

ANALISIS DAN PREVENTIF LIKUEFAKSI DENGAN METODE KOLOM SEMEN (LIQUEFACTION ANALYSIS AND PREVENTION USING CEMENT COLUMN METHOD)

Liliwarti¹⁾, Satwarnirat²⁾, Silvianengsih³⁾, dan Dwina Archenita⁴⁾

^{1),2),3),4)}Politeknik Negeri Padang

^{1),2),3),4)}Kampus PNP Limau Manis Padang

e-mail: ¹⁾liliwarti@pnp.ac.id, ²⁾satwarnirat1666@yahoo.com, ³⁾silvianengsih@rocketmail.com, ⁴⁾dwinaa@hotmail.com

Diterima: 10 September 2018; direvisi: 29 November 2018; disetujui: 13 Desember 2018

ABSTRAK

Likuefaksi adalah peristiwa hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat adanya gempa bumi. Likuefaksi terjadi biasanya pada tanah yang jenuh air, tekanan air pori menjadi meningkat dan tanah kehilangan daya dukung akibatnya tidak sanggup menahan beban struktur sehingga bangunan amblas. Padang merupakan daerah rawan gempa yang telah menimbulkan akibat yang cukup parah (gempa bumi September 2009), banyaknya bangunan dan infrastruktur runtuh, disebabkan likuefaksi yang dipicu oleh gempa bumi. Analisis dan preventif likuefaksi sangat diperlukan untuk meminimalkan risiko yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Pada penelitian ini analisis likuefaksi menggunakan data sondir dan preventif likuefaksi digunakan metode kolom semen. Hasil analisis likuefaksi yang terdiri dari 10 titik lokasi yang ditinjau, terdapat 4 titik lokasi yang berpotensi likuefaksi, 3 titik lokasi sangat berpotensi likuefaksi dan 3 titik lokasi yang tidak berpotensi likuefaksi. Metode kolom semen dilakukan di laboratorium dengan cara, tanah ditempatkan dalam kotak uji dan selanjutnya dibuat kolom semen dengan diameter 2,5 cm dengan variasi jarak antar kolom 2D, 3D, dan 4D. Kotak uji digetarkan dan dilakukan uji kuat geser sebelum dan sesudah digetarkan. Dari hasil uji kuat geser didapat kolom semen dapat mengurangi potensi likuefaksi dengan jarak antar kolom 2D, kuat geser tanah naik dari 3,14 kPa menjadi 16,86 kPa, nilai kuat geser meningkat sebesar 537% dan dapat mereduksi penurunan sebesar 500%. Hasil dari penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh konsultan dan pemerintah daerah sebagai pedoman untuk mengembangkan kota Padang.

Kata Kunci: tanah, gempa, likuefaksi, sondir, kolom semen.

ABSTRACT

Liquefaction is the loss of soil strength due to an earthquake. Liquefaction usually occurs on the water-saturated soil, pore water pressure increases and the soil loses its bearing capacity, consequently it can not support heavy structure which cause the building collapses. Padang is an earthquake-prone area that has caused several damage (Earthquake in Padang on September 2009), many buildings and infrastructures have collapsed, its was due to the liquefaction triggered by the earthquake. Analysis and prevention of liquefaction is needed to minimize the impact of the earthquake. This study liquefaction analysis uses the CPT, and the prevention of liquefaction by the cement column method. The results of liquefaction analysis consisting of 10 locations which were observed shows that there were 4 points location of potentially liquefaction, 3 points of hight liquefaction and 3 points that didn't potentially liquefaction. The cement column method is carried in a laboratory by means, the soil sample is placed in a test box and then grouting by cement with a diameter 2.5 cm, with spacing 2D, 3D and 4D. The test box was vibrated and then shear strength was tested after and before grouting. The results of shear strength test obtained cement column can reduce the potential liquefaction with the spacing is 2D. The shear strenght value increas from 3.14 kPa to 16.86 kPa, the shear strength value increased by 537% ,and can reduce the settlement by 500%. The results of this study can be utilized by consultants and the government to guideline development of Padang city.

Keywords: soil, earthquake, liquefaction, CPT, cement column

PENDAHULUAN

Likuefaksi adalah peristiwa hilangnya kekuatan daya dukung lapisan tanah akibat adanya gempa bumi. Likuefaksi terjadi biasanya pada tanah yang jenuh air, tekanan air pori menjadi meningkat dan tanah tidak mempunyai daya dukung, sehingga tidak mampu menahan beban yang ada di atasnya, menyebabkan amblasnya bangunan ke dalam tanah (Das 1992).

