

ANALYSIS OF THE LIQUEFACTION POTENTIAL OF PALU CITY USING QUALITATIVE AND QUANTITATIVE METHODS

Rizky Johan Adi Pratama ^[1], Krisnamurti ^[2], Luthfi Amri Wicaksono ^[3]

^{[1]. [2]. [3]} Civil Engineering Department, Universitas Jember, Indonesia
Email: rizky.johan37@gmail.com.

Received: 18 February 2022 / Accepted: 21 March 2022

DOI [10.28932/jts.v18i1.4526](https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.4526)

How to cited this article:

Pratama, R.J.A., Krisnamurti, Wicaksono, L.A., (2022). Analisa Potensi Likuifaksi Kota Palu Menggunakan Metode Kualitatif dan Kuantitatif. Jurnal Teknik Sipil, 18(1), 140–151. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.4526>

ABSTRACT

In 2018, there was an earthquake measuring 7.7 on the Richter scale that shook the city of Palu, Central Sulawesi. The epicenter was 26 km north of Donggala Regency and 80 km northwest of Palu City. The earthquake caused the land of the location to become saturated and experience liquefaction. This research aims to find out how much potential liquefaction will occur in an area using qualitative methods and quantitative methods. After conducting qualitative analysis consisting of historical, geological, and soil composition criteria the results are still potential liquefaction, with these results, the research continued with quantitative analysis with Simplified Seed method by Idriss Boulanger (2010) with data on 3 boring log samples in the area. Based on the results reviewed using qualitative analysis, the data of 3 boring samples has the potential to occur liquefaction, so it continues with quantitative analysis to support the results of qualitative analysis. From the results of calculations using the largest magnitude value ever occurred, which is 7.7 SR with the result of Safety Factor value < 1 . At points SB01, SB02, and SB03 have Safety Factor values of 0.184 – 0.992.

Keywords: Earthquakes, Liquefaction, Simplified Seed, Qualitative, Quantitative.

ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI KOTA PALU MENGGUNAKAN METODE KUALITATIF DAN KUANTITATIF

ABSTRAK

Pada tahun 2018 yang lalu telah terjadi gempa bumi berkekuatan 7,7 skala Richter yang mengguncang Kota Palu, Sulawesi Tengah. Pusat gempa berada di 26 km arah utara dari Kabupaten Donggala dan 80 km arah barat laut dari Kota Palu. Gempa tersebut mengakibatkan tanah lokasi tersebut menjadi jenuh dan mengalami likuifaksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar potensi likuifaksi yang akan terjadi pada suatu daerah dengan menggunakan metode kualitatif dan metode kuantitatif. Setelah melakukan analisa kualitatif yang terdiri dari kriteria historis, geologis, dan komposisi tanah hasilnya masih berpotensi likuifaksi, dengan hasil tersebut maka penelitian dilanjutkan dengan analisa kuantitatif dengan metode *Simplified Seed* oleh Idriss Boulanger (2010) dengan data 3 sampel boring log pada area tersebut. Berdasarkan hasil yang ditinjau menggunakan analisa kualitatif, data 3 sampel boring berpotensi terjadi likuifaksi, sehingga dilanjutkan dengan analisa kuantitatif untuk mendukung hasil analisa kualitatif. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan nilai magnitude terbesar yang pernah terjadi yaitu sebesar 7,7 SR dengan hasil nilai *Safety Factor* < 1 . Pada titik SB01, SB02, dan SB03 memiliki nilai *Safety Factor* sebesar 0,184 – 0,992.

Kata kunci: Gempa Bumi, Likuifaksi, *Simplified Seed*, Kualitatif, Kuantitatif.

