

PEMETAAN POTENSI LIKUIFAKSI WILAYAH PESISIR BERDASARKAN DATA *CONE PENETRATION TEST* DI KELURAHAN LEMPUING, KOTA BENGKULU

Rena Misliniyati¹⁾, Mawardi²⁾, Besperi³⁾, Makmun R. Razali⁴⁾, Redho Muktadir⁵⁾

^{1),2),3),4)}Dosen Program Studi Teknik Sipil, FT UNIB, Jl.WR. Supratman, Kandang Limun
Bengkulu 38371 A, e-mail: cik_neyna@yahoo.com

⁵⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, FT UNIB, Bengkulu.

Abstrak

Kota Bengkulu merupakan salah satu kota di pantai barat Pulau Sumatera yang sangat rentan terhadap gempa karena berada pada jalur seismik aktif. Kerentanan ini memungkinkan turut terjadinya fenomena likuifaksi ketika gempa terjadi. Salah satu wilayah di Kota Bengkulu yang dilalui jalur ini adalah Kelurahan Lempuing. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi likuifaksi di Kelurahan Lempuing berdasarkan data *Cone Penetration Test* (CPT) dengan menggunakan metode deterministik yang dipublikasikan oleh Idriss dan Boulanger tahun 2008. Data hasil penyelidikan geoteknik yang menggambarkan parameter tahanan tanah, dikumpulkan dari 6 titik uji CPT yang tersebar di Kelurahan Lempuing. Data kecepatan gelombang geser diperoleh dari hasil korelasi Vs terhadap data CPT. Parameter beban gempa yang digunakan diperoleh dari Peta *Hazard* Gempa Indonesia tahun 2010 dan riwayat kegempaan Kota Bengkulu. Besarnya potensi likuifaksi yang terjadi dinyatakan dengan nilai faktor keamanan (FS). Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kedalaman 0 sampai 2 meter, sebagian besar wilayah Lempuing termasuk ke dalam wilayah dengan potensi likuifaksi tinggi, ditunjukkan dengan nilai FS kurang dari 1. Selanjutnya, hasil analisis ditampilkan dalam bentuk Peta Potensi Likuifaksi. Peta ini menunjukkan bahwa seluruh wilayah Kelurahan Lempuing berada dalam kondisi tidak aman terhadap bahaya likuifaksi saat terjadi bencana gempa dengan magnitudo $\geq 7,9$ dan percepatan gempa di batuan dasar sebesar 0,4 g.

Kata kunci: likuifaksi, metode deterministik, *Cone Penetration Test*.

Abstract

Bengkulu city is one of the cities on the west coast of Sumatra island particularly vulnerable to earthquakes because it is located in an active seismic lines . This vulnerability allows the phenomenon of liquefaction when an earthquake occurs . One of the areas in Bengkulu city which through the lines is Lempuing Village . This study aims to analyze the liquefaction potential based on the data of Cone Penetration Test (CPT) using deterministic methods published by Idriss and Boulanger in 2008 . The data describes soil parameters, collected from the 6 point spread CPT test in Lempuing. Shear wave velocity data obtained from the correlation vs. the CPT data . Seismic load parameters used were obtained from the Indonesian Earthquake Hazard Map of 2010 and the seismic history of the city of Bengkulu . The magnitude of potential liquefaction happens to the value of Safety Factor (SF). The analysis at a depth of 0-2meter showed that most of the area in Lempuing with high potential of liquefaction, indicated by the value of SF is less than 1 . Furthermore , the results of the analysis are displayed in the form of Liquefaction Potential Map . This map shows that the entire area of

Lempuing be in an unsafe condition to the danger of liquefaction during an earthquake with a magnitude > 7.9 earthquake and bedrock acceleration of 0.4 g .

Keywords : *liquefaction , deterministic methods , Cone Penetration Test.*

PENDAHULUAN

Salah satu fenomena yang dapat menyertai kejadian gempa adalah likuifaksi. Likuifaksi adalah suatu peristiwa dimana tanah berubah dari fase padat menjadi fase cair akibat meningkatnya tekanan air pori dalam rongga tanah (Idriss dan Boulanger, 2004). Kejadian ini terutama berkaitan dengan kondisi tanah pasiran jenuh yang memiliki kepadatan lepas atau sedang. Dampak dari peningkatan tekanan air pori tanah adalah tanah kehilangan kuat gesernya secara drastis akibat dari turunnya tegangan efektif tanah seiring dengan meningkatnya tegangan air pori (Idriss dan Boulanger, 2008). Hilangnya kuat geser tanah akan menyebabkan kerusakan dahsyat pada struktur atau infrastruktur yang berada di atasnya. Kerusakan yang paling menonjol biasanya terletak di daerah pantai atau pelabuhan.

