

STUDI PEMODELAN PERKUATAN TANAH PASIR TERHADAP LIKUEFAKSI DENGAN GEOTEKSTIL DAN KERIKIL UNTUK PONDASI DANGKAL

Hendra Setiawan¹⁾, Martini^{2)*}

Program Studi Teknik Sipil Universitas Tadulako

e-mail: hendra3909@gmail.com

Program Studi Teknik Sipil Universitas Tadulako

e-mail : martini_geotechnic@yahoo.com

ABSTRAK

Pada 28 September 2018 pukul 17.02 WIB gempa mengguncang kota Palu, Sigi dan Donggala. Dengan kekuatan 7,4 SR Magnitude dengan kedalaman 10 km, gempa tersebut mengakibatkan terjadinya tsunami, tanah bergerak dan likuefaksi. Likuefaksi terjadi di wilayah tertentu dengan luasan yang berbeda-beda, wilayah dengan dampak terbesar akibat likuefaksi terjadi di kelurahan Petobo, Balaroa, Sibalaya dan desa Jono Oge. Fenomena likuefaksi pada suatu daerah bisa dianalisis potensinya serta dapat dilakukan mitigasi untuk meminimalisir dampak dari likuefaksi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat fisik tanah pada sampel pasir Desa Jono Oge Kec. Sigi Biromaru, dan pengaruh penggunaan geotekstil dan kerikil sebagai bahan perkuatan terhadap besarnya penurunan dan daya dukung tanah. Penelitian ini dilakukan dengan membuat variasi pemodelan likuefaksi skala laboratorium sebanyak tujuh model variasi dengan pemodelan gempa menggunakan meja getar dengan percepatan gempa $\geq 0,5$ g selama 30 detik, dan kerapatan relatif tanah (D_r) 40 %. Klasifikasi tanah dari Jono Oge menurut USCS termasuk SC yaitu pasir berlempung, campuran pasir – lempung dan termasuk kriteria potensi likuefaksi sedang. Hasil pemodelan likuefaksi, penggunaan perkuatan geotekstil dan kerikil dapat mengurangi penurunan pada tanah pasir. Pemodelan yang efektif adalah pemodelan dengan tebal timbunan yang tipis jika kerapatan relatif (D_r) pasir terlikuefaksi sama dengan timbunan. Sedangkan hasil analisa daya dukung menunjukkan bahwa jika muka air tanah sejajar dengan dasar pondasi maka nilai daya dukung yang dihasilkan akan tetap sama, tetapi jika muka air tanah semakin jauh dari dasar pondasi maka nilai daya dukung yang dihasilkan akan semakin besar.

Kata kunci : Likuefaksi, Penurunan, Perkuatan, Geotekstil, Kerikil

PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan peristiwa terjadinya getaran tanah pada permukaan bumi. Sebagaimana bencana alam lainnya, fenomena gempa bumi sulit untuk diprediksi waktu dan lokasi kejadiannya. Gempa bumi utamanya diakibatkan oleh pergerakan lempeng-lempeng tektonik bumi. Terdapat juga gempa bumi yang disebabkan oleh fenomena-fenomena lain, seperti aktivitas vulkanik gunung berapi, dan ledakan akibat tumbukan meteor, namun dampak dan skalanya lebih kecil akibat gempa bumi tektonik. Sebagai akibat dari dampak terjadinya gempa bumi, muncul masalah lain akibat dari gempa bumi yaitu terjadinya fenomena likuefaksi dan tsunami (Manoppo dan Ticoh, 2019).

Jumat, 28 September 2018 pukul 17.02 WIB terjadi gempa bumi dengan magnitudo 7,4 SR yang mengguncang kota Palu, Sigi dan Donggala. Episentrum berada pada koordinat 0.18 Lintang Selatan, 119.85 Bujur Timur dengan jarak 26 Km Utara Donggala pada kedalaman 10 km (BMKG Sugeng Pribadi, dkk. 2018).

