digunakan untuk menganalisis potensi likuefaksi.

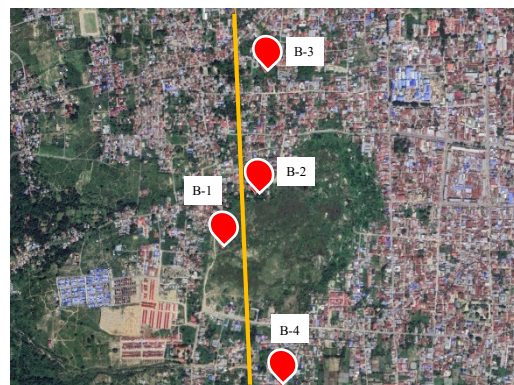
Pemilihan kedua metode ini dikarenakan metode tersebut memiliki tingkat efektivitas yang lebih tinggi (Brett W. Maurer, 2013) dan metode yang umum dipakai untuk menganalisis potensi terjadinya likuefaksi.

Lokasi penelitian

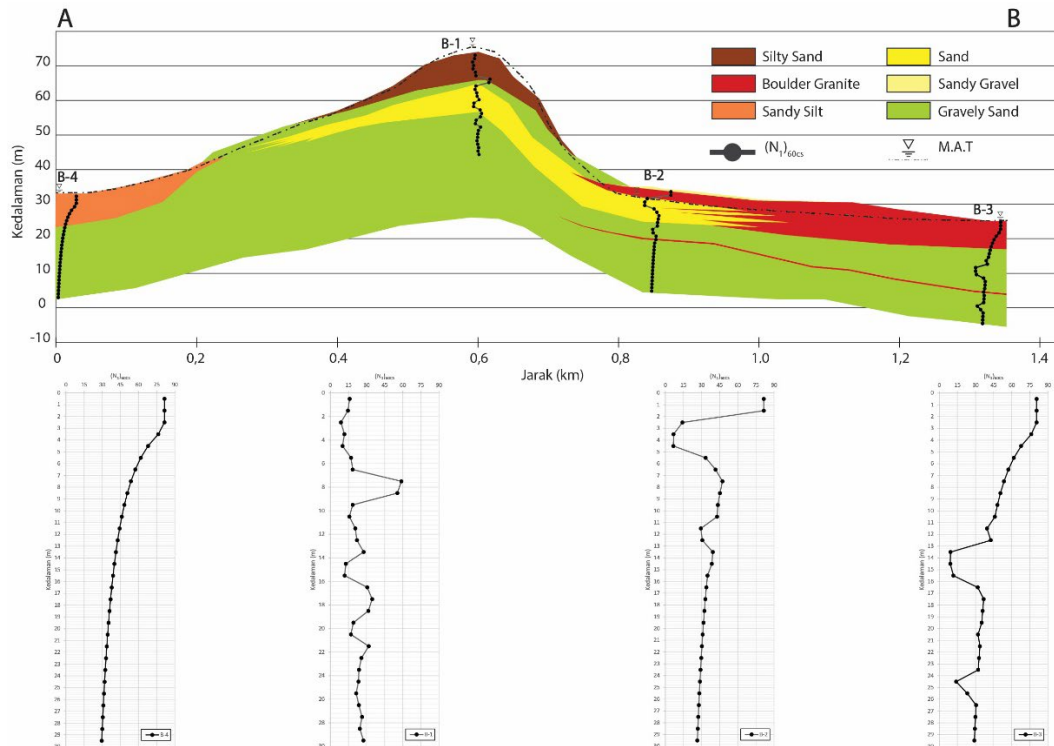
Penelitian ini dilakukan di Surakarta. Pada penelitian ini berfokus untuk memprediksi potensi terjadinya likuefaksi di Kota Palu menggunakan dua metode dengan data uji *SPT* Kota Palu. Sedangkan data gempa menggunakan gempa pada Peta Persebaran Gempa di Kota Palu berdasarkan SNI 1726 2019.