Peristiwa likuifaksi dapat menimbulkan amblesan, keruntuhan, retakan tanah, kelongsoran dan lain-lain. Beberapa contoh dari peristiwa likuifaksi yang pernah terjadi di Indonesia adalah kerusakan-kerusakan yang dihasilkan ketika gempa bumi di Bengkulu tahun 2000 dan 2007, gempa bumi Aceh tahun 2004, gempa bumi Nias tahun 2005, dan gempa bumi Yogyakarta tahun 2006 (Soebowo dkk., 2009). Dari penelitian likuifaksi yang pernah dilakukan, diketahui bahwa peristiwa likuifaksi pada umumnya hanya terjadi pada daerah yang terbentuk oleh lapisan sedimen granular yang jenuh air dengan kepadatan yang rendah.

Kota Bengkulu merupakan salah satu kota di pantai barat Pulau Sumatera yang sangat rentan terhadap gempa karena berada pada jalur seismik aktif. Kerentanan ini memungkinkan turut terjadinya fenomena

likuifaksi ketika peristiwa gempa terjadi. Dengan demikian peneliti merasa perlu mengevaluasi potensi likuifaksi di Kota Bengkulu, dengan mengambil Kelurahan Lempuing sebagai lokasi penelitian. Evaluasi potensi likuifaksi sangat perlu dilakukan di daerah ini karena dilihat dari letak geografisnya, Kelurahan Lempuing berada pada wilayah pesisir Kota Bengkulu dengan kondisi tanah dominan berpasir. Dengan konsistensi tanah yang demikian, berkemungkinan untuk terjadi likuifaksi. Selain itu, lokasi ini merupakan daerah hunian padat penduduk dan sentra pariwisata, sehingga perlu dilakukan evaluasi kebencanaan demi meningkatkan perilaku kewaspadaan masyarakat terhadap bencana.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi likuifaksi Kelurahan Lempuing dengan menggunakan data insitu *Cone Penetration Test* (CPT). Selanjutnya, hasil analisis akan ditampilkan dalam bentuk Peta Potensi Likuifaksi Kelurahan Lempuing. Peta ini akan menunjukkan bagaimana sebaran dari tingkat keamanan terhadap bahaya likuifaksi di Kelurahan Lempuing. Selain itu penelitian ini dapat menjadi langkah awal untuk penelitian potensi likuifaksi Kota Bengkulu, sebagai bagian dari proses mitigasi bencana kegempaan di Kota Bengkulu.

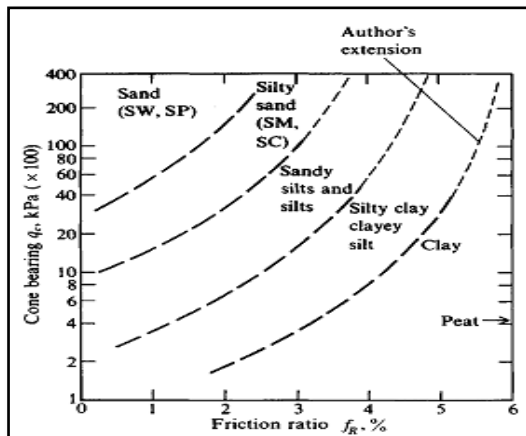
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kelurahan Lempuing, Kecamatan Ratu Agung, Kota Bengkulu. Pada lokasi ini dilakukan uji resistensi tanah dengan menggunakan alat CPT (sondir) sebanyak 6 titik. Untuk mengetahui potensi likuifaksi di kelurahan Lempuing, dilakukan analisis dengan

metode deterministik berdasarkan data CPT yang dipublikasikan oleh Idriss dan Boulanger tahun 2008. Metode ini menggunakan perbandingan dari *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang menggambarkan resistensi tanah terhadap *Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang menggambarkan beban gempa yang terjadi.

Penentuan Jenis Tanah Di setiap Lapisan.

Untuk penentuan jenis tanah dari hasil tes CPT digunakan grafik korelasi antara *Friction Ratio* (F) dengan tahanan ujung CPT (q_c) dari Robertson dan Campanella (1983) yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik korelasi sifat tanah dengan CPT yang dinormalisasi (Robertson dan Wride, 1998)

Nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) Setiap Lapisan Tanah.