Gempa tersebut mengakibatkan terjadinya tsunami, tanah bergerak dan likuefaksi. Fenomena ini menyebabkan ribuan warga meninggal dan ikut terkubur serta bangunan di atasnya amblas ke dalam bumi. Likuefaksi terjadi di wilayah tertentu dengan luasan yang berbeda-beda, wilayah dengan dampak terbesar akibat likuefaksi terjadi di kelurahan Petobo, Balaroa, Sibalaya dan Desa Jono Oge. Namun terdapat juga beberapa gedung di wilayah Kota Palu yang mengalami likuefaksi lokal seperti RS. Anutapura (PuSGeN, 2018).

Fenomena likuefaksi dapat di analisa tingkat kerentanannya berdasarkan karakteristik tanah dan letak muka air tanah pada suatu daerah. Dengan mengetahui tingkat kerentanan terhadap likuefaksi , maka dapat dilakukan usaha perbaikan tanah yang bertujuan meminimalisir dampak yang ditimbulkan ketika terjadi likuefaksi. Penelitian ini mencoba melakukan uji pemodelan likuifaksi dengan melakukan perkuatan tanah menggunakan geotekstil dan kerikil , dengan sampel tanah dari desa Jono Oge. Dari pemodelan ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dalam mengatasi atau meminimalisir dampak dari likuefaksi.

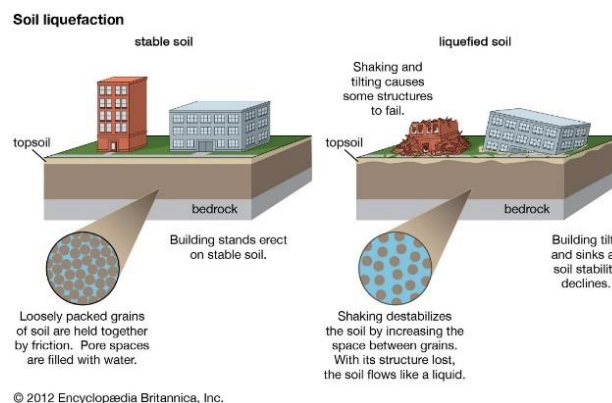
TINJAUAN PUSTAKA

Likuefaksi

Menurut Tohari (2007), likuefaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat kenaikan tegangan air pori yang disebabkan oleh beban dinamik berupa gempa. Likuefaksi dapat terjadi bila percepatan maksimum permukaan tanah bernilai $> 0,1$ g dengan kekuatan gempa > 5 SR.

Day (2001) menjelaskan bahwa gempa bumi dapat mengakibatkan *secondary effect* atau proses non tektonik di permukaan yang berhubungan langsung dengan gempa bumi. Salah satu efek sekunder ini adalah terjadinya fenomena pencairan tanah akibat beban siklik atau yang dikenal dengan istilah likuefaksi. Peristiwa likuefaksi pada umumnya terjadi pada konsistensi tanah granular jenuh (*saturated*) yang lepas sampai sedang dengan sifat drainase dalam tanah. Endapan atau deposit tanah yang berpotensi mengalami likuefaksi ketika diberikan beban siklik adalah pasir halus (*sand*), pasir berlumpur (*silty sand*), dan pasir lepas (*loose sand*). Karena hanya terjadi di tanah yang jenuh, likuefaksi umumnya terjadi di dekat sungai, teluk, atau badan air lainnya (Kramer, 1996).