Pengumpulan data sekunder

Penelitian ini menggunakan data tanah yang terdiri dari hasil uji *N_{SPT}* (*Number of Standard Penetration Test*) yang dilakukan di berbagai lokasi di Kota Palu, serta data tanah yang diperoleh melalui uji laboratorium. Sebaran titik bor pada data ini tersebar di beberapa wilayah seperti terlihat pada Tabel (2) dan Gambar (1). Sementara gambar stratifikasi tanah dan borlog disajikan pada Gambar (2).



Gambar 1. Peta persebaran titik borelog



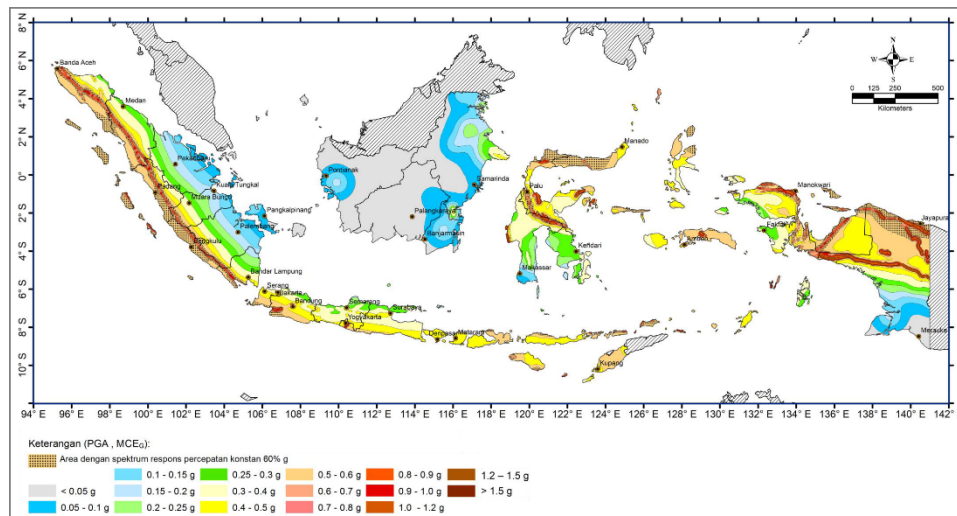
Gambar 2. Stratifikasi tanah dan data titik borelog

Tabel 2. Koordinat persebaran titik borelog

Bore Log	Koordinat	
	...°E	...°S
B-1	119.8402	0.9063
B-2	119.8417	0.9042
B-3	119.8421	0.8995
B-4	119.8428	0.9117

Data tanah hasil bor dalam pertama-tama diproses untuk menytratifikasi jenis tanah. Selanjutnya, hasil dari stratifikasi tanah tersebut dicari nilai berat volume untuk jenis tanahnya.

Besarnya percepatan maksimum di permukaan tanah terlebih dahulu harus diketahui sebelum melakukan analisis potensi likuefaksi. Nilai tersebut dihitung dengan mengalikan percepatan tanah di batuan dasar (PGA), yang diperoleh dari peta persebaran gempa di Indonesia, dengan faktor amplifikasi F_{PGA} . Berdasarkan Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) PGA $MCEg$ pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017, Kota Palu memiliki nilai PGA sebesar 0,7 g sampai dengan 0,8 g. Peta PGA $MCEg$ ditunjukkan pada Gambar (3).



Gambar 3. Peta percepatan puncak (PGA) MCEg

Analisa potensi likuefaksi

Dalam penelitian ini, digunakan metode simplifikasi Seed and Idris (1971) dan LPI oleh Iwasaki et al. (1981) dalam analisa potensi likuefaksi. Nilai FS yang sudah didapatkan pada metode simplifikasi selanjutnya dimasukkan pada metode LPI.

Analisis dan Pembahasan

Pengolahan data gempa

Besarnya nilai PGA didapatkan berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 dan berdasarkan halaman situs RSA Ciptakarya, dari nilai tersebut bisa didapatkan nilai percepatan maksimal gempa di permukaan (a_{max}). Nilai percepatan maksimum gempa di permukaan dihitung menggunakan Pers. (1), nilai tersebut disajikan pada Tabel (3) berikut.