Seed dan Idriss (1971) dalam Yulman (2010) menetapkan tekanan siklik yang diinduksi oleh gempa dimana tekanan ini mempengaruhi potensi likuifaksi adalah sebesar 65% dari puncak tekanan siklik. Hal ini lah yang disebut dengan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$CSR = 0,65 \frac{\sigma_{vc} \cdot a_{max}}{\sigma'_{vc} \cdot g} r_d \quad (1)$$

dimana:

σ_{vc} = tekanan vertikal total lapisan tanah saat konsolidasi

σ'_{vc} = tekanan vertikal efektif dari lapisan tanah saat konsolidasi

a_{max} = percepatan gempa maksimum di lapisan tanah

r_d = koefisien reduksi tekanan geser

g = percepatan gravitasi bumi

Analisis untuk mendapatkan parameter r_d sebagai fungsi dari kedalaman (z) dan magnitudo gempa (M) dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$r_d = M \exp(\alpha(z) + \beta(z)) \quad (2)$$

$$\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \sin\left(\frac{z}{11,73} + 5,133\right) \quad (3)$$

$$\beta(z) = 0,106 + 0,118 \sin\left(\frac{z}{11,28} + 5,142\right) \quad (4)$$

dimana:

z = kedalaman dalam meter

M = momen magnitudo

α dan β = nilai sinus dalam radian

Penentuan nilai percepatan gempa maksimum di permukaan tanah (a_{max}) dilakukan dengan menggunakan data percepatan gempa maksimum di batuan dasar berdasarkan peta *hazard* gempa Indonesia tahun 2010 dan nilai faktor amplifikasi dari ASCE (07-2010) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Penentuan klasifikasi *site* lokasi penelitian dilakukan berdasarkan data kecepatan gelombang geser (V_s) yang diperoleh dari hasil korelasi V_s terhadap data CPT. Berdasarkan peta *hazard* gempa Indonesia tahun 2010, nilai percepatan gempa di batuan dasar untuk Kota Bengkulu adalah 0,4 g (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010). Selanjutnya distribusi *Magnitude* gempa yang digunakan dalam analisis, ditentukan berdasarkan data riwayat kejadian gempa Kota Bengkulu tahun 2007 dengan *Magnitude* 7,9.

Tabel 1. Klasifikasi *Site* Didasarkan Atas Korelasi Penyelidikan Tanah Lapangan dan Laboratorium

Klasifikasi Site	\bar{V} , (m/dt)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A Batuan Keras	$\bar{V} \geq 1500$	N/A	N/A
B Batuan	$750 < \bar{V} \leq 1500$	N/A	N/A
C Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V} \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D Tanah Sedang	$175 < \bar{V} \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E Tanah Lunak	$\bar{V} < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u \leq 50$

Sumber: Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

Tabel 2. Faktor Amplifikasi

Klasifikasi Site (Sesuai Tabel 2.1)	S_{PGA}				
	PGA \leq 0,1	PGA=0,2	PGA=0,3	PGA=0,4	PGA \geq 0,5
Batuan Keras (S_A)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (S_B)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak (S_C)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (S_D)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (S_E)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Sumber: Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

Perhitungan Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) Setiap Lapisan Tanah.

Tahanan penetrasi CPT pada pasir meningkat seiring dengan kenaikan *confining stress*, dimana nilai q_c dari kedalaman dan lokasi yang berada tidak bisa secara langsung dibandingkan satu sama lainnya. Faktor koreksi dari nilai CPT adalah C_N , dimana:

$$q_{CI} = C_N \cdot q_c \quad (5)$$

Adapun nilai C_N didapat dengan rumus yang diusulkan oleh Idriss dan Boulanger (2003b) dalam Yulman (2010), yaitu:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vc}} \right)^{1,338 - 0,249 (q_c)^{0,264}} \leq 1,7 \quad (6)$$

Magnitude scaling factor (MSF) digunakan untuk menentukan CSR dan/atau CRR yang menggunakan nilai M yang biasa (secara konvensional diambil M = 7.5). Nilai MSF pada nilai M yang berbeda dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan yang

dipakai oleh Idriss (1999) dalam Yulman (2010) seperti berikut:

$$MSF = 6,9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0,058 \leq 1,8 \quad (7)$$

Overburden correction factor (K_σ) diperkenalkan oleh Seed (1983) untuk menentukan CSR dan/atau CRR terhadap nilai *effective overburden stress* yang biasa, karena CRR pada pasir bergantung pada *effective overburden stress*. Kebanyakan nilai K_σ didapat dari hasil tes laboratorium. Tetapi hubungan K_σ yang direkomendasikan oleh para ahli yaitu :