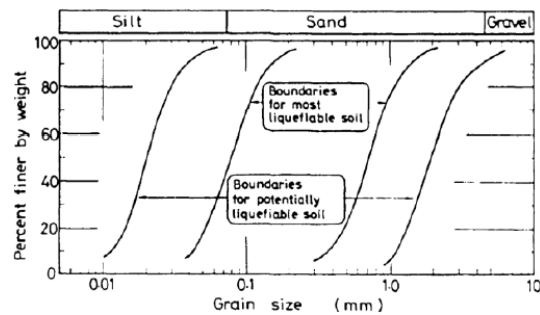
Menurut Seed et al (1975), Likuefaksi adalah proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi cair akibat meningkatnya tekanan air pori yang harganya menjadi sama dengan tekanan total oleh sebab terjadinya beban dinamik, sehingga tegangan efektif tanah menjadi nol. Likuifaksi juga adalah fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran (Tijow dkk. 2018).



Gambar 1 Proses Keruntuhan Bangunan Akibat Likuefaksi

Potensi Likuefaksi Berdasarkan Gradasi Butiran

Menurut Tsuchida (1970), distribusi butiran tanah dapat dijadikan satu metode analisis pendahuluan potensi likuefaksi tanah. Panduan analisis yang diusulkan tersebut disajikan dalam suatu grafik distribusi butiran tanah yang menjelaskan kriteria kerentanan suatu tanah rentan terhadap potensi likuefaksi.



Gambar 2 Distribusi Butiran Menurut Tsuchida (1970)
(Sumber : Mase, 2014)

Kerapatan Relatif (D_r)

Dalam Hardiyatmo (2017) kerapatan relatif (D_r) umumnya dipakai untuk menunjukkan tingkat kerapatan tanah granuler (berbutir kasar) di lapangan. Kemungkinan angka pori terbesar atau kondisi terlonggar dari suatu tanah disebut dengan angka pori maksimum (e_{mak}). Angka pori minimum (e_{min}) adalah kemungkinan kondisi terpadat yang dicapai oleh tanah.

Kerapatan relatif dinyatakan dalam persamaan :

$$D_r = \left[\frac{\gamma_{dmak}}{\gamma_d} \right] \left[\frac{\gamma_d - \gamma_{dmin}}{\gamma_{dmak} - \gamma_{dmin}} \right]$$

dengan :

D_r = Kerapatan relative

γ_{dmak} = Berat volume tanah kering maksimum

γ_{dmin} = Berat volume tanah kering minimum

γ_d = Berat volume tanah kering

Geotekstil

Geotekstil merupakan material lolos air atau material tekstil buatan pabrik yang dibuat dari bahan-bahan sintesis, seperti : polypropylene, polyester, polyethylene, nylon, polyvinyl chloride dan campuran dari bahan-bahan tersebut. Seluruh material ini adalah *thermoplastic*.

Geotekstil secara garis besar dibedakan menjadi dua jenis yaitu geotekstil *woven* dan geotekstil *non woven*. Perbedaan dari kedua jenis material geotekstil ini adalah pada cara pembuatannya. Geotekstil *woven* dibuat dengan cara dianyam sedangkan geotekstil *non woven* proses pembuatannya tidak dengan cara dianyam sehingga tekstur dari geotekstil *woven* terlihat lebih teratur dibandingkan dengan geotekstil *non woven*.

Hardiyatmo (2018) bila tanah mengalami pembebanan seperti beban pondasi, tanah akan mengalami distorsi dan penurunan. Jika beban ini berangsur – angsur ditambah, penurunan pun juga bertambah. Akhirnya, pada suatu saat, terjadi kondisi di mana pada beban tetap, pondasi mengalami penurunan yang sangat besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa keruntuhan kapasitas dukung telah terjadi.

Kapasitas Dukung Tanah Teori Terzaghi

Hardiyatmo,(2018) bila tanah mengalami pembebanan seperti beban pondasi, tanah akan mengalami distorsi dan penurunan. Jika beban ini berangsur – angsur ditambah, penurunan pun juga bertambah. Akhirnya, pada suatu saat, terjadi kondisi dimana pada beban tetap, pondasi mengalami penurunan yang sangat besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa keruntuhan kapasitas dukung telah terjadi.