1. PENDAHULUAN

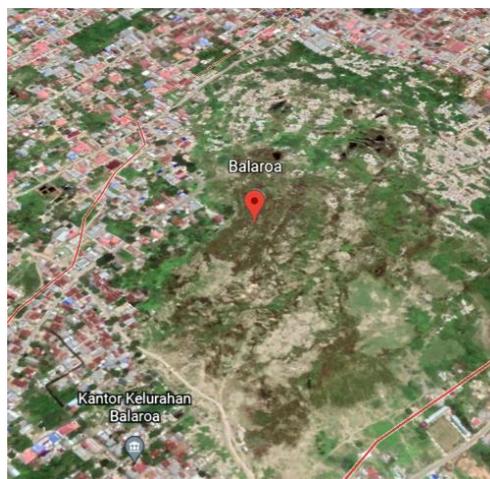
Indonesia dapat dikatakan sebagai wilayah yang rawan gempa. Pusat Studi Gempa Nasional yang berada di bawah naungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat menyusun buku Peta Sumber dan Bahaya Gempa tahun 2017. Peta gempa tersebut memberikan informasi penting mengenai wilayah yang berpotensi besar untuk mengalami gempa bumi di Indonesia. Diharapkan dengan adanya peta gempa di Indonesia, pemerintah dapat mengurangi risiko bencana.

Pada tahun 2018 yang lalu telah terjadi gempa bumi berkekuatan 7,7 skala Richter yang mengguncang Kota Palu, Sulawesi Tengah. Pusat gempa berada di 26 km arah utara dari Kabupaten Donggala dan 80 km arah barat laut dari Palu. Beberapa saat setelah guncangan gempa di Kota Palu mereda, terjadi suatu fenomena pencairan tanah atau yang biasa dikenal sebagai likuifaksi. Likuifaksi yang terjadi membuat ratusan bangunan amblas dan terkubur masuk ke dalam tanah. Tanah di sekitar lokasi kejadian seolah-olah kehilangan kekuatannya untuk menopang beban bangunan di atasnya.

Likuifaksi umumnya terjadi pada wilayah yang rawan gempa dengan sumber gempa berada di kedalaman dangkal, seperti yang terjadi di Kota Palu. Potensi likuifaksi di suatu wilayah umumnya dapat diidentifikasi, dianalisa dan dihitung. Oleh karena itu, untuk menghindari terjadinya kegagalan struktur pada saat gempa yang disebabkan oleh likuifaksi, maka diperlukan analisa likuifaksi pada suatu wilayah.

2. METODOLOGI

Lokasi penelitian berada di Kelurahan Balaroa, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu, Sulawesi Tengah. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di wilayah pemukiman penduduk dengan 1300 bangunan di sekitar lokasi yang terdiri dari rumah penduduk, apotek, puskesmas, sekolah, dan swalayan.

Pada studi ini dilakukan analisa kualitatif berdasarkan kriteria historis, kriteria geologis dan komposisi tanah, sedangkan untuk analisa kuantitatif merupakan hasil nilai *Safety Factor* tanah dari perhitungan menggunakan metode *Simplified Seed* (Idriss Boulanger, 2010). Metode *Simplified Seed* merupakan perhitungan yang terdiri dari nilai CSR (*Cyclic Stress Ratios*) dan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*).

Pada tahap awal penelitian dilakukan analisa kualitatif berdasarkan kriteria historis dengan rentan waktu 100 tahun terakhir yang pernah terjadi disekitar Provinsi Sulawesi Tengah, kriteria historis dapat dilihat pada Tabel 1.

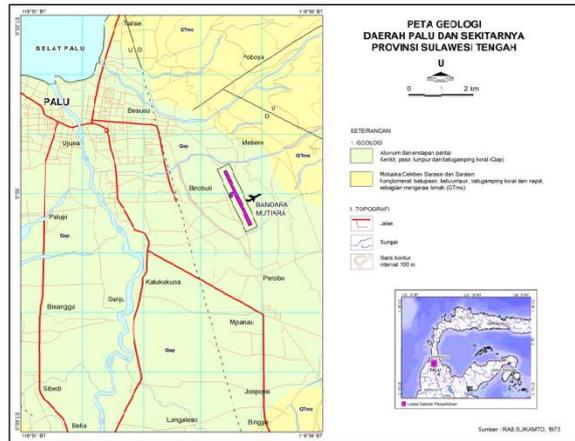
Tabel 1. Data Gempa Provinsi Sulawesi Tengah dan Sekitarnya