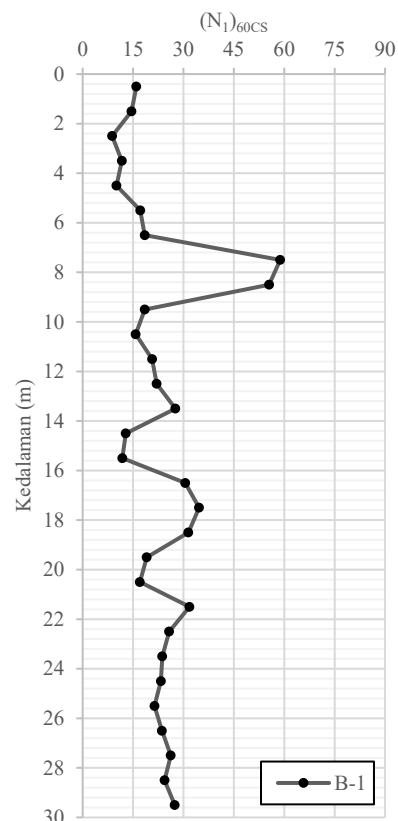
Tabel 3. Nilai percepatan maksimum gempa

Bore Log	m.a.t (m)	PGA (gal)	F_{PGA}	a_{max} (gal)
B-1	-1,60	0,74	1,1	0,81
B-2	2,55	0,73	1,1	0,80
B-3	-0,10	0,75	1,1	0,83
B-4	-0,41	0,73	1,1	0,80

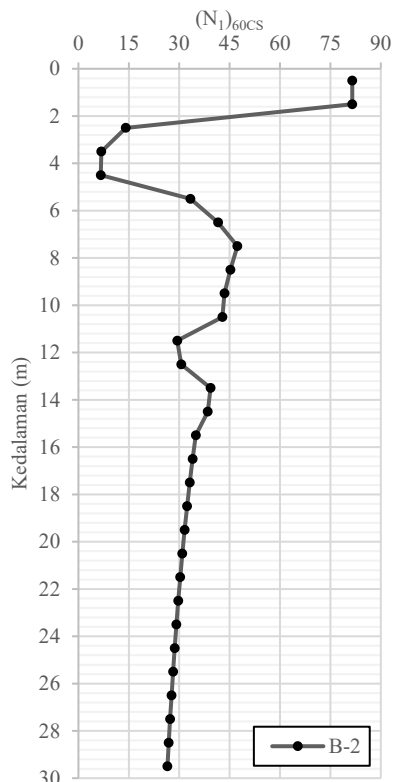
Pengolahan data tanah

Data tanah yang digunakan berupa data tanah laboratorium dan data tanah hasil

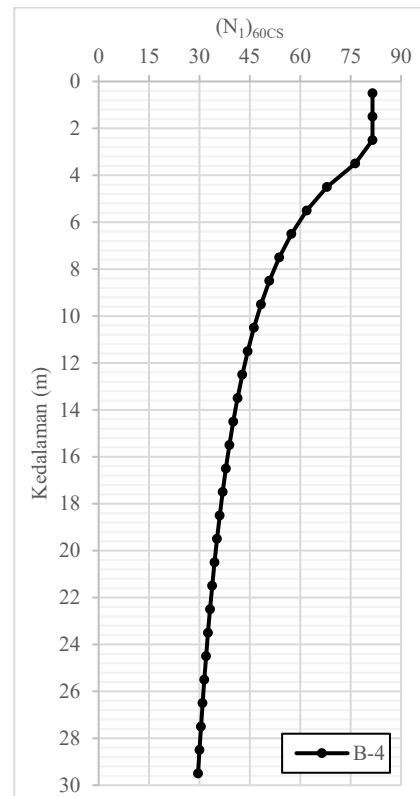
uji SPT. Pada pengolahan data tanah ini akan didapatkan nilai $(N_1)_{60}$ yang kemudian dikoreksi terhadap *Fines Content (FC)*. Sehingga didapatkan grafik $(N_1)_{60cs}$ pada setiap titik borelog yang disajikan pada Gambar (4) sampai dengan Gambar (7).