Persamaan umum Terzaghi dapat dituliskan :



$$q_u = cN_c + Df\gamma N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma$$

dengan :

c = kohesi (kN/m^2)

Df = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

B = lebar pondasi (m)

N_γ, N_c, N_q = faktor kapasitas dukung tanah (fungsi ϕ)

Persamaan umum untuk kapasitas dukung ultimit pada pondasi memanjang keruntuhan geser lokal, dinyatakan oleh persamaan :

$$\text{tg } \phi' = (2/3) \text{tg } \phi$$

$$c' = (2/3) c$$

$$q_u = c' N_c' + Df\gamma N_q' + 0,5 \gamma B N_\gamma'$$

Nilai N_c' , N_q' dan N_γ' adalah faktor kapasitas dukung tanah pada kondisi keruntuhan geser lokal.

METODE PENELITIAN

Persiapan Sampel dan Bahan

Pengambilan sampel pasir terlikuefaksi dari desa Jono Oge Kec. Sigi Biromaru dan sampel kerikil diambil dari Sungai Kawatuna. Bahan geotekstil yang digunakan adalah tipe geotekstil teranyam (*woven geotextile*) UW – 150.

Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis

Pengujian sifat fisik dan mekanis tanah yaitu dilakukan uji berat isi kering maksimum dan berat isi kering minimum, analisa ukuran butiran, berat jenis, batas – batas Atterberg dan kuat geser tanah.

Menentukan berat sampel dengan kerapatan relatif $D_r = 40 \%$

Berat isi minimum (γ_{\min}) dan berat isi maksimum (γ_{\max}) tanah pasir dan kerikil yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium akan digunakan dalam perhitungan kerapatan relatif (D_r) untuk menentukan berat sampel yang akan dimasukkan ke dalam kotak kaca sesuai ketinggian masing- masing pada pemodelan dengan ukuran kotak kaca 49 cm x 39 cm x 39,5 cm.

Pemodelan dan Pengujian

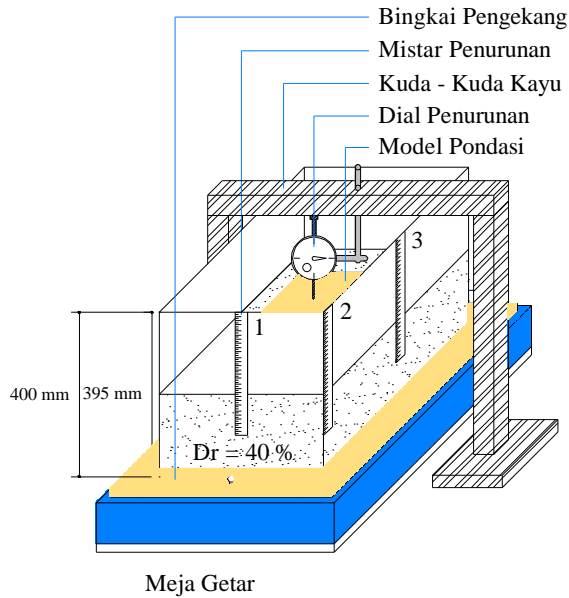
Variasi Pemodelan Likuefaksi

Variasi pemodelan likuefaksi menggunakan kotak kaca ukuran 49 cm x 39 cm x 39,5 cm. Pasir terlikuefaksi (h_1), kerikil (h_2) dan timbunan (h_3), dengan variasi ketebalan timbunan (h_3) yang berbeda dan muka air tanah setinggi pasir terlikuefaksi (h_1) dan di permukaan tanah (h_{total}).