Gempa bumi Padang 30 September 2009 dengan kekuatan 7,6 pada skala Richter menyebabkan terjadi kerusakan bangunan dan infrastruktur yang cukup parah, banyak bangunan yang amblas, fenomena amblasnya bangunan tersebut banyak pakar geoteknik berpendapat bahwa peristiwa tersebut terjadinya likuefaksi akibat gempa bumi.

Analisis dan pencegahan mengenai kerentanan wilayah terhadap potensi likuefaksi sangat penting dilakukan dalam rangka melakukan usaha mitigasi, untuk meminimalkan akibat yang ditimbulkan oleh gempa bumi, khususnya kota Padang sangat perlu adanya analisis kerentanan tanah terhadap potensi likuefaksi, dan juga preventif yang dilakukan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan akibat likuefaksi.

Pada penelitian ini analisa likuefaksi dilakukan berdasarkan data sondir / Cone Penetration Test (CPT), dan pencegahan likuefaksi digunakan metode kolom semen. Semen merupakan tipe bahan yang dapat bereaksi dengan tanah sehingga membentuk suatu ikatan yang kuat dapat menaikkan kemampuan tanah untuk menahan beban (Darwis 2017).

KAJIAN PUSTAKA

Likuefaksi (*liquefaction*) adalah peristiwa hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat adanya getaran, seperti getaran yang disebabkan oleh gempa bumi, sehingga tanah tidak mampu menopang beban yang ada di atasnya. Likuefaksi terjadi biasanya pada tanah yang jenuh air, dimana seluruh rongga rongga dari tanah tersebut dipenuhi air. Pada saat terjadi getaran, maka air memberikan suatu tekanan ke partikel partikel tanah sehingga mempengaruhi kepadatan tanah, tekanan air pori menjadi meningkat dan tanah tidak mempunyai daya dukung, sehingga tidak mampu menahan

beban yang ada di atasnya, maka terjadi amblasnya bangunan ke dalam tanah (Das 1992).

Likuefaksi umumnya terjadi pada tanah bergradasi buruk seperti *sandy poor (SP)* atau yang disebut dengan pasir lepas, karena tanah ini lebih banyak menyimpan air dari pada tanah bergradasi baik.

Pramono dkk. (2014) meneliti tentang kondisi lapisan tanah dikota Padang, hasilnya menunjukkan bahwa lapisan tanah didominasi oleh pasir halus yang memiliki konsistensi lepas hingga sedang dan berpotensi mengalami likuefaksi dengan tingkat yang amat tinggi

Hatmoko dan Lulie (2008) meneliti tentang pencairan tanah akibat gempa dibagian Timur Yogyakarta. Hasil yang didapat Yogyakarta dimungkinkan terjadi likuefaksi apabila terjadi gempa besar dengan $M=8$ dan $M=8,5$. Besaran gempa tersebut akan menghasilkan ratio antara percepatan horizontal dan percepatan grafitasi berturut turut 0,267 dan 0,416, akan mengakibatkan zona *likuefaksi* pada kedalaman antara 0.00 – 13.00 meter.

Santhosh Kumar T.G (2009) meneliti tentang *influence of admixtures on-strength of cement grouted soils*. Material *grouting* yang digunakan terdiri dari semen. Hasil memperlihatkan bahwa kekuatan geser tanah pasir lepas meningkat sejalan dengan penambahan kadar semen dan juga terhadap masa perawatan. Penambahan bahan tambah (sodium silica, tartaris acid dan bentonite untuk material *grouting* semen tidak menambah kekutan geser tanah pasir, sedangkan aluminium sulfat dapat meningkatkan kekuatan tanah.

Atmanto (2013), meneliti tentang pengenalan stabilisasi tanah dengan *jet grouting*, hasil menunjukkan metode *jet grouting* merupakan salah satu metode stabilisasi tanah yang handal dan dapat diaplikasikan pada semua jenis tanah. Perbaikan sifat-sifat fisik, mekanik, peningkatan daya dukung dan pengurangan penurunan dapat dicapai dengan *jet grouting*.

Muntahar dkk. (2008) meneliti tentang aplikasi tentang kolom semen untuk tanah berpasir, hasil menunjukkan bahwa dengan pemasangan kolom semen dapat mengurangi potensi likuefaksi pada tanah berpasir.

