

DESAIN PERBAIKAN TANAH UNTUK MITIGASI LIKUIFAKSI DI LOMBOK, NUSA TENGGARA BARAT

GROUND IMPROVEMENT DESIGN FOR LIQUEFACTION MITIGATION IN LOMBOK, NUSA TENGGARA BARAT

Zahra Rani Bilqis¹ dan Dr. Ir. Hendriyawan, MT²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10, Bandung, 40132

[¹bilqisz@yahoo.com](mailto:bilqisz@yahoo.com) dan [²hendriyawan_nln@yahoo.com](mailto:hendriyawan_nln@yahoo.com)

Abstrak: Indonesia memiliki wilayah laut yang luas dan dapat dimanfaatkan untuk pembangunan infrastruktur. Namun, gempa bumi menjadi salah satu bahaya yang perlu diperhatikan karena Indonesia berada di wilayah sistem tektonik yang aktif. Fenomena yang dapat terjadi akibat gempa bumi adalah likuifaksi. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan desain perbaikan tanah untuk mitigasi likuifaksi. Dalam Tugas Akhir ini, potensi likuifaksi dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif di lokasi studi yang berada di Lombok, Nusa Tenggara Barat. Analisis kualitatif ditinjau berdasarkan data historis gempa dan geologis tanah. Sedangkan pada analisis kuantitatif, parameter tegangan dan nilai SPT tanah digunakan untuk menentukan likuifaksi berdasarkan nilai faktor keamanan (FS) dengan metode *Simplified Seed*. Jika nilai $FS < 1,1$ maka lokasi berpotensi likuifaksi, jika $FS \geq 1,1$ maka tidak berpotensi likuifaksi. Setelah kedua analisis dilakukan, diperoleh bahwa Lombok memiliki potensi likuifaksi. Kemudian, studi dilanjutkan untuk menentukan metode perbaikan tanah yang sesuai berdasarkan kedalaman efektif tanah perbaikan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kedalaman tanah yang perlu diperbaiki adalah 10 m dan 12 m, sehingga metode yang dapat diterapkan adalah *vibrocompaction* dan *stone column*. Kedua metode ini menggunakan teknik getaran untuk memadatkan tanah dengan cara memasukkan alat getar ke dalam tanah. Namun pada metode *stone column* selain dilakukan pemadatan dengan teknik getaran, sebagian tanah juga diganti dengan material *gravel*. Pada Tugas Akhir ini, desain perbaikan tanah berupa konfigurasi diameter kolom, spasi antar kolom, dan pola titik pemadatan yang optimum. Hasil desain *vibrocompaction* yang diperoleh adalah spasi antar kolom 1,6 m dan diameter kolom 0,35 m dengan pola pemadatan *equilateral triangular*. Sedangkan hasil desain *stone column* yang diperoleh adalah diameter kolom 1 m untuk kedua pola pemadatan dengan rentang spasi 2,6 m – 3 m untuk pola *square* dan rentang spasi 2,9 m – 3,0 m untuk pola *equilateral triangular*.

Kata kunci: likuifaksi, perbaikan tanah, *vibrocompaction*, *stone column*, Lombok

Abstract: Indonesia have vast oceans that is a great potential for infrastructure development. However, as a country which was located in an active tectonic system, it also has to face some major problems, such as earthquake, that needs to be considered. The phenomenon that may occur due to earthquake is liquefaction. The purpose of this research is to design a ground improvement for liquefaction mitigation. The subject of this research is liquefaction assessment and mitigation for of Lombok, Nusa Tenggara Barat, which was analyzed both quantitatively and qualitatively. Qualitative analysis was done based on historical and geological data. Meanwhile, quantitative analysis was done by considering soil stress parameter and SPT value to determine liquefaction based on safety factor (FS) calculation by Simplified Seed Method. If $FS < 1.1$, the location does not have liquefaction potency. However, if $FS \geq 1.1$, it means that the location has the liquefaction potency. Using that method, it was concluded that Lombok have a liquefaction potential. This research was then continued to determine the right ground improvement method that was chosen based on effective depth of improvement. Results showed that the soil depth that needs to be improved was 10 m and 12 m so that the chosen methods were vibrocompaction and stone column. Both of these methods use vibration technique to compact the soil by inserting vibrating equipments into the ground. For stone column method, in addition to compaction with vibration techniques, part of the soil was also replaced with gravel. In this research, the ground improvement design was in a form of column diameter configuration, spacing between column, and the compaction pattern. For vibrocompaction design, the required spacing is 1,6 with column diameter 0,35 m for equilateral triangular pattern. Meanwhile, the stone column spacing is 2,6 m – 3,0 m for square pattern and 2,9 m – 3,0 m for equilateral triangular pattern with diameter column 1 m for both of compaction pattern.