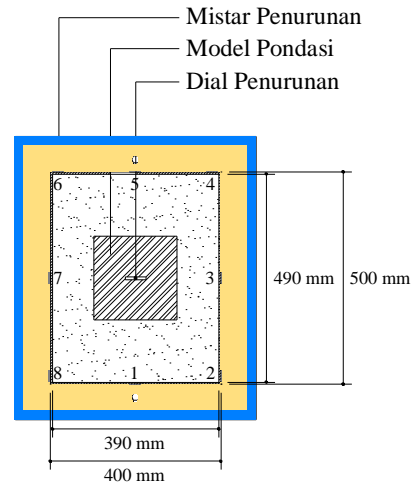
Tabel 1 Berat isi tanah kering dengan kerapatan relatif $D_r = 40\%$

Uraian	Kerapatan Relatif, D_r (%)	Berat Isi Kering, γ_d (gr/cm^3)
Pasir Terlikuefaksi, h_1	40	1,50
Kerikil, h_2	40	1,70
Timbunan 5 cm, h_3	40	1,50
Timbunan 10 cm, h_3	40	1,50
Timbunan 15 cm, h_3	40	1,50

Melakukan pemodelan sebanyak tujuh variasi, tanpa perkuatan satu variasi dan dengan perkuatan enam variasi. Gempa disimulasikan dengan menggunakan meja getar dengan percepatan gempa $\geq 0,5$ g selama 30 detik dengan kerapatan relatif tanah pada $Dr = 40\%$. Setelah digetarkan tunggu hingga mencapai waktu yang ditentukan lalu catat pembacaan penurunan pada dial dan mistar yang sudah terpasang. Gambar 2 dan 3 memperlihatkan *setting* pemodelan tanah dan alat pengukur penurunan.

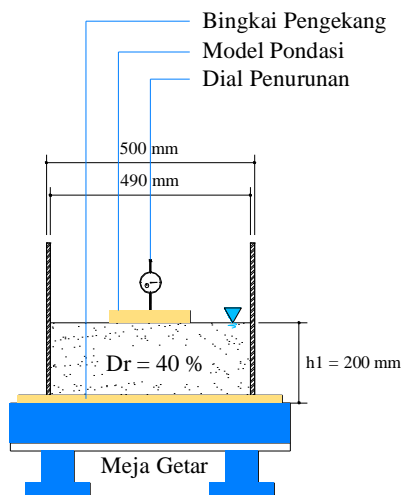


Gambar 2. Tampak 3D Pemodelan Likuefaksi



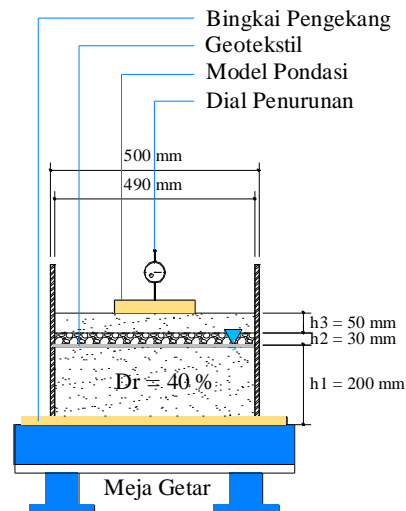
Gambar 3. Tampak Atas Pemodelan Likuefaksi

Gambar 4 memperlihatkan pemodelan tanpa perkuatan geotekstil, yang artinya kan menjadi kontrol pada pemodelan yang menggunakan perkuatan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, dan Gambar 6.