Penggunaan Uji Lapangan untuk Evaluasi Potensi Likuefaksi.

Peristiwa pencairan tanah pada saat terjadinya gempa disebut likuefaksi, yaitu suatu proses atau kejadian berubahnya sifat tanah dari keadaan padat menjadi keadaan cair, yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadi gempa sehingga tekanan air pori meningkat mendekati atau melampaui tegangan vertikal (Boulanger and Idriss 2014). Rumus tegangan geser tanah adalah $\tau = \sigma' \tan \phi$, $\sigma' = \sigma - u$ dengan τ = Tegangan geser (kPa), σ' = Tegangan efektif (kPa), σ = Tegangan normal (kPa), u = Tegangan air pori (kPa), dan ϕ = sudut geser dalam ($^{\circ}$).

Evaluasi potensi likuefaksi dengan uji lapangan dapat digunakan uji sondir dengan mengukur perlawanan ujung konus (q_c) dan gesekan selimut (f_s) sesuai dengan prosedur ASTM D1586 (ASTM 2003). Ada beberapa metode diantaranya,

a. Metode Zhou (1981)

Zhou mengembangkan metode untuk mengevaluasi potensi likuefaksi pada tanah pasir dengan uji sondir lapangan. Berdasarkan cara statistik, disarankan suatu besaran perlawanan ujung sondir kritis sebesar:

$$q_{cr} = q_{50} [1 - 0,065(W_w - 2)] [1 - 0,05(H_0 - 2)] \quad (1)$$

Keterangan:

q_{cr} : harga perlawanan kritis ujung sondir pada batas dimana tanah akan mengalami pencairan saat gempa.

q_{50} : harga perlawanan kritis ujung sondir yang besaran gempa pada kedalaman muka air tanah

b. Metode Shibata dan Terapaksa

Shibata dan Terapaksa (1987, 1988) mengusulkan metode evaluasi potensi likuefaksi berdasarkan data sondir.

$$q_{c1} = C_1 q_c = \frac{1,7}{\sigma_0 + 0,7} q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (2)$$

Keterangan:

C_1 : fungsi dari σ_0 dalam satuan kg/cm² pada titik kedalaman ujung sondir.

Rasio tegangan siklik yang terjadi di lapangan diperkirakan dengan formula dari

Tokimatsu dan Yoshimi (1983) sebagai berikut,

$$\frac{\tau}{\sigma_0} = 0,1(M - 1) \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_0}{\sigma_0} (1 - 0,015z) \quad (3)$$

Keterangan:

M : besaran gempa, a_{max}

σ_0 dan σ_0' : tegangan total ,

z : kedalaman (m).

Batas kritis yang memisahkan kejadian likuefaksi dan yang tidak dinyatakan dalam nilai perlawanan konus yang dinormalisasi, rasio tegangan siklik dan ukuran butir rata rata partikel tanah yang diberikan oleh persamaan:

$$(q_{c1}) = C_2 \left[50 + 200 \left(\frac{\tau / \sigma_0 - 0,1}{\tau / \sigma_0 + 0,1} \right) \right] \quad (4)$$

$$\left(\frac{\tau}{\sigma_0'} \right) = 0,1 + 0,2 \left[\frac{(q_{c1} / C_2) - 50}{250 - (q_{c1} / C_2)} \right] \quad (5)$$

Keterangan:

$C_2 = 1$ untuk pasir bersih dengan harga $D_{50} \geq 0,25$ mm dan

$$C_2 = \frac{D_{50} \text{ (mm)}}{0,25 \text{ (mm)}} \quad (6)$$

c. Metode Seed dan Idris (1971)

Nilai Faktor keamanan dapat dihitung menggunakan persamaan 7.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (7)$$

Keterangan:

FS: Faktor Keamanan

CRR: *Cyclic Resistance Ratio*

CSR: *Cyclic Stress Ratio*

$$CSR = \left(\tau_{av} \right) = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r \quad (8)$$

Keterangan:

a_{max} : percepatan puncak horizontal

g : gravitasi,

σ_{vo} dan σ'_{vo} : Tegangan overburden

r : koefisien tegangan reduksi

Nilai CRR didapat dari kurva hubungan yang nilainya tergantung pada nilai perlawanan konus (q_{cN}), dan persentase lolos butiran halus (Boulanger and Idriss 2014).