Keywords: liquefaction, ground improvement, vibrocompaction, stone column, Lombok

PENDAHULUAN

Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia dapat memanfaatkan wilayah lautnya untuk pembangunan infrastruktur seperti pulau reklamasi. Namun dalam pembangunan tersebut, resiko-resiko yang dapat membahayakan infrastruktur perlu diperhatikan. Wilayah Indonesia berada di area pergerakan lempeng bumi, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Hal ini membuat Indonesia memiliki resiko gempa yang tinggi. Seperti yang kita ketahui, gempa dapat membahayakan struktur.

Salah satu fenomena yang dapat terjadi akibat gempa adalah likuifaksi. Beban siklis pada tanah membuat tekanan air pori tanah meningkat sehingga tanah berperilaku seperti fluida dan memiliki kapasitas geser yang sangat kecil. Ketika terjadi likuifaksi, struktur yang berada di atas tanah tersebut dapat mengalami kegagalan dan bisa menyebabkan kerugian. Oleh karena itu, tindakan mitigasi dibutuhkan untuk menghindari bahaya likuifaksi. Metode yang dapat dilakukan untuk mitigasi likuifaksi adalah perbaikan tanah.

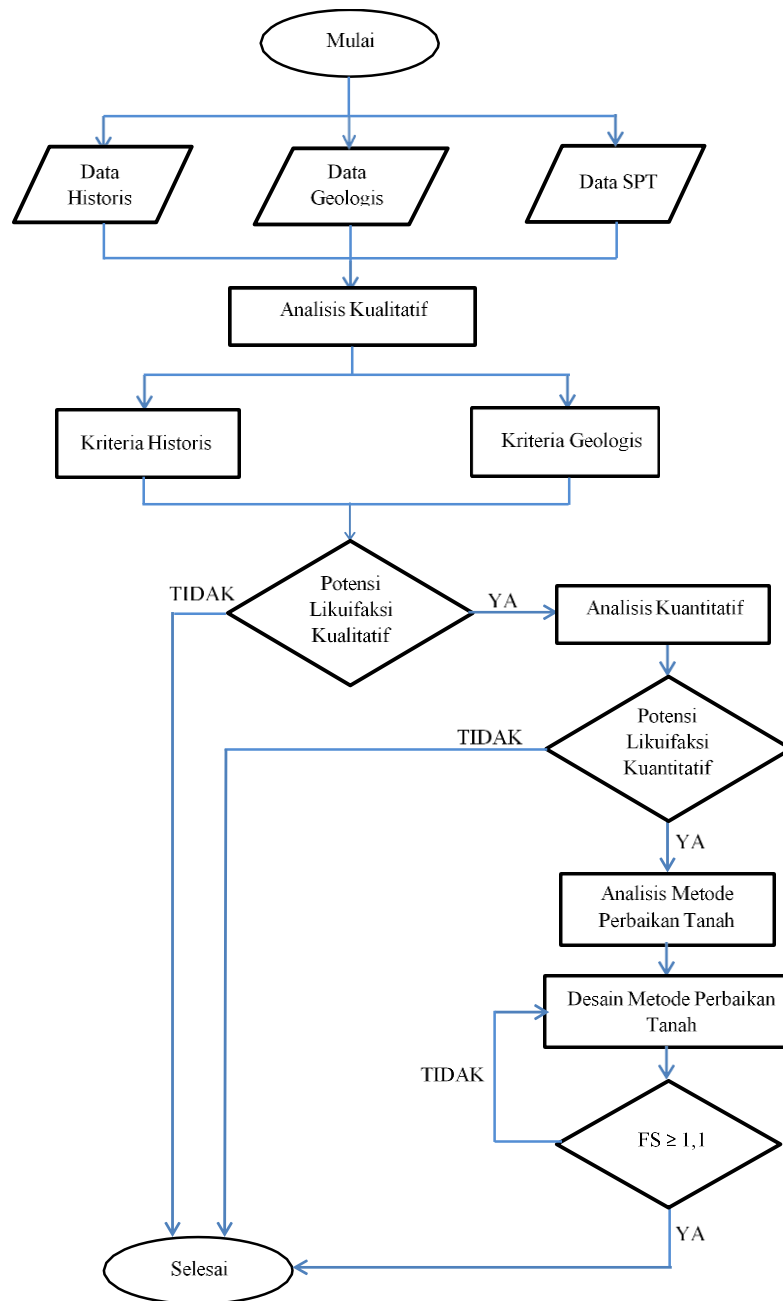
TEORI DAN METODOLOGI

Gempa bumi adalah pelepasan energi dalam bumi secara tiba-tiba sehingga bumi bergetar. Hal ini ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Selain itu, gempa bumi juga dapat disebabkan oleh aktivitas gunung api, runtuhan, dan aktivitas manusia seperti ledakan dinamit.

Likuifaksi adalah kegagalan struktur yang disebabkan oleh berkurangnya kekuatan geser tanah akibat meningkatnya tekanan air pori. Ketika beban siklik bekerja pada tanah dan tekanan air pori meningkat, maka air pori akan mengalir dengan cepat ke permukaan dengan membawa butiran pasir yang terlepas yang disebut *sand boil*. Namun, efek likuifaksi di permukaan ini dapat dihindari ketika terdapat lapisan tanah non-likuifaksi yang berada di atas tanah likuifaksi dengan ketebalan tertentu.