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\left(\frac{\sigma'_{vc}}{P_a}\right) \leq 1,1 \quad (8)$$

dimana koefisien C_σ didapat dari korelasi dengan *overburden penetration resistance* yang diusulkan oleh Idriss dan Boulanger (2004) sebagai berikut :

$$C_\sigma = \frac{1}{18,9 - 8,27 (q_{CI})^{0,264}} \leq 0,3 \quad (9)$$

Koefisien C_σ dibatasi maksimum dengan nilai 0,3 dengan membatasi nilai $q_{CI} \leq 211$. Seperti yang diketahui kekuatan dan kekakuan pada tanah berdasarkan tes lapangan salah satunya bisa didapat dari nilai CPT. Kekuatan inilah yang akan menghasilkan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR). Korelasi antara nilai CRR dengan CPT yang diusulkan oleh Boulanger (2004) berdasarkan hasil studinya adalah sebagai berikut:

$$CRR_{M=7,5; \sigma'_{vc}=1} = \exp\left\{ \frac{q_{CIcs}}{540} + \left(\frac{q_{CIcs}}{67} \right)^2 - q_{CIcs} 803 + q_{CIcs} 1144 - 3 \right\} \quad (10)$$

Pada istilah q_{CIcs} , cs mengindikasikan nilai *clean sands*. Korelasi ini bisa diaplikasikan pada M=7,5 dan *effective overburden stress* $\sigma'_{vc} = 1 \text{ atm}$. Korelasi di atas untuk CRR dengan M dan σ'_{vc} yang lain digunakan faktor korelasi dari *Magnitude Scaling Factor* (MSF) dan

overburden correction factor, K_σ . Dimana korelasinya dapat dilihat dengan persamaan berikut :

$$CRR_{M,\sigma'_{vc}} = CRR_{M=7,5;\sigma'_{vc}=1atm} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (11)$$

Untuk mendapatkan nilai q_{C1cs} dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$q_{C1cs} = q_{C1} + \Delta q_{C1} \quad (12)$$

$$\Delta q_{C1} = \left(5,4 + \frac{q_{C1}}{16} \right) \cdot \exp \left(1,63 + \frac{9,7}{FC+0,01} - \frac{15,7FC+0,012}{FC+0,01} \right) \quad (13)$$

Nilai FC (*Finest Content*) didapat dari nilai I_c , dimana:

$$I_c = \{ (3,47 - \log Q)^2 + (\log F + 1,22)^2 \}^{0,5} \quad (14)$$

Untuk mendapatkan nilai Q dan F dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{vc}}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vc}} \right) \quad (15)$$

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vc}} \cdot 100\% \quad (16)$$

Selanjutnya jika:

$I_c < 1,26$, maka nilai $FC = 0\%$

$1,26 < I_c < 35$, maka $FC = 1,75 I_c^{3,25} - 3,7$

$I_c > 35$, maka $FC = 100$

Perhitungan Faktor Keamanan (*Factor Of Safety*) Dari Tes CPT.

Perhitungan faktor Keamanan (*factor of safety*) terhadap bahaya likuifaksi merupakan perbandingan dari nilai CRR dengan CSR yang menggunakan Persamaan 17.

$$FS = \frac{CRR_{M,\sigma'_{vc}}}{CSR_{M,\sigma'_{vc}}} \quad (17)$$

Selanjutnya nilai FS yang didapat diartikan jika FS lebih besar dari 1,2 maka lokasi tersebut memiliki potensi likuifaksi yang rendah, FS sama dengan 1,2 berarti lokasi tersebut memiliki potensi likuifaksi yang sedang, dan jika FS kurang dari 1,2 maka lokasi tersebut memiliki potensi likuifaksi yang tinggi. Rentang nilai faktor keamanan

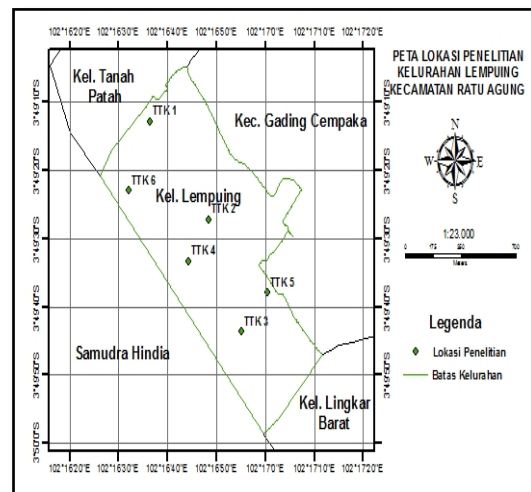
ini merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Soebowo dkk. (2009).