Indeks Potensi likuefaksi

Tingkat potensi likuefaksi dapat dikategorikan berdasarkan *liquefaction potential index (LPI)*, nilai Indeks potensi likuefaksi). Untuk menghitung nilai *LPI* dapat dilihat pada persamaan 9, sebagai berikut:

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) dz \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan

z : kedalaman dari titik tengah lapisan tanah (0 s/d 20 m)

dz : diferensial dari penambahan kedalaman.

w(z): faktor beban,

F(z) : faktor keamanan, dapat dihitung sebagai berikut:

$$F(z) = 1 - FS, FS < 1$$

$$F(z) = 0, FS \geq 1$$

$$w(z) = 10 - 0.5 z, \text{ jika } z < 20 \text{ m}$$

$$w(z) = 0 - 0.5 z, \text{ jika } z > 20 \text{ m}$$

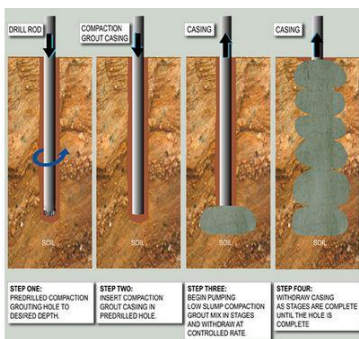
Tabel 1. Tingkat potensi likuefaksi

LPI	Iwasaki et al. (1982)	Luna and Frost (1998)	MERM (2003)
LPI = 0	Very low	Little to none	None
0 < LPI < 5	Low	Minor	Low
5 < LPI < 15	High	Moderate	Medium
15 < LPI	Very High	Major	High

Sumber: Dixit (2012)

Metode Perbaikan Tanah berbutir kasar dengan metode *grouting*

Grouting adalah suatu proses, dimana suatu cairan campuran antara semen dan air diinjeksikan dengan tekanan ke dalam rongga, pori, rekahan dan retakan batuan yang selanjutnya cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat secara fisika maupun kimiawi (Darwis 2017).



Sumber : Darwis (2017)

Gambar 1. Penyebaran Bahan *Grouting*

Semen dan air cocok digunakan untuk tanah berbutir kasar, sedangkan untuk tanah berbutir halus dan sedang, dapat juga digunakan *sodium silica, acrylates dan polyurethanes*.

Bahan baku yang biasanya digunakan untuk injeksi,

- Cairan semen
- Bahan additive (aluminium, sodium carbonat, sodium silikat, dan fosfat
- Abu terbang atau bentonite

Bahan injeksi sangat dipengaruhi oleh permeabilitas dari tanah, karena bahan injeksi akan mengisi rongga yang ada dalam tanah.

Tabel 2. Tipe injeksi berdasarkan permeabilitas tanah
Tingkat Permeabilitas (k) Bahan Injeksi

5×10^{-4} m/sec	Semen slurry
1×10^{-5} m/sec	Bahan kimia + lempung
1×10^{-6} m/sec	Bahan kimia

Sumber : Darwis (2017)

Rumus empiris menentukan diameter lubang *grouting*, dengan menggunakan rumus Karol seperti di bawah ini.

$$R = 0,62 (qT / n)^{1/2} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

R: diameter lubang *grouting*

q: kapasitas material *grouting*

T: waktu sulit, n = porositas tanah

Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku : batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung / tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk (*bulk*). Jenis jenis Semen terdiri dari, semen tipe I sampai semen tipe V, digunakan untuk berbagai keperluan

Intensitas Gempa

Gempa adalah getaran/guncangan yang terjadi pada bumi sebagai akibat tumbukan antar lempeng, patahan/sesar aktif, aktivitas gunung api, dan runtuh batuan. Ukuran/parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kerusakan ialah *Modified Mercalli Intensity (MMI)*. Kisaran angka yang digunakan mulai dari I - XII, angka I berarti ringan, dan angka XII menunjukkan kerusakan sangat parah.

Magnitude adalah parameter gempa yang diukur berdasarkan yang terjadi didaerah tertentu akibat

goncangan pada sumbernya. Satuan yang digunakan ialah Skala Rischter (SR) (Widodo 2012).

Kuat Geser Tanah

Kuat geser adalah gaya perlawanan yang ditimbulkan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan.