Untuk menghindari masalah likuifaksi tersebut, dibutuhkan suatu upaya perbaikan tanah untuk mitigasi likuifaksi. Beberapa metode yang dapat dilakukan adalah *vibrocompaction*, *stone column*, *dynamic compaction*, dan *rapid impulse compaction*.

Tugas Akhir ini akan membahas analisis potensi likuifaksi, pemilihan metode perbaikan tanah serta desain perbaikan tanah. Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir metodologi

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, kegiatan yang dilakukan dibagi menjadi 2 bagian besar yaitu analisis potensi likuifaksi dan desain perbaikan tanah. Analisis potensi likuifaksi secara kualitatif dilakukan berdasarkan kriteria historis dan geologis tanah. Jika terdapat potensi likuifaksi dari pengujian analisis kualitatif, maka studi dilanjutkan untuk menganalisis secara kuantitatif dan metode perbaikan tanah yang dapat diterapkan. Setelah itu, desain perbaikan tanah dibuat agar tanah yang diperbaiki memiliki $FS \geq 1,1$.

HASIL DAN ANALISIS

Analisis Potensi Likuifaksi

Analisis potensi likuifaksi secara kualitatif menghasilkan bahwa di lokasi studi terdapat potensi likuifaksi. Berdasarkan data historis gempa yang diplot pada Grafik Ambraseys (1988), 3 dari 47 kejadian gempa di Lombok mempunyai potensi likuifaksi. Selain itu, berdasarkan data geologis tanah diperoleh bahwa lokasi studi memiliki jenis tanah alluvial yang rentan terhadap likuifaksi. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa secara kualitatif lokasi studi memiliki potensi likuifaksi. Maka, analisis dilanjutkan secara kuantitatif menggunakan metode *Simplified Seed*.