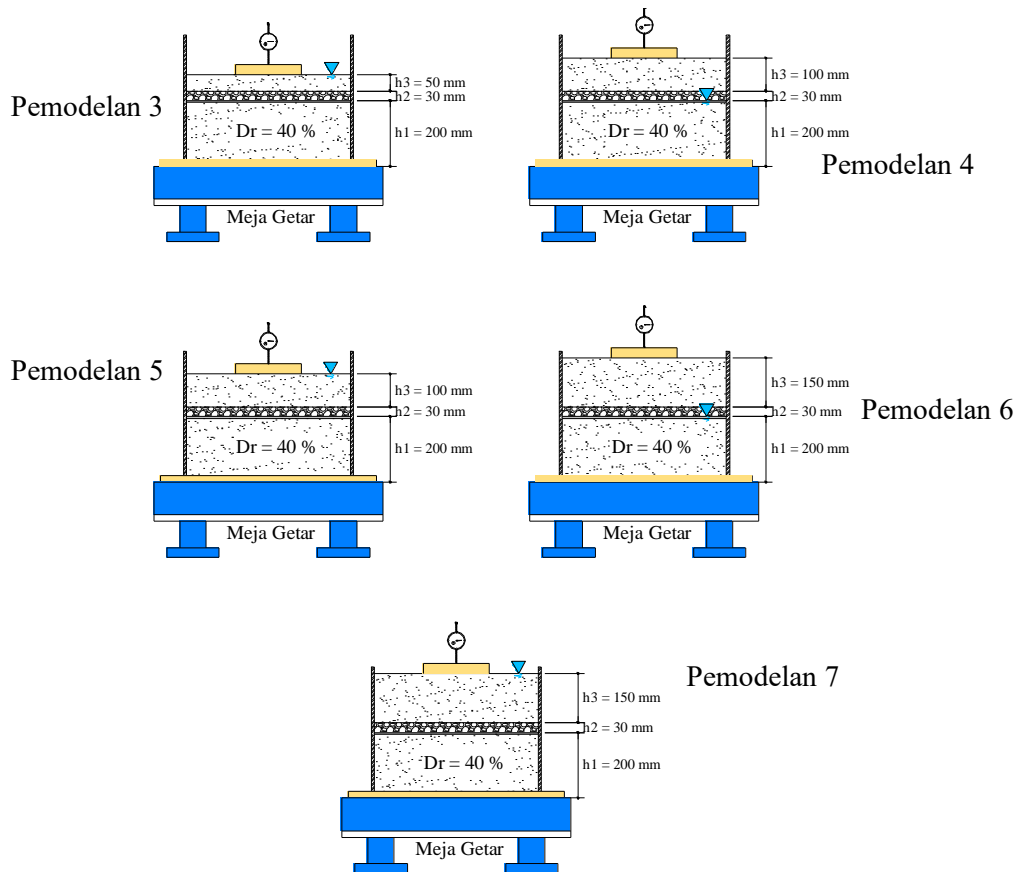
Pemodelan 1

Gambar 4 Pemodelan tanpa Perkuatan



Pemodelan 2

Gambar 5 Pemodelan dengan Perkuatan



Gambar 6. Variasi pemodelan likuefaksi dengan kekuatan geotekstil dan kerikil

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat fisik dan Mekanis Tanah

Sifat fisik tanah yang berasal dari Jono Oge, secara umum termasuk pasir yang mengandung butiran halus lanau atau lempung. Hasil pengujian batas cair diperoleh nilainya sebesar 19.94%, namun saat dilakukan uji batas plastis, tidak dapat dilakukan, dan disimpulkan sebagai 0% kadar air pada kondisi plastis.

Tabel 2. Rangkuman Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis

No.	Uraian Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian
I. Sifat Fisik			
Pasir			
1	Berat Isi Kering Minimum, γ_{dmin}	gr/cm ³	1,41
2	Berat Isi Kering Maksimum, γ_{dmak}	gr/cm ³	1,64
3	Berat Jenis, G_s		2,71
4	Batas - Batas <i>Atterberg</i>		
	Batas Cair (<i>LL</i>)	%	19,94
	Batas Plastis (<i>PL</i>)	%	0,00
	Indeks Plastisitas (<i>PI</i>)	%	19,94
5	Analisa Ukuran Butiran		
	Tertahan No. #4	%	5,34
	Tertahan No. #40	%	33,98
	Tertahan No. #200	%	81,31
	Lolos No. #200	%	18,69
	D_{10}	mm	0,067
	D_{30}	mm	0,10
	D_{60}	mm	0,32
	Koefisien Keseragaman, C_u		4,78
	Koefisien Gradasi, C_c		0,47
Kerikil			
1	Berat Isi Kering Minimum, γ_{dmin}	gr/cm ³	1,64
2	Berat Isi Kering Maksimum, γ_{dmak}	gr/cm ³	1,80
Klasifikasi Jenis Tanah			SC
II. Sifat Mekanis			
1	Geser Langsung Kering		
	Kohesi (c)	kg/cm ²	0,172
	Sudut Gesek (ϕ)	°	28,58
2	Geser Langsung Jenuh		
	Kohesi (c)	kg/cm ²	0,035
	Sudut Gesek (ϕ)	°	31,83