Menurut teori Mohr Coulomb (Hardiyatmo 2002) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya dinyatakan dengan persamaan:

$$\tau = f(\sigma) \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

τ : Tegangan geser

σ : Tegangan normal

Uji Kuat Geser dengan *Vane shear test*

$$S_u = \frac{\tau}{\pi(\frac{d^2h}{2} + \frac{d^2}{6})} \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan:

S_u : kuat geser tanah

T : puntiran pada saat kegagalan

d : lebar kipas

h : tinggi kipas

HIPOTESIS

Tanah di sepanjang pantai Barat kota Padang terdiri dari lapisan pasir halus yang berpotensi likuefaksi. Untuk mengurangi dampak likuefaksi, cara kolom semen diperkirakan dapat digunakan.

METODOLOGI

Pengumpulan Data

Data penyelidikan lapangan yang digunakan adalah data sondir, terdiri dari sepuluh titik lokasi yang tersebar di kota Padang. Data sondir yang digunakan yaitu data sekunder pada proyek pembangunan di kota Padang.

Analisis Likuefaksi

Data sondir digunakan untuk mendapatkan nilai *CSR* dan *CRR*, dimana nilai ini digunakan untuk mendapatkan faktor keamanan terhadap likuefaksi dan *LPI*. Tingkat potensi likuefaksi dapat dikategorikan berdasarkan nilai *LPI*, sehingga tanah tersebut dapat dikelompokkan:

Tidak berpotensi likuefaksi (*Low*), berpotensi likuefaksi (*Hight/moderate*), sangat berpotensi likuefaksi (*very high*).

Analisis likuefaksi dengan asumsi besaran Gempa 8 Skala Richter (SR). Besaran ini digunakan karena pada tahun 2009 telah terjadi gempa di Padang dengan kekuatan 7,9 SR (Pramono dkk 2014)

Pengambilan Sampel Tanah ke Lapangan

Sampel tanah diambil di lokasi yang berpotensi likuefaksi, yang digunakan untuk uji laboratorium, yaitu di Air Tawar, dan Sungai Lasak kota Padang. Pengambilan sampel dengan menggunakan lubang test pit dengan kedalaman 1m (*disturb sample*).

Pengujian Laboratorium

a. Analisis Saringan (*Sieve Analysis*)

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk mendapatkan gradasi dari butiran tanah, dan kemungkinan potensi likuefaksi (*range liquefable soil*)

b. Uji Berat Isi (*Unit Weight*)

Tanah /pasir dilakukan pengujian berat isi,

$$\gamma = \frac{B}{V} \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan:

γ : berat isi (*unit weight*)

B : berat tanah

V : volume cetakan

Berat isi Tanah (*unit weight*) yang didapat pada akan digunakan untuk kontrol kepadatan tanah dalam kotak uji (*small size*).

Uji Ukuran Kecil (*small size*) di laboratorium

Sampel tanah dipadatkan ke dalam kotak uji dengan ukuran 40 cm x 25 cm x 35 cm sebanyak 3 lapis dengan kepadatan sesuai dengan kepadatan tanah di laboratorium, sampel tanah dalam kondisi jenuh air. Sampel tanah ditempatkan di atas meja getar, dengan frekuensi getaran 2Hz, dengan pertimbangan frekuensi gempa El-Centro 1,8 Hz (gempa besar yang terjadi di California) dan lebih dari 80% bangunan rusak berat. Gempa ini merupakan acuan dalam perencanaan bangunan tahan gempa (Mase 2017).

Pengujian kuat geser dilakukan sebelum

dan sesudah digetarkan (sebelum adanya kolom semen). Dilanjutkan pembuatan kolom semen dengan cara memasukkan material semen dengan bantuan pipa PVC diameter 20 mm, dengan jarak spasi 2x diameter (2D), 3x diameter (3D), dan 4x diameter (4D). Sampel tanah didiamkan selama 7 hari (*curing period*). Sampel tanah ditempatkan di atas meja getar, dan digetarkan selama 10 detik. Pengujian kuat geser dilakukan sebelum dan sesudah digetarkan (sesudah adanya kolom semen).

Diameter kolom semen yang digunakan dilaboratorium berupa skala kecil yaitu 20 mm, dengan berbagai variasi jarak antar kolom sehingga didapatkan berapa jarak antar kolom yang efektif untuk diaplikasikan dilapangan, sedangkan diameter kolom semen tidak mengikat untuk diterapkan dilapangan (dapat digunakan sesuai kebutuhan).