Pemetaan Potensi likuifaksi

Hasil perhitungan nilai faktor keamanan (FS) yang didapat akan ditampilkan dalam bentuk peta potensi likuifaksi. Rentang nilai FS yang digunakan dibagi dalam 3 zona yang akan di tandai dengan warna pada peta yaitu warna hijau untuk potensi likuifaksi rendah, warna kuning untuk potensi likuifaksi sedang, dan warna merah untuk potensi likuifaksi tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, berat volume tanah kondisi jenuh air didapat dari hasil pengujian laboratorium yaitu sebesar 20,08 kN/m³. Elevasi muka air tanah diasumsikan berada tepat pada permukaan tanah (GWL=0,00m). Asumsi ini diambil untuk menggambarkan kondisi paling kritis ketika terjadi likuifaksi. Gambar 2 menunjukkan sebaran enam titik lokasi penelitian potensi likuifaksi di Kelurahan Lempuing.

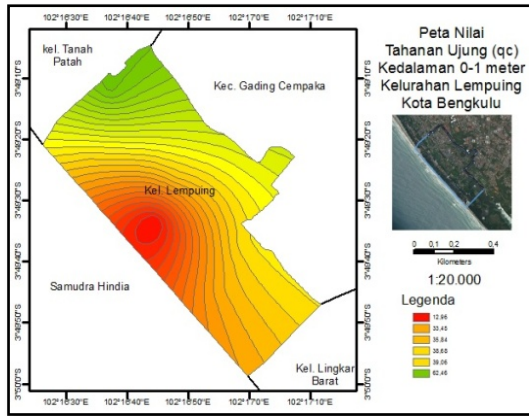


Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian.

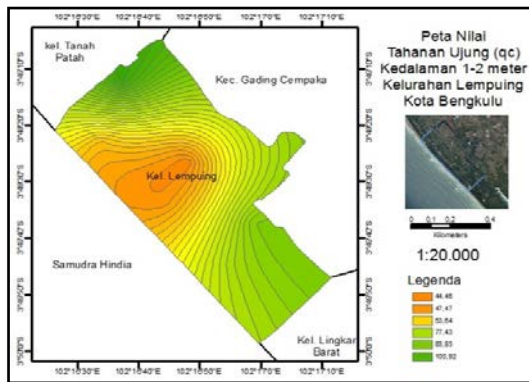
Hasil pengujian lapangan berdasarkan CPT

Uji lapangan CPT dilakukan pada 6 titik yang tersebar di Kelurahan Lempuing.

Berikut hasil uji CPT lokasi penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Peta Nilai Tahanan Ujung (qc) dalam kg/cm^2 pada Kedalaman 0-1 meter



Gambar 4. Peta Nilai Tahanan Ujung (qc) dalam kg/cm^2 pada Kedalaman 1-2 meter.

Hasil Analisis Potensi Likuifaksi.

Analisis potensi likuifaksi dengan metode deterministik di kelurahan Lempuing menghasilkan nilai faktor keamanan di enam titik lokasi penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai ini didapat dari hasil perbandingan antara nilai CRR dengan CSR yang telah dihitung sebelumnya.

Nilai faktor keamanan yang ditampilkan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa pada kedalaman 0 sampai 2 meter di semua titik lokasi pengujian berada pada rentang nilai kurang dari 1. Hal ini berarti hingga kedalaman 2 meter, Kelurahan Lempuing

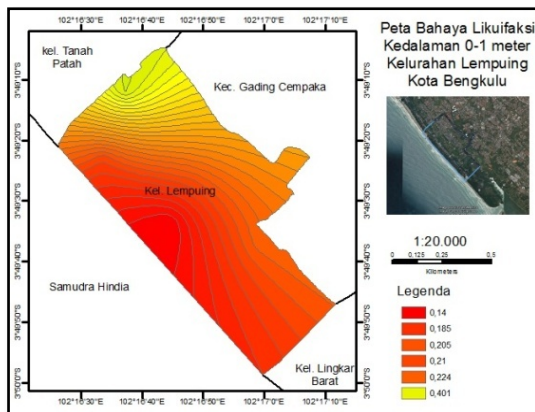
berada dalam kondisi tidak aman terhadap bahaya likuifaksi.