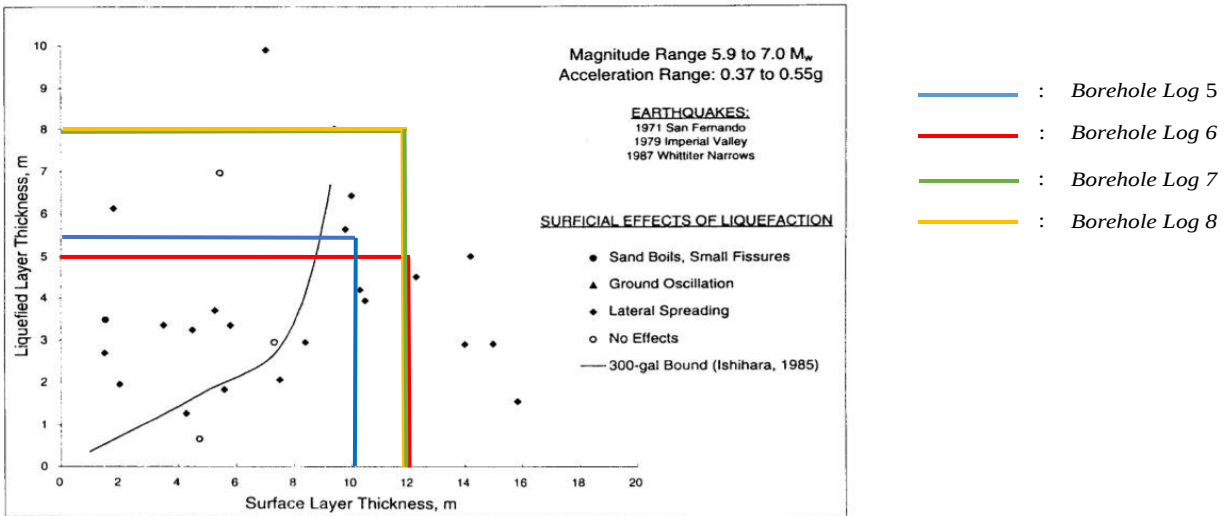
Hasil analisis kuantitatif ditunjukkan pada Tabel 1, diperoleh bahwa 4 dari 5 titik *borehole log* memiliki potensi likuifaksi.

Tabel 1 Hasil potensi likuifaksi di setiap borehole log

Kedalaman	Jenis Tanah	CSR	CRR	FS	Keterangan
B – 5					
0,00 – 5,50	Medium sand	0,58	0,36	0,62	L
5,50 – 9,00	Loose sand	0,56	0,16	0,29	L
9,00 – 15,45	Medium sand	0,45	0,28	0,61	L
B – 6					
0,00 – 14,00	Medium sand	0,46	0,29	0,62	L
14,00 – 17,00	Loose sand	0,43	0,12	0,28	L
17,00 – 20,00	Dense sand	0,39	0,91	2,33	TL
B – 7					
0,00 – 6,00	Medium sand	0,48	0,25	0,53	L
6,00 – 9,00	Loose sand	0,46	0,14	0,29	L
9,00 – 20,00	Loose sand	0,34	0,12	0,34	L
B – 8					
0,00 – 8,00	Medium sand	0,46	0,22	0,49	L
8,00 – 20,00	Loose sand	0,41	0,09	0,22	L
B – 9					
0,00 – 3,50	Dense sand	0,53	0,93	1,73	TL
3,50 – 15,02	Very dense sand	0,38	1,52	3,96	TL