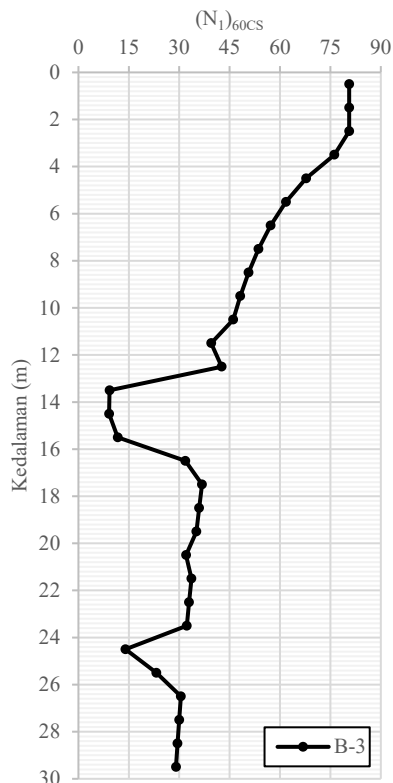
Gambar 4. Grafik SPT titik B-1



Gambar 5. Grafik SPT titik B-2



Gambar 7. Grafik SPT titik B-4

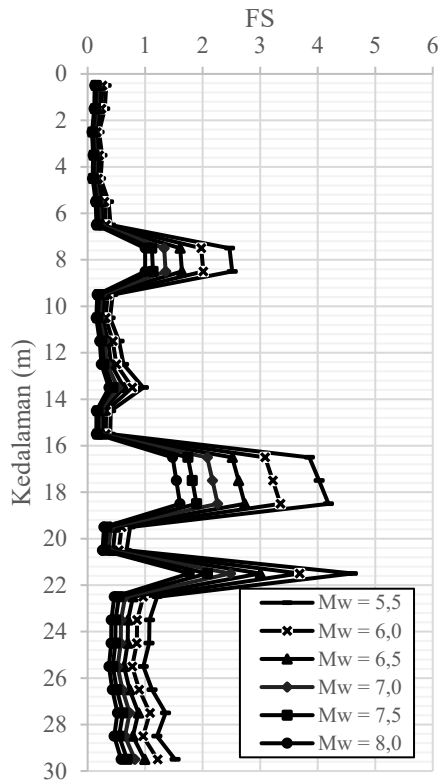


Gambar 6. Grafik SPT titik B-3

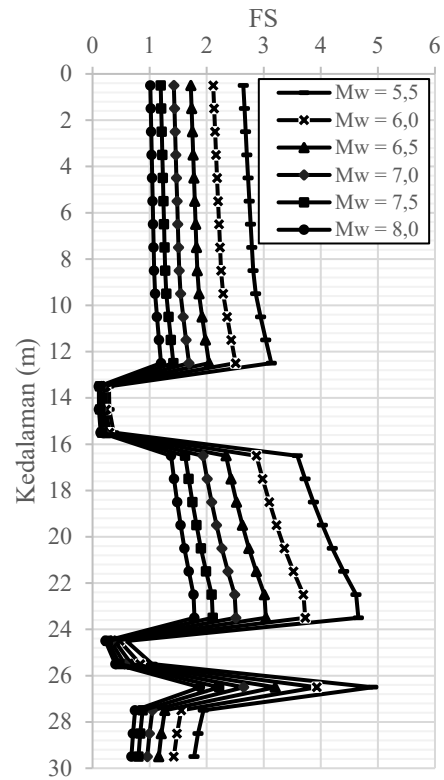
Hasil perhitungan

Perhitungan yang dilakukan berdasarkan dua metode, yaitu simplifikasi dan LPI. Pada metode simplifikasi potensi likuefaksi yang terjadi dapat dianalisis dengan menggunakan nilai $(N_1)_{60cs}$. Nilai *CRR* diperoleh melalui analisis tersebut yang selanjutnya digunakan untuk memperoleh nilai *FS* (*Factor of Safety*), yaitu dengan cara membagi antara *CRR* dengan *CSR*. Nilai *FS* dari setiap titik disajikan pada Gambar (8) sampai dengan Gambar (11).