No.	Tanggal	Kekuatan	Sumber Lokasi
1.	1 Desember 1927	6,5 SR	Teluk Palu
2.	30 Januari 1930	Tsunami 2 m	Kab. Donggala
3.	14 Agustus 1938	6 SR	Teluk Tambu, Donggala
4.	1994	-	Kab. Donggala
5.	1 Januari 1996	7,4 SR + Tsunami	Selat Makassar
6.	1996	Tsunami 3,4 m	Tonggolobibi dan Donggala
7.	11 Oktober 1998	5,5 SR	Kab. Donggala
8.	24 Januari 2005	6,2 SR	Tenggara Kota Palu
9.	7 November 2008	7,7 SR	Laut Sulawesi
10.	18 Agustus 2012	6,2 SR	Kota Palu
11.	28 September 2018	7,4 SR	Kota Palu

Sumber: Jawa Pos

Berdasarkan analisa kualitatif kriteria geologis dan komposisi tanah yang didukung Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi Skala 1:250.000 (Rab Sukanto, dkk, 1973) daerah penelitian terdiri dari 2 (dua) formasi batuan, yaitu Aluvium dan endapan pantai (Qap) dan Molasa Celebes Serasin dan Serasin (QTms), seperti terlihat pada Gambar 2. Hasil analisa data dapat dilihat pada Tabel 2.

Selanjutnya dilakukan analisis potensi likuifaksi berdasarkan kriteria komposisi tanah menurut Wang (1979) dengan syarat 1 yaitu syarat 1 % halus dari $0,005\text{mm} \leq 15\%$. Pada tiap titik *soil boring* diperiksa terhadap kriteria tersebut. Butir halus dari analisa saringan sangatlah kecil dan sukar untuk memadat, dikarenakan ukuran dari partikel mempunyai pengaruh terhadap butiran halus yang dapat menurunkan kecenderungan tanah melakukan pemadatan saat mengalami getaran. Tabel 3 merupakan hubungan antara kepadatan relatif (D_r) dan berbagai kondisi tanah.



Gambar 2. Peta Geologi Tinjau Lembar Palu
Sumber: Rab Sukamto, dkk, 1973

Tabel 2. Hasil Analisis Kualitatif Kriteria Geologis

Titik	Formasi Batuan	Umur Formasi
SB01 SB02 SB03	Aluvium dan endapan pantai (Qap)	Holosen Awal - Akhir

Tabel 3. Hubungan D_R dengan Kondisi Tanah

D_R (%)	Kedaaan Tanah (Pasir) di Lapangan
0 – 15	Sangat lepas (<i>Very loose</i>)
15 – 50	Lepas (<i>Loose</i>)
50 – 70	Tengah (<i>Medium</i>)
70 – 85	Padat (<i>Dense</i>)
85 – 100	Sangat padat (<i>Very dense</i>)

Sumber: Bowles JE, 1989.

Dari hasil analisa kualitatif menunjukkan bahwa ke 3 titik lokasi *soil boring* tersebut memiliki potensi likuifaksi, maka dapat dilanjutkan dengan analisa kuantitatif sebagai perhitungan lanjutannya. Perhitungan ini dilakukan dengan membandingkan nilai CSR dan CRR dengan menggunakan metode *Simplified Seed* (Idriss Boulanger, 2010).

CSR (*Cyclic Stress Ratio*) dihitung dengan Persamaan 1.

$$CSR = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_{rv}} \right) rd \quad (1)$$

Keterangan:

a_{max} = percepatan permukaan tanah maksimum arah horisontal

g = percepatan gravitasi

σ_v = tegangan *overburden* vertikal total pada kedalaman yang ditinjau

σ'_v = tegangan *overburden* vertikal efektif

rd = faktor reduksi tegangan

Nilai faktor reduksi tegangan merupakan fungsi dari kedalaman yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 sampai dengan Persamaan 4.

$$rd = \exp [\alpha(z) + \beta(z) \cdot M] \quad (2)$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \sin \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \quad (3)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \quad (4)$$

CRR (*Cyclic Resistance Ratio*), dihitung dengan Persamaan 5.

$$N_{60} = C_N C_E C_R C_B C_S N_m \quad (5)$$

Keterangan:

N_{60} = nilai SPT yang sudah dikoreksi dengan efisiensi pukulan 60%

C_N = faktor koreksi tegangan efektif

C_E = faktor koreksi energi

C_R = faktor koreksi panjang batang bor

C_B = faktor koreksi diameter *borehole*

C_S = faktor koreksi metode sampling

N_m = jumlah pukulan sesuai prosedur SPT

Nilai C_N dapat dihitung dengan Persamaan 6.