Pemilihan Metode Perbaikan Tanah

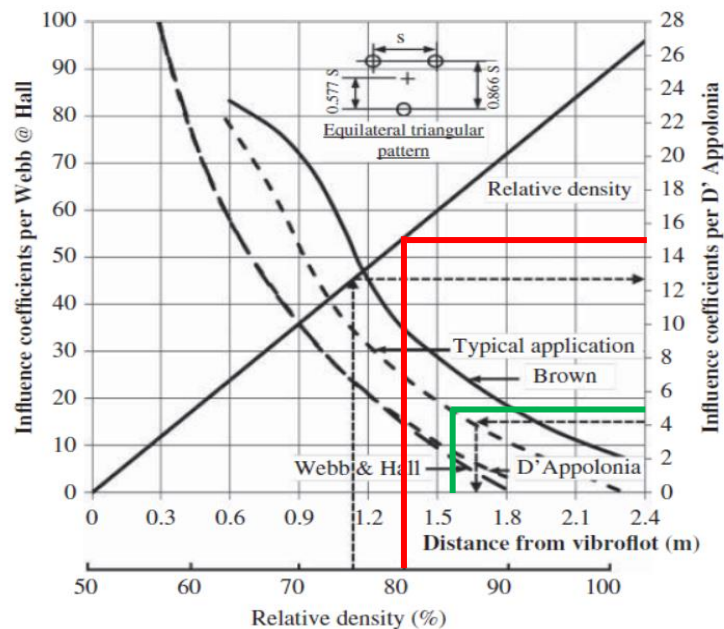
Metode perbaikan tanah dipilih berdasarkan kedalaman efektif tanah perbaikan. Berdasarkan pendekatan *probability ground failure* dan kurva Ishihara (1985) yang ditunjukkan pada Gambar 2, diperoleh kedalaman tanah yang perlu diperbaiki adalah 10 m untuk B – 5, dan 12 m untuk B – 6, B – 7, dan B – 8. Sehingga, metode perbaikan tanah yang digunakan adalah *vibrocompaction* dan *stone column*.



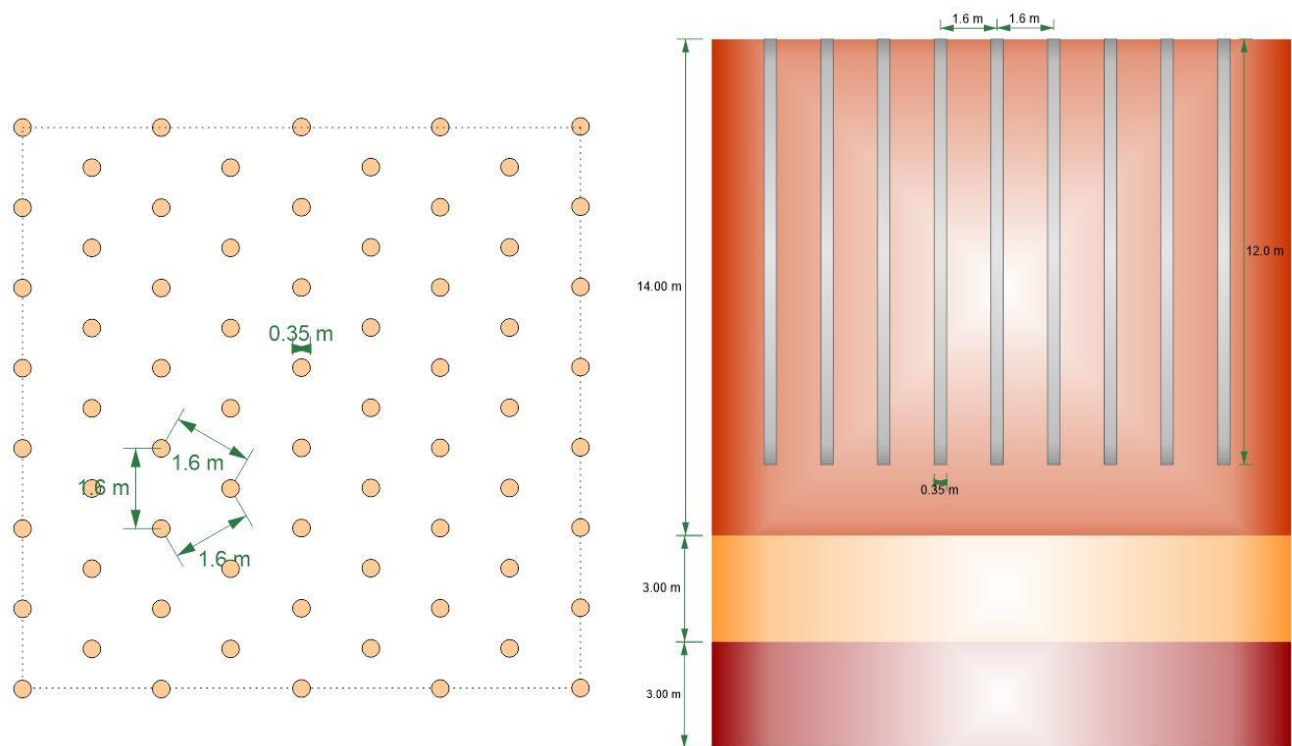
Gambar 2 Ketebalan lapisan non-likuifaksi dan likuifaksi terhadap efek likuifaksi di permukaan