Tabel 3. Nilai Faktor Keamanan terhadap Bahaya Likuifaksi pada 6 Titik Lokasi di Kelurahan Lempuing

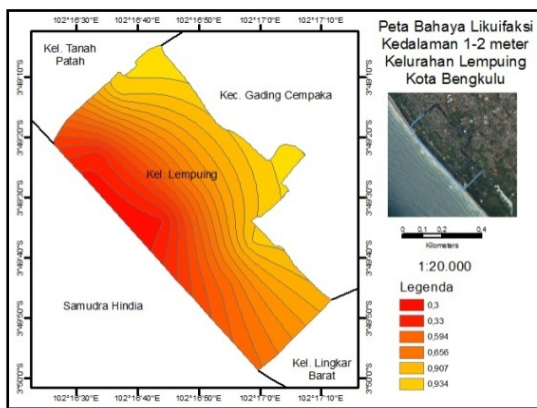
No	Lokasi	Kedalaman	
		0-1 m	1-2 m
1	Titik 1	0,401	0,934
2	Titik 2	0,210	0,656
3	Titik 3	0,185	0,594
4	Titik 4	0,140	0,300
5	Titik 5	0,224	0,907
6	Titik 6	0,205	0,330

Peta Potensi Likuifaksi Kelurahan Lempuing.

Hasil analisis potensi likuifaksi juga ditampilkan dalam bentuk peta potensi likuifaksi yang menggambarkan sebaran nilai faktor keamanan terhadap bahaya likuifaksi di Kelurahan Lempuing. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa pada kedalaman 0 sampai 2 meter, sebagian besar wilayah Lempuing berpotensi tinggi untuk terjadi likuifaksi saat gempa datang. Hal ini ditandai dengan dominasi warna merah dan kuning pada peta, serta tidak ada warna hijau yang tampak. Selain itu, nilai faktor keamanan terkecil terlihat berada pada pesisir pantai dimana daerah ini dijadikan sebagai kawasan wisata. Nilai faktor keamanan terhadap likuifaksi cenderung meningkat menuju ke daerah pemukiman warga, namun tetap berada dalam zona tidak aman terhadap bahaya likuifaksi.



Gambar 5. Faktor Keamanan terhadap Bahaya Likuifaksi pada Kedalaman 0-1 meter di Kelurahan Lempuing.



Gambar 6. Faktor Keamanan terhadap Bahaya Likuifaksi pada Kedalaman 1-2 meter di Kelurahan Lempuing.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil analisis potensi likuifaksi di Kelurahan Lempuing, Kota Bengkulu dengan metode deterministik adalah sebagai berikut :

1. Jenis tanah di kelurahan Lempuing merupakan tanah berpasir dengan nilai konsistensi berkisar antara 10 kg/cm^2 – 120 kg/cm^2 (termasuk dalam kategori pasir lepas).
2. Potensi bahaya likuifaksi di Kelurahan Lempuing termasuk dalam kategori

daerah dengan tingkat potensi likuifaksi tinggi, ditunjukkan dengan nilai faktor keamanan kurang dari 1.

3. Pada peta bahaya likuifaksi Kelurahan Lempuing dengan data uji CPT di 6 titik terlihat bahwa seluruh wilayah Kelurahan Lempuing berada dalam kondisi tidak aman terhadap bahaya likuifaksi saat terjadi bencana gempa dengan magnitudo $\geq 7,9$ dan percepatan gempa di batuan dasar sebesar $0,4 \text{ g}$.

DAFTAR PUSTAKA

Idriss I.M., dan Boulanger R.W., 2004, “*Semi-Empirical Procedures For Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes*”, Department Of Civil and Environmental Engineering University Of California.

Idriss I.M., dan Boulanger R.W., 2008, “*Soil Liquefaction During Earthquake*”, Earthquake Engineering Research Institute (EERI) Publication No. MNO-12. California.

Kementerian Pekerjaan Umum, 2010, “*Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*”.

Robertson, P.K., dan Wride, C.E., 1998, “*Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using The Cone Penetration Test*”, Canadian Geotechnical. J. 35: 442-459.

Soebowo, E., Tohari, A. and Sarah, D., 2009, “*Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data CPT Dan N-SPT Di Daerah Patalan Bantul, Yogyakarta*”, Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan Jilid 19 No.2,85-97.

Yulman, M.A., 2010, “*Studi potensi likuifaksi dengan metodologi deterministik kasus kota padang*”, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung: Bandung.