$$C_N = \left(\frac{Pa}{\sigma'_v} \right)^m \leq 1,7 \quad (6)$$

Pa merupakan tekanan atmosfer sebesar 100 kPa, sedangkan nilai m dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$m = 0.784 - 0.0768 \sqrt{N_{60}} \quad (7)$$

Nilai faktor koreksi energi (C_E) dihitung dengan menggunakan Persamaan 8.

$$C_E = \frac{ERm}{60\%} \quad (8)$$

Untuk menentukan nilai faktor koreksi panjang batang bor (C_R), digunakan Tabel 4.

Tabel 4. Koreksi Panjang Batang Bor

<i>Rod length</i>	C_R
< 3 m	0.75
3 - 4 m	0.80
4 - 6 m	0.85
6 - 10 m	0.95
10 - 30 m	1.00

Sumber: Idriss & Boulanger, 2010

Faktor koreksi diameter *borehole* ditentukan dengan menggunakan Tabel 5.

Tabel 5. Koreksi Diameter *Borehole*

<i>Borehole Diameter</i>	C_B
65 - 115 mm	1
150 mm	1.05
200 mm	1.15

Sumber: Idriss & Boulanger, 2010

Nilai C_S yaitu faktor koreksi metode sampling ditentukan menggunakan Tabel 6.

Tabel 6. Koreksi Metode Sampling

Standar Sampling	C_S
<i>Standar/with liner</i>	1
<i>Without liner</i>	1.1 - 1.3

Sumber: Idriss & Boulanger, 2010

Nilai CRR juga memiliki korelasi dengan durasi getaran gempa, yang dinyatakan sebagai *Earthquake Magnitude Scaling Factor (MSF)* dan *effective overburden stress correction factor*. Persamaan 9 digunakan untuk mencari nilai CRR yang dikembangkan untuk kondisi gempa dengan kekuatan 7.5 dan $\sigma'v = 1$ atm.

$$CRR_{M=7;\sigma'v=1} = \exp \left\{ \left(\frac{N_{60}}{14.1} \right) + \left(\frac{N_{60}}{126} \right)^2 - \left(\frac{N_{60}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{N_{60}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right\} \quad (9)$$

Untuk mencari nilai CRR terkoreksi digunakan Persamaan 10.

$$CRR_{corr} = CRR_{M=7;\sigma'v=1} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (10)$$

Nilai MSF dihitung dengan Persamaan 11.

$$MSF = 6.9 \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 0.058 \leq 1.8 \quad (11)$$

Nilai *correction overburden factor* (K_σ) dihitung menggunakan Persamaan 12 yang digagas oleh Idriss dan Boulanger (2008).

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \left(\frac{Pa}{\sigma'v} \right) \leq 1.1 \quad (12)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{N_{60}}} \leq 0.3 \quad (13)$$

Setelah nilai kedua parameter yang dibutuhkan (CSR dan CRR) diperoleh, potensi likuifaksi dianalisis dengan menghitung *Safety Factor* menggunakan Persamaan 14.

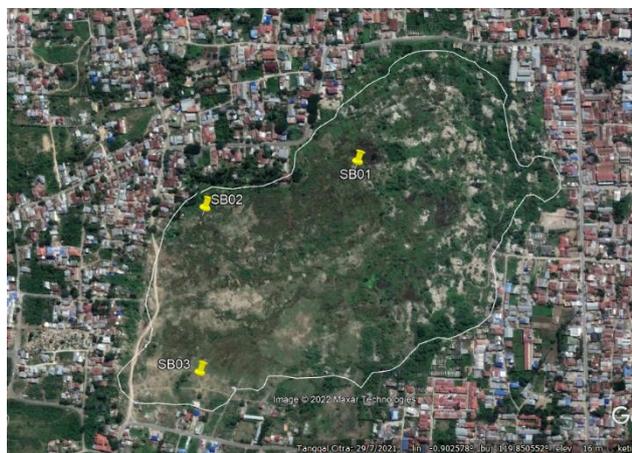
$$FS = \frac{CRR_{corr}}{CSR} \quad (14)$$