Desain Perbaikan Tanah

Diameter yang digunakan untuk desain *vibrocompaction* adalah 0,35 m yang merupakan diameter alat. Kemudian, pola pemadatan yang digunakan adalah *equilateral triangular* dengan spasi antar kolom diperoleh sebesar 1,6 m menggunakan metode D'Appolonia yang ditunjukkan pada Gambar 3. Desain *vibrocompaction* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3 Spasi antar kolom

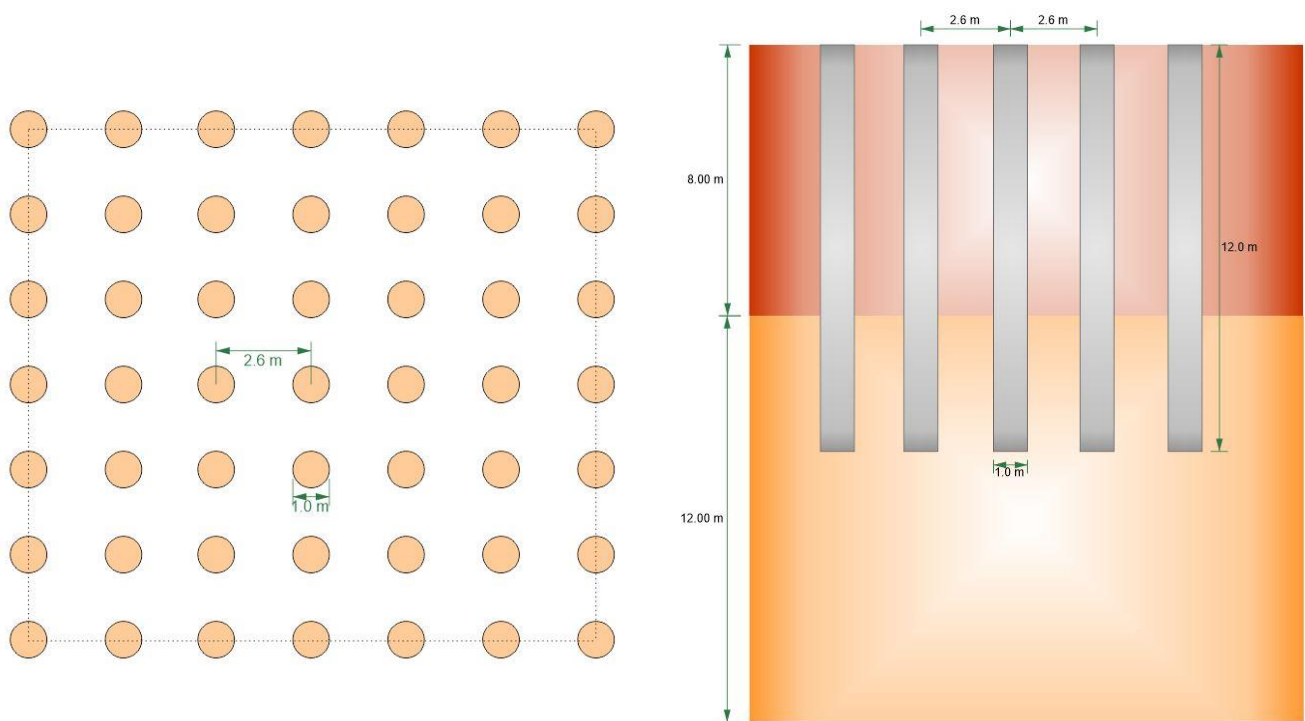


Gambar 4 Desain *vibrocompaction* tampak atas (kiri) dan tampak samping (kanan)