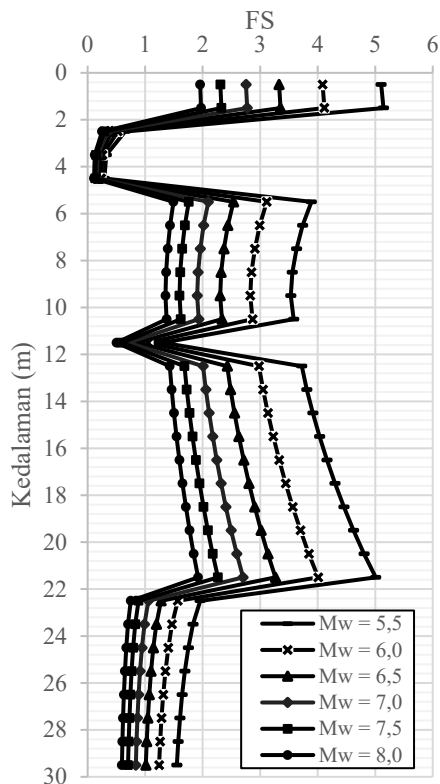
Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode *LPI*, tujuan dari perhitungan nilai *LPI* adalah untuk mengevaluasi potensi terjadinya likuefaksi regional. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, titik B-1 memiliki potensi yang tinggi untuk terjadinya likuefaksi dibandingkan dengan titik lain. Hasil perhitungan menggunakan metode ini disajikan pada Tabel (4) sampai dengan Tabel (7).



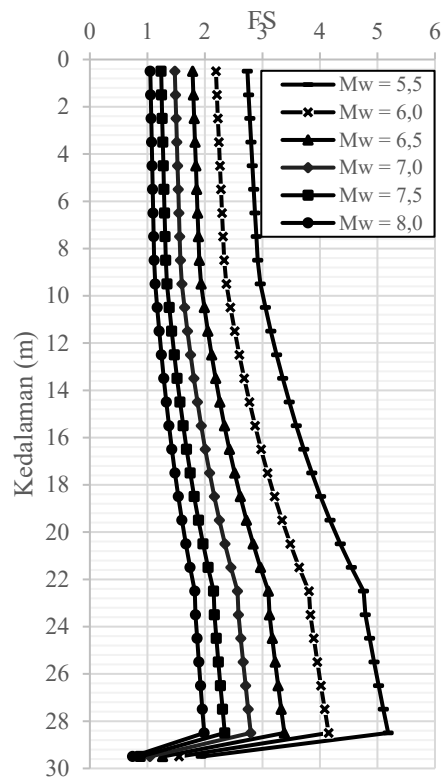
Gambar 8. Grafik FS titik B-1



Gambar 10. Grafik FS titik B-3



Gambar 9. Grafik FS titik B-2



Gambar 11. Grafik FS titik B-4

Tabel 4. Nilai LPI titik B-1

M _w	LPI	Kategori
5,5	50,04	Sangat Tinggi
6,0	55,89	Sangat Tinggi
6,5	60,25	Sangat Tinggi
7,0	63,55	Sangat Tinggi
7,5	66,11	Sangat Tinggi
8,0	68,13	Sangat Tinggi

Tabel 5. Nilai LPI titik B-2

M _w	LPI	Kategori
5,5	11,07	Tinggi
6,0	12,06	Tinggi
6,5	12,79	Tinggi
7,0	13,34	Tinggi
7,5	13,77	Tinggi
8,0	14,11	Tinggi

Tabel 6. Nilai LPI titik B-3

M _w	LPI	Kategori
5,5	5,67	Tinggi
6,0	6,19	Tinggi
6,5	6,57	Tinggi
7,0	6,86	Tinggi
7,5	7,08	Tinggi
8,0	7,26	Tinggi