Apabila berdasarkan hasil perhitungan nilai faktor keamanan diperoleh lebih besar dari pada 1, maka dapat ditentukan bahwa likuifaksi tidak akan terjadi. Namun apabila sebaliknya, *Safety Factor* kurang dari 1, maka dapat disimpulkan bahwa tanah di lokasi yang ditinjau berpotensi untuk mengalami fenomena likuifaksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Kualitatif

Berdasarkan hasil analisa kualitatif kriteria historis pada Tabel 1 dinyatakan bahwa area Provinsi Sulawesi Tengah memiliki potensi gempa yang tinggi. Hasil Analisa tersebut dilanjutkan dengan analisa kriteria geologis dan komposisi tanah. Pada kondisi geologis kota Palu tersusun atas tanah Aluvium dan endapan pantai (Qap), dimana tanah tersebut tergolong sebagai tanah muda, mengakibatkan memiliki nilai kepadatan yang cukup rendah. Data tanah *soil boring* yang digunakan terdiri dari 3 titik yaitu SB01, SB02, SB03, titik letaknya pada Gambar 3. Dari hasil 3 titik *soil boring* tersebut digunakan untuk analisa saringan berdasarkan kriteria komposisi tanah menurut Wang (1979) dengan syarat 1 yaitu % halus dari $0,005\text{mm} \leq 15\%$ pada Tabel 7.



Gambar 3. Titik Lokasi *Soil Boring*
Sumber: *Google Earth*

Tabel 7. Hasil Analisa Kriteria Komposisi Tanah SB01

Kedalaman	% lebih halus dari 0,005 mm	Keterangan
0 – 2	34	Tidak
3 – 4	2	Berpotensi
5 – 6	4	Berpotensi
7 – 8	7	Berpotensi
9 – 10	12	Berpotensi
11 – 12	54	Tidak

Tabel 7. Hasil Analisa Kriteria Komposisi Tanah SB01 (Lanjutan)

Kedalaman	% lebih halus dari 0,005 mm	Keterangan
13 – 14	78	Tidak
15 – 16	11	Berpotensi
17 – 18	85	Tidak
19 – 20	61	Tidak
21 – 22	20	Tidak
23 – 24	27	Tidak
25 – 26	35	Tidak
27 – 28	19	Tidak
29 – 30	18	Tidak
31 – 32	4	Berpotensi
33 – 34	10	Berpotensi
35 – 36	18	Tidak
37 – 38	16	Tidak
39 – 40	16	Tidak

Tabel 8. Hasil Analisa Kriteria Komposisi Tanah SB02

Kedalaman	% lebih halus dari 0,005 mm	Keterangan
0 – 4	27	Tidak
5 – 9	5	Berpotensi
10 – 13	20	Tidak
14 – 18	7	Berpotensi
19 – 20	15	Berpotensi
21	12	Berpotensi
22 – 24	62	Tidak

Tabel 9. Hasil Analisa Kriteria Komposisi Tanah SB03

Kedalaman	% lebih halus dari 0,005 mm	Keterangan
0 – 5	15	Berpotensi
6 – 9	4	Berpotensi
10 – 13	19	Tidak
14 – 15	82	Tidak
16 – 19	98	Tidak
20 – 22	5	Berpotensi
23 – 42	62	Tidak

Dari hasil analisa kualitatif dapat disimpulkan bahwa area tersebut memiliki potensi besar terjadinya likuifaksi, maka selanjutnya dapat dilanjutkan perhitungan analisa kuantitatif.

3.2 Analisa Kuantitatif

Cyclic Stress Ratio atau CSR merupakan rasio tegangan siklik atau tegangan geser yang diperlukan untuk terjadinya likuifaksi. Berikut tahapan dalam menghitung nilai CSR:

1. Menentukan percepatan gempa yang bekerja di permukaan.

2. Menghitung berat jenis kering tanah.
3. Menghitung tegangan total.
4. Menghitung tegangan efektif.
5. Menghitung nilai *stress reduction coefficient*.