Muntohar dkk. (2008) melakukan uji laboratorium tentang aplikasi teknik kolom semen dengan ukuran kotak uji 1,2 m x 1,2 m x 1,0 m, diameter kolom semen 2 inchi dan kedalam 8 inchi, hasil memperlihatkan dengan adanya kolom semen dapat mengurangi risiko terhadap likuefaksi.

Pengujian Kuat Geser Tanah

Pengujian kuat geser tanah dilakukan terhadap tanah di dalam kotak uji sebelum dan sesudah pembuatan kolom semen, uji kuat geser dilakukan dengan uji kipas geser (*vane shear test*).

Penurunan (*Settlement*)

Selama Pengujian berlangsung pengamatan penurunan dilakukan terhadap sampel tanah, yaitu dengan cara penempatan beban dipermukaan tanah, dan kotak uji digetarkan selama 10 detik. Pengamatan penurunan beban diamati. Pada penelitian ini pengaruh tekanan air pori tidak ditinjau.

HASIL DAN ANALISIS

Analisis likuefaksi

Potensial likuefaksi, dianalisis dengan menggunakan data sondir, dengan asumsi terjadi

gempa besar ≥ 8 SR, hasil analisis (tabel 3).

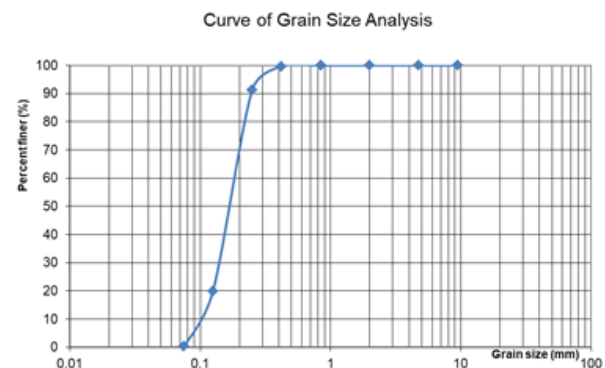
Tabel 3. Hasil analisis likuefaksi

No titik	Kode Sampel	LPI	FK	Keterangan
1	BY2	13,08	< 1	Berpotensi likuefaksi
2	AND	0	> 1	Tidak berpotensi likuefaksi
3	OLL	29,66	< 1	Sangat Berpotensi likuefaksi
4	TB1	8,47	< 1	Berpotensi likuefaksi
5	GAM	10,09	< 1	Berpotensi likuefaksi
6	NIP	36,27	< 1	Sangat berpotensi likuefaksi
7	PRO	17,98	< 1	Sangat berpotensi likuefaksi
8	TEB2	10,35	< 1	Berpotensi likuefaksi
9	KOT 1	0,05	> 1	Tidak berpotensi likuefaksi
10	KOT 2	4,22	> 1	Tidak berpotensi likuefaksi

Berdasarkan tabel 3, terdapat 10 titik lokasi yang ditinjau, 3 lokasi tidak terjadi likuefaksi dan 4 lokasi terjadi likuefaksi dan 3 lokasi sangat berpotensi likuefaksi.

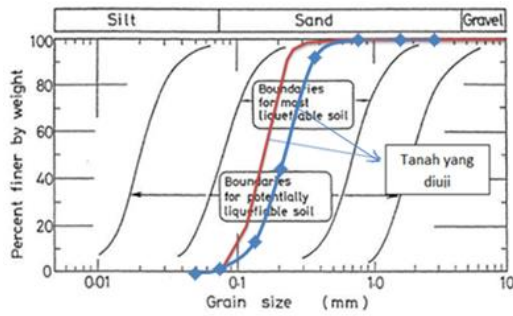
Analisis Saringan (*Sieve Analysis*)

Sampel tanah diambil di lokasi dan selanjutnya dilakukan uji analisis saringan dengan hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil uji analisis Saringan

Hasil analisis saringan memperlihatkan bahwa tanah (pasir) yang diuji termasuk bergradasi buruk dengan nilai $c_u = 1,4$ dan $c_c = 1,2$



Gambar 3. Potensi likuefaksi

Berdasarkan Gambar 3, tanah / pasir yang diuji didapat nilai $c_u = 5,2$ dan $c_c = 1,1$, maka pasir termasuk bergradasi buruk, dan berada pada rentang tanah yang berpotensi likuefaksi.