Tabel 7. Nilai LPI titik B-4

M _w	LPI	Kategori
5,5	0	Sangat Rendah
6,0	0	Sangat Rendah
6,5	0	Sangat Rendah
7,0	0	Sangat Rendah
7,5	0	Sangat Rendah
8,0	0	Sangat Rendah

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis potensi likuefaksi di Balaroa, Palu Barat, Kota Palu, maka dapat diambil kesimpulan daerah tersebut berpotensi terjadinya likuefaksi dengan kategori dan variasi M_w yang berbeda di setiap titiknya. Titik B-1 adalah satu-satunya titik yang memiliki tingkat potensi yang sangat tinggi, kategori tersebut ditemukan pada semua variasi M_w . Sementara pada titik B-4 tidak memiliki potensi terjadinya likuefaksi.

Pertambahan nilai magnitudo gempa memengaruhi besarnya nilai LPI, pada magnitudo 5,5 nilai LPI lebih kecil dibandingkan nilai LPI pada skala magnitudo di atasnya. Semakin besar skala magnitudo, maka semakin besar pula nilai LPI yang dianalisis.

Daftar Pustaka

- Alihudien, A., Suhartinah, Wardana, D. D. (2018). "Analysis of Liquefaction Potential Based on Standart Penetration Test (SPT) in Puger, Jember, Indonesia." *International Conference on Computer Science and Engineering* 1(10):102–108. doi: <https://doi.org/10.4108/eai.24-10-2018.2280508>.
- Arnold, E. (1986). *Southeast Asia Association on Seismology and Earthquake Engineering*. Indonesia: Series on Seismology Volume V.
- Hardiyatmo, H. C. (2020). *Analisis dan Perancangan Findasi II (edisi ke-5)*. Yogyakarta: UGM Press.
- Idriss, I. M., & Seed, H. B. (1982a). *Ground Motions and Soil Liquefaction Dering Earthquakes*. Oakland: Earthquake Engineering Research Institute.
- Idriss, I. M., & Seed, H. B. (1982b). *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*. Oakland: Earthquake Engineering Research Institute.
- Iwasaki, T., Tokida, K., & Tatsuoka, F. (1981). "Soil Liquefaction Potential Evaluation with Use of the Simplified Procedure." in *Internasional Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. St. Louis, Missouri: Missouri University of Science and Technology.
- Johansson, J. (2000). "Which Soils Are Liquefaction Susceptible?" *University of Washington*. Retrieved

- (<https://depts.washington.edu/liquefy/html/main.html>).
- Kirbani, S. (2012). *Mitigasi Bencana Gempabumi*. Yogyakarta: Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada.
- Kongar, Indranil, Rossetto, T. & Giovinazzi, S. (2017). "Evaluating Simplified Methods for Liquefaction Assessment for Loss Estimation." *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17(5):781–800. doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-17-781-2017>.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Washington DC: University of Washington.
- Maurer, B. W., Green, R. A., Cubrinovski, M. & Bradley, B. A. (2013). *Evaluation of Liquefaction Potential Index (LPI) for Assessing Liquefaction Hazard: A Case Study in Christchurch, New Zealand*. Virginia Tech, USA: Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Canterbury.
- Seed, H. B., & Idriss I. M. (1971). "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential." *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* 97(9). doi: <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001662>.
- Suharjanto. (2013). *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta: Kepel Press.
- Sutopo. (2018). *Likuefaksi: Ketika Tanah Di Kota Palu Dan Sekitarnya Tiba-Tiba "Ambles."* Palu.
- Tohari, Adrin, Sugianti, K., Syahbana, A. J. & Soebowo, E. (2015). "Kerentanan Likuefaksi Wilayah Kota Banda Aceh Berdasarkan Metode Uji Penetrasi Konus." *Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan* 25(2):99. doi: 10.14203/risetgeotam2015.v25.204.
- Toprak, Selcuk, & Holzer, T. L. (2003). "Liquefaction Potential Index: Field Assessment." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 129(4):315–22. doi: 10.1061/(asce)1090-0241(2003)129:4(315).