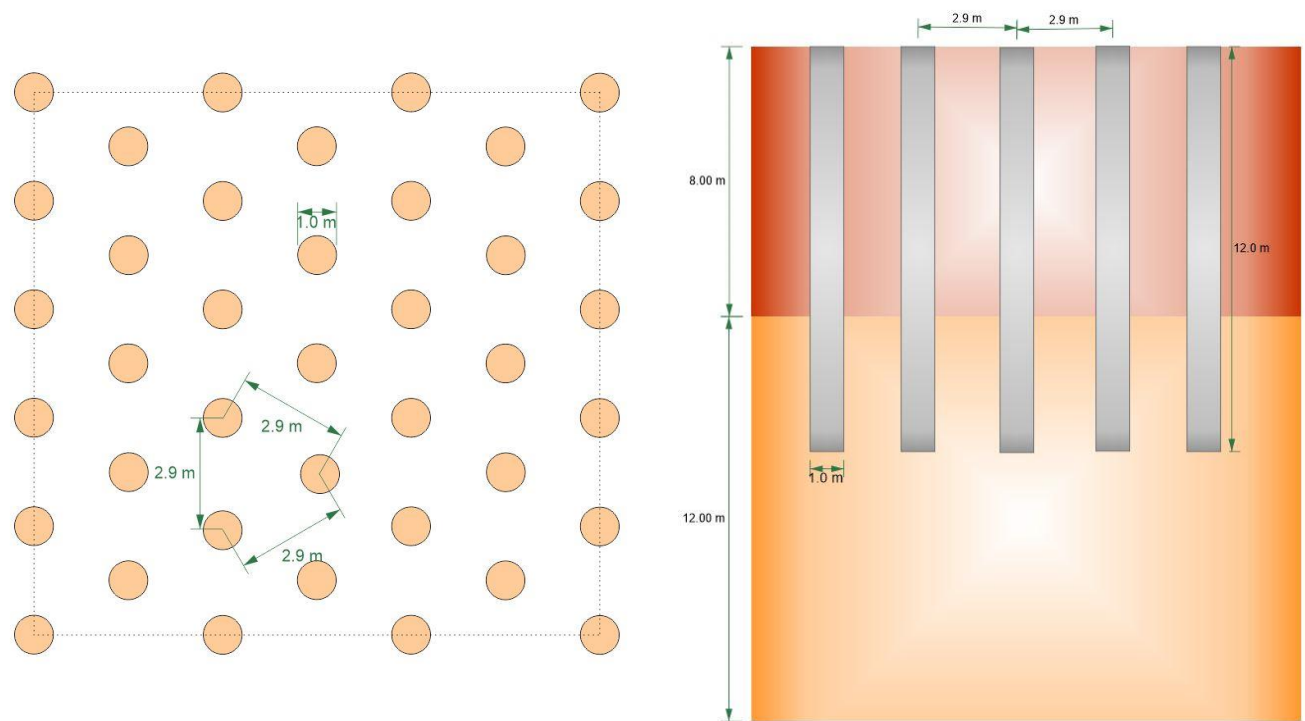
Metode Baez (1995) digunakan untuk mengestimasi nilai SPT setelah dipasang *stone column* berdasarkan diameter kolom, pola pemadatan, dan spasi antar kolom. Diameter kolom yang digunakan adalah 1 m, dan hasil perhitungan menunjukkan bahwa pola *square* membutuhkan spasi dengan rentang 2,6 m – 3,0 m sedangkan pola *equilateral triangular* membutuhkan spasi dengan rentang 2,9 m – 3,0 m. Desain *stone column* untuk kedua pola pemadatan ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Tabel 2 Spasi antar kolom untuk setiap *borehole*

Zona	Spasi (m)	Pola
B – 5	2,9	Square
B – 6	3,0	
B – 7	2,7	
B – 8	2,6	
B – 5	3,0	Equilateral Triangular
B – 6	3,0	
B – 7	2,9	
B – 8	2,9	