Cyclic Resistance Ratio atau CRR adalah kemampuan tanah atau ketahanan tanah untuk menahan terjadinya likuifaksi. Berikut tahapan dalam menghitung nilai CRR:

1. Menghitung nilai $(N_1)_{60}$
2. Menghitung nilai $\Delta(N_1)_{60}$
3. Menghitung nilai $(N_1)_{60cs}$
4. Menghitung nilai CRR_{7,5}
5. Menghitung nilai C_σ
6. Menghitung nilai K_σ

Hasil dari perhitungan CSR dan CRR ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekap Hasil Nilai CSR dan CRR

Kedalaman	SB01		SB02		SB03	
	CSR	CRR	CSR	CRR	CSR	CRR
2	0,049	0,549	0,048	0,160	0,048	0,374
4	0,048	0,180	0,522	0,251	0,522	0,163
6	0,126	6,655	0,512	6,216	0,512	0,120
8	0,138	5,489	0,500	0,246	0,500	0,407
10	0,134	0,219	0,487	0,264	0,487	0,240
12	0,131	0,141	0,473	0,620	0,473	0,281
14	0,148	0,139	0,459	0,104	0,459	0,123
16	0,143	0,142	0,444	0,145	0,444	0,180
18	0,138	0,181	0,430	0,184	0,430	0,111
20	0,134	0,086	0,416	0,158	0,416	0,077
22	0,130	2,016	0,110	0,085	0,110	0,057
24	0,125	0,101	0,106	0,088	0,106	1,787
26	0,122	0,368	0,103	0,106	0,103	0,095
28	0,118	0,618	0,100	7,524	0,100	0,154
30	0,116	0,127	0,098	0,263	0,098	0,230
32	0,113	0,085	0,096	0,277	0,096	0,203
34	0,111	0,762	0,094	0,215	0,094	4,952
36	0,110	19,393	0,093	0,531	0,093	0,537
38	0,109	14,633	0,093	0,196	0,093	5,162
40	0,109	11,518	0,093	2,170	0,093	9,237
42			0,093	7,484	0,093	7,658
44			0,094	6,227		

Berikutnya dilanjutkan analisa mencari nilai *Safety Factor* dengan cara membagi nilai CRR dengan nilai CSR, likuifaksi akan terjadi apabila tegangan air lebih besar dibandingkan tegangan tanah dan nilai *Safety Factor* < 1. Hasil nilai *Safety Factor* pada ke 3 titik *soil boring* terdapat pada Tabel 11.

Tabel 11. Rekap Hasil Nilai *Safety Factor*

Kedalaman	<i>Safety Factor</i>		
	SB01	SB02	SB03
2	11,234	3,320	7,754
4	3,742	0,481	0,312
6	52,999	12,148	0,235
8	39,783	0,492	0,814
10	1,632	0,543	0,493
12	1,081	1,311	0,595
14	0,941	0,228	0,268
16	0,992	0,326	0,406
18	1,310	0,428	0,259
20	0,643	0,381	0,184
22	15,563	0,771	0,523
24	0,806	0,826	16,821
26	3,026	1,024	0,926
28	5,220	75,020	1,539
30	1,101	2,684	2,354
32	0,751	2,891	2,121
34	6,847	2,281	52,529
36	176,183	5,699	5,763
38	133,746	2,114	55,723
40	105,322	23,426	99,733
42		80,340	82,289
44		66,072	

Berdasarkan Tabel 11 ditemukan bahwa pada titik SB01 untuk kedalaman 14 m - 16 m, 20 m, dan 24 m berpotensi likuifaksi. Pada titik SB02 pada kedalaman 4 m, 8 m - 10 m, dan 14 m - 24 m berpotensi likuifaksi. Pada titik SB03 pada kedalaman 4 m - 22 m, dan 26 m berpotensi likuifaksi.

4. DISKUSI

Hasil analisa pada Tabel 1 ditemukan bahwa Kota Palu memiliki data historis antara kurun waktu 100 tahun terakhir memiliki intensitas gempa yang tinggi. Tercatat sudah 11 kali mengalami gempa bumi dan 3 kali terjadi bencana tsunami.

Berdasarkan parameter kriteria geologis dan komposisi tanah ditemukan bahwa lapisan tanah kota Palu tersusun atas lapisan formasi batuan, yaitu Aluvium dan endapan pantai (Qap), dimana lapisan tanah tersebut merupakan tanah muda yang memiliki kepadatan yang rendah, didukung dengan analisis potensi likuifaksi berdasarkan kriteria komposisi tanah menurut Wang (1979) dengan syarat 1 yaitu % halus dari $0,005\text{mm} \leq 15\%$.