Hasil Uji Berat Isi (*Unit weight*)

Tabel 4. Hasil uji berat isi

Keterangan	Satuan	Lokasi I	Lokasi II
Berat cetakan	(gram)	2024	2024
Berat cetakan + tanah	(gram)	6065	6084
Berat tanah	(gram)	4041	4060
Volume cetakan	(cm ³)	2779	2779
Berat isi tanah	(gram/cm ³)	1,45	1,46

Berat isi tanah pada lokasi 1 yaitu 1,45 gram/cm³, dan pada lokasi 2 sebesar 1,46 gram/cm³.

Uji Tegangan Geser Tanah dan Penurunan

Uji kuat geser tanah dilakukan dalam kotak uji dengan uji vane shear test, dilakukan sebelum dan sesudah digetarkan.



Gambar 4. Uji kuat geser

Tabel 5. Nilai tegangan geser

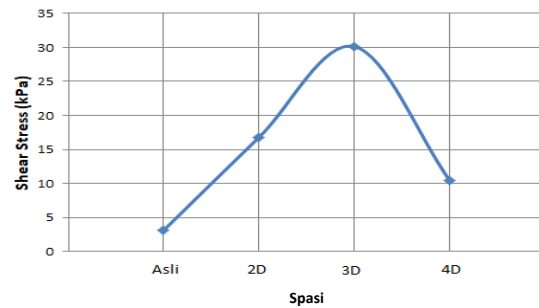
Sampel	Tegangan Geser (kPa)	Penurunan (cm)
Tanah asli	3,14	15
Jarak spasi 2D	16,8	0
Jarak spasi 3D	30,12	3
Jarak spasi 4D	10,45	10

Keterangan:

Tanah asli : tanah yang belum dipasang kolom semen

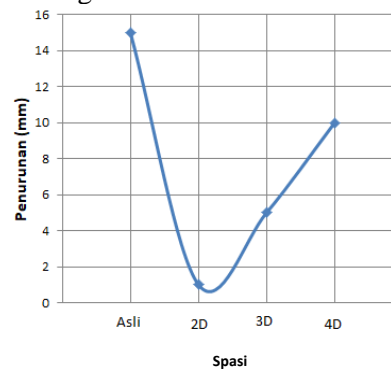
Jarak spasi : jarak antar kolom setelah dipasang kolom semen.

D : diameter kolom semen



Gambar 5. Kuat geser tanah dan jarak antar kolom semen.

Hasil uji kuat geser menunjukkan bahwa tanah asli memiliki nilai kuat geser yang paling rendah, setelah pemasangan kolom semen nilai tegangan geser meningkat dengan jarak antar kolom 2D dan 3D, sedangkan jarak antar kolom 4D nilai kuat geser menurun.



Gambar 6. Penurunan dan jarak antar kolom semen.

Tanah asli (tanpa kolom semen) menunjukkan penurunan yang terjadi lebih besar, sedangkan setelah pemasangan kolom semen penurunan yang terjadi lebih kecil dengan jarak antar kolom 2D dan kemudian penurunan meningkat dengan jarak 3D dan 4D.

PEMBAHASAN

Dari hasil analisis likuefaksi dari sepuluh titik lokasi yang ditinjau, terdapat 3 (tiga) titik lokasi yang tidak berpotensi likuefaksi, 4 (empat) titik lokasi berpotensi likuefaksi, dan 3 titik yang sangat berpotensi likuefaksi. Titik lokasi yang berpotensi likuefaksi terdapat disekitar pantai Barat kota Padang, karena lapisan tanah didominasi oleh pasir halus (berdasarkan hasil pengujian sondir) untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh peristiwa likuefaksi, maka dilakukan uji laboratorium dengan metode kolom semen.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa kolom semen dengan jarak spasing 2D dan 3D kuat geser tanah meningkat, ini disebabkan oleh terjadinya penyebaran semen disekitar kolom semen (*overlapping*) sehingga ikatan butiran tanah saling memperkuat yang menyebabkan kuat geser meningkat, dengan meningkatnya kuat geser tanah pada saat terjadinya gempa beban getaran gempa ditahan oleh kohesi tanah yang berasal dari semen sehingga mengurangi terjadinya likuefaksi.

Kolom semen dengan jarak spasing 4D, nilai kuat geser menurun, ini menunjukkan bahwa, radius penyebaran dari semen terlalu jauh (tidak terjadi *overlapping*), sehingga tidak ada ikatan antara butiran tanah antara kolom satu dengan yang lain, sehingga kuat geser rendah dan penurunan meningkat.