Gambar 5 Desain *stone column* tampak atas (kiri) dan tampak samping (kanan) pola *square*



Gambar 6 Desain *stone column* tampak atas (kiri) dan tampak samping (kanan) pola *equilateral triangular*

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari pengerjaan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Analisis potensi likuifaksi dengan kriteria historis menunjukkan bahwa beberapa peristiwa gempa di masa lalu memiliki potensi likuifaksi.
2. Analisis potensi likuifaksi dengan kriteria geologis menunjukkan bahwa tanah di Lombok secara umum merupakan tanah alluvial, breksi dan lava yang terbentuk pada masa Plistosen dan memiliki potensi terjadinya likuifaksi.
3. Analisis secara kuantitatif menunjukkan bahwa 4 dari 5 titik *borehole* memiliki potensi likuifaksi.
4. Dengan pendekatan *probability ground failure* dan pemakaian kurva Ishihara (1985) diperoleh kedalaman tanah yang perlu diperbaiki adalah 10 m dan 12 m.
5. Metode perbaikan tanah yang digunakan adalah *vibrocompaction* dan *stone column* yang sesuai kebutuhan kedalaman perbaikan tanah.
6. Pada desain *vibrocompaction*, digunakan pola *equilateral triangular* dengan diameter kolom sebesar 0,35 m dan spasi antar kolom 1,6 m yang ditentukan menggunakan kurva D'Appolonia.
7. Metode Baez (1995) digunakan untuk menentukan desain *stone column*. Konfigurasi yang didapatkan adalah spasi dengan rentang 2,9 m – 3 m dan diameter 1 m untuk pola *equilateral triangular* sedangkan untuk pola *square* didapat spasi dengan rentang 2,6 m – 3 m dan diameter 1 m.

Beberapa saran untuk menjadikan studi ini menjadi lebih baik adalah sebagai berikut:

1. Data laboratorium seperti *grain size distribution* untuk memperkuat analisis kualitatif agar lebih teliti. Selain itu, data tersebut juga dapat digunakan untuk pemilihan metode perbaikan tanah yang lebih optimum sesuai dengan jenis tanah dan *finer content*.
2. Data lapangan *borehole log* dan SPT perlu diperbanyak agar hasil yang diperoleh menjadi lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- Ambraseys, N. N. (1988). Engineering Seismology. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1-105.
- Badan Standar Nasional. (2008). *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*. Jakarta: BSN.
- Badan Standar Nasional. (2012). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN.

- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: BSN.
- Baez, J. I. (1995). *A Design Model for The Reduction of Soil Liquefaction by Vibro-Stone Columns*. California: University of Southern California.
- Bureau of Indian Standards. (2003). *Design and Construction for Ground Improvement - Guidelines*. New Delhi.
- Chen, K. C., Huang, W. G., & Wang, J. H. (2007). Relationships Among Magnitudes and Seismic Moment of Earthquakes in The Taiwan Region. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 962 - 963.
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering*. Stamford: Cengage Learning.
- Han, J. (1964). *Principles and Practice of Ground Improvement*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Idriss, I., & Boulanger, R. W. (2010). *SPT-Based Liquefaction Triggering Procedures*. California: Center of Geotechnical Modeling, University of California.
- Kirsch, M. P. (2004). *Ground Improvement*. New York: Spon Press.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.
- Li, D. K., Juang, C. H., & Andrus, R. C. (2006). Liquefaction Potential Index: A Critical Assessment Using Probability Concept. *Journal of GeoEngineering*.
- Sunarjo, d. (2012). *Gempabumi*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Wafid, M., Sugiyanto, Pramudyo, T., & Sarwondo. (2014). *Resume Hasil Kegiatan Pemetaan Geologi Teknik Pulau Lombok Sekala 1:250.000*. Bandung: Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan.
- Youd, T. L. (1995). Liquefaction-Induced Ground-Surface Disruption. *Journal of Geotechnical Engineering*, 34 - 37.