Syarat tersebut menyebabkan sebuah tanah menjadi sukar untuk memadat, dan mempunyai nilai kohesi yang lebih rendah dari nilai tekanan air tanah, maka saat terjadinya gempa bumi air tertekan dan menyebabkan air dapat bergerak kesegala arah dan menghasilkan tanah yang jenuh sehingga berpotensi likuifaksi.

Berdasarkan hasil analisa dari nilai *Safety Factor* hasil bagi antara nilai CSR yang merupakan nilai akibat tegangan geser rata-rata akibat gempa dengan nilai tegangan vertikal efektif setiap lapisan CRR, Tabel 11 menunjukkan pada ketiga titik *soil boring* pada Kelurahan Balaroa, memiliki nilai potensi likuifaksi dikarenakan pada setiap lapisan tertentu memiliki nilai *Safety Factor* < 1 , hasil yang didapatkan pada gempa berkekuatan 7,7 SR dihasilkan nilai *Safety Factor* < 1 pada titik SB01, SB02, dan SB03 dengan nilai sebesar 0,184 – 0,992.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa kualitatif ditemukan Palu berpotensi likuifaksi. Parameter kriteria historis gempa menunjukkan intensitas gempa yang tinggi di Kota Palu. Kriteria geologis dan komposisi tanah juga mendukung terjadinya likuifaksi dikarenakan memenuhi syarat 1 yaitu % halus dari $0,005\text{mm} \leq 15\%$ atau disebut juga tanah sangat lepas yang mudah terpengaruh oleh tegangan air tanah, sehingga dilanjutkan dengan analisa kuantitatif untuk mendukung hasil analisa kualitatif. Dapat dilihat dari hasil perhitungan dengan menggunakan nilai *magnitude* terbesar yang pernah terjadi yaitu sebesar 7,7 SR dengan hasil nilai *Safety Factor* < 1 pada titik SB01, SB02, dan SB03 memiliki nilai sebesar 0,184 – 0,992.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Boulanger, Ross W., dan Idriss, I. (2004). *Evaluating The Potential For Liquefaction Or Cyclic Failure Of Silts And Clays*. California: Center for Geotechnical Modeling Department of Civil & Environmental Engineering University of California Davis.
- Bowles JE., 1989, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta, Erlangga.
- Desain Spektra Indonesia. (2011).
- Ginanjari, Dhimas. 2018. *Ini Sejarah Bencana Gempa dan Tsunami di Sulawesi Tengah*. Jawapos.com. 29 September 2018.
- Grasso, S. Massimino. M., dan Sammito, M. (2021). *New Stress Reduction Factor for Evaluating Soil Liquefaction in the Coastal Area of Catania (Italy)*. *Geosciences*, 11(12), 1 - 27.
- Kusumawardani, Rani. (2009). *Prosedur Analisis Liquefaction dengan menggunakan Metode Semi Empiris*. *Teknik Sipil & Perencanaan*, 11(1), 1 -10.
- Mallisa, H. Turu'allo, G., dan Mallisa, Z. (2009). *Mikrozonasi Seismic Dan Analisis Respon Site Specific Kota Palu*. *Jurnal SMARTek*, 7(2), 134 - 142.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman.
- Sadly, M. (2018). *Gempabumi Tektonik M=7.7 Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah pada hari Jumat, 28 September 2018, Berpotensi Tsunami*.
- Samad, Muhammad Ahsan. Erdiyansyah., dan Wulandari, Rina. (2020). *Evaluasi Kebijakan Pemerintah Pasca Bencana (Studi Kasus Bencana Di Sulawesi Tengah)*. *Jurnal Ilmu Administrasi*, 9(1), 15 - 24.
- Sukanto, R., Sumadirja H., Suptandar T., Hardjoprawiro, Sudana D., (1973), *Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi*.
- Wang, W.S. 1979. *Some findings in soil liquefaction*. *Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, China*.
- Zakaria, z. (2007). *Aplikasi Tektonik Lempeng Dalam Sumber Daya Mineral, Energi Dan Kewilayahan*. *Bulletin of Scientific Contribution*, 5(2), 123-131.