Pada tanah asli yang tanpa kolom semen, penurunan beban yang ditempatkan dipermukaan tanah memperlihatkan penurunan yang terjadi setelah digetarkan cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat terjadinya getaran gempa, tegangan air pori naik sama dengan tegangan total, sehingga tegangan geser efektif = 0.

$$\tau' = c' + (\sigma - u) \tan \phi \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan,

τ' : tegangan geser efektif tanah

c' : kohesi tanah =0 (pasir)

σ : tegangan total tanah

u : tekanan air pori

ϕ : sudut geser dalam tanah

Tegangan geser berubah menjadi nol (0) sehingga tanah tidak mempunyai kekuatan /daya dukung peristiwa ini disebut dengan likuefaksi. Likuefaksi

menyebabkan bangunan yang ada di atasnya amblas karena tanah kehilangan daya dukung. Kolom semen dengan jarak 2D, dapat meningkatkan nilai kuat geser tanah dari 3,14 kPa menjadi 16,8 kPa, dan jarak 3D tegangan naik menjadi 30,12 kPa, Sehingga kolom semen dengan jarak 2D dapat meningkatkan tegangan geser sebesar 537%, dan mereduksi penurunan sebesar 500%, sehingga dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh likuefaksi dengan masa perawatan (*curing*) 7 hari.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Lapisan tanah di kota Padang pada titik lokasi yang ditinjau berpotensi likuefaksi, umumnya berada di pantai Barat kota Padang. Metode kolom semen dengan jarak 2D dan 3D dapat meningkatkan kuat geser tanah sehingga mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh likuefaksi akibat gempa.

Saran

Perlu adanya peninjauan titik lokasi lain yang dianalisis terhadap potensi likuefaksi. Untuk meminimalkan dampak yang ditimbulkan akibat peristiwa likuefaksi, sebaiknya ditinjau terhadap metode lainya seperti metode injeksi.

Dalam uji laboratorium, tekanan pori agar juga dipertimbangkan di dalam analisis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Politeknik Negeri Padang yang telah memfasilitasi terlaksananya penelitian ini dan kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini, serta semua pihak yang telah membantu penelitian ini sampai terwujudnya karya tulis ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- American Standard Testing and Material (ASTM). 2003. Annual Book of ASTM Standards, section 4, volume 04.08 Soil and Rock.
- Atmanto, Indrastono Dwi. 2013. Pengenalan Stabilisasi Tanah Dengan Jet Grouting. *Jurnal Teknik* 34(2): 75 – 78. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/art>

- icle/view/5628. Diakses pada 10 September 2018.
- Boulanger, R. W and Idriss, I. M. 2014. *CPT and SPT Based Liquefaction Triggering Procedures Center for Geotechnical Modeling*. Report No. UCD/CGM-14/01. University of California.
- Darwis. 2017. *Dasar-dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Pustaka AQ: Yogyakarta.
- Das, Braja M. 1992. *Principle of soil Dynamic*. PWS-KENT Publishing Company: Boston.
- Dixit. J., D.M. Dewalkar, and R.S. Jangid. 2012. Assesment of liquefaction potential indexes for Mumbay city. *Natural Hazards and earth system Sciences* 12(9): 2759–2768.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Hatmoko, J. Tri, dan Y. Lulie. 2008. Evaluasi Potensi Pencairan Tanah Akibat Gempa. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 2*.
- Mase, Lindung Zalbiun. 2017. *Experimental Liquefaction Study of Southern Yogyakarta Using Shaking Table* 24(1): 11-17.
- Muntohar, A.S., Anita Widiarti, Ekrar Oktoviar, Edi Hartono, dan Willis Diana. 2008. Aplikasi Teknik Kolom-Semen (Cement-Column) Pada Tanah Berpasir. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi II (SATEK2) 17-18 November 2008*. <http://tekniksipil.umy.ac.id/wp-content/uploads/2011/06/Kolom-semen-SATEK2.pdf>. Diakses pada 12 november 2015.
- Pramono, P., B. Widjaja, S. Herina, Anastasia S. L., A. Lim, S. Rustiani, S. Wiguna, dan Vienti Hapsari. 2014. Kajian Geoteknik Infrastruktur Untuk Kota Padang Menghadapi Ancaman Gempa Dan Tsunami. *Research Report - Engineering Science* 2-2014. <http://journal.unpar.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/1300/1270>. Diakses pada 28 November 2018.
- Widodo, P. 2012. *Seismologo Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar: Yogyakarta.