Hasil uji analisa saringan persentase tertahan saringan no. 4 sebesar 5,34 %, dan persentase lolos saringan no. 200 sebesar 18,69 %. Sehingga menurut klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) termasuk dalam butiran kasar karena persentase lolos saringan no. 200 kurang dari 50 % dan persentase lolos saringan no. 4 lebih besar 50 % maka diklasifikasikan sebagai pasir (S). Hasil pengujian batas – batas *Atterberg* diperoleh nilai indeks plastisitas (*PI*) yaitu 19,94 %. Dalam sistem klasifikasi *Unified* persentase lolos saringan no. 200 lebih besar 12 % dengan nilai indeks plastisitas (*PI*) > 7 maka tanah yang digunakan pada penelitian ini masuk dalam klasifikasi (SC) pasir berlempung, campuran pasir – lempung.

Nilai parameter kuat geser yang diuji pada kondisi kering dan jenuh seperti yang tercantum pada Tabel 3 maka dilakukan perhitungan kuat geser tanah pada dua kondisi tersebut dengan tegangan normal (σ) = 0,1 kg/cm², 0,2 kg/cm² dan 0,3 kg/cm² dengan persamaan :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

dengan :

c = kohesi (kg/cm²)

σ = tegangan normal (kg/cm²)

ϕ = sudut gesek (°)

Kuat geser pada kondisi kering dengan nilai sudut gesek (ϕ) = 28,58 ° dan kohesi (c) = 0,172 kg/cm².

$$\sigma = 0,1 \text{ kg/cm}^2 \quad \tau = 0,23 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 0,2 \text{ kg/cm}^2 \quad \tau = 0,28 \text{ kg/cm}^2$$



$$\sigma = 0,3\text{kg/cm}^2 \quad \tau = 0,34 \text{ kg/cm}^2$$

Kuat geser pada kondisi jenuh dengan nilai sudut gesek (ϕ) = 31,83 ° dan kohesi (c) = 0,035 kg/cm².

$$\sigma = 0,1 \text{ kg/cm}^2 \quad \tau = 0,10\text{kg/cm}^2$$

$$\sigma = 0,2 \text{ kg/cm}^2 \quad \tau = 0,16 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 0,3\text{kg/cm}^2 \quad \tau = 0,22 \text{ kg/cm}^2$$

Hasil kuat geser tanah pasir pada kondisi kering dan jenuh air terlihat nilai kuat geser pada kondisi kering lebih besar daripada jenuh air. Kondisi ini menunjukkan bahwa salah satu penyebab turunnya daya dukung tanah adalah ketika tanah pasir dalam kondisi jenuh air, begitu pun dengan terjadinya likuefaksi kondisi jenuh air adalah salah satu penyebab tanah pasir mengalami likuefaksi karena nilai kuat gesernya yang menurun.

Hasil Pemodelan Likuefaksi

Hasil persentase penurunan tiap variasi pemodelan pada Tabel 3 dan Tabel 4 yaitu pembacaan penurunan permukaan tanah yang diukur menggunakan dial dan mistar.

Tabel 3. Persentase Penurunan Pondasi Pada Pembacaan Dial

No.	Pemodelan	Ketebalan Total (mm)	Ketebalan M.A.T. (mm)	Penurunan (mm)	% Penurunan	Keterangan
1	1	200	200	7,13	3,57	Tanpa Perkuatan
2	2	280	200	3,36	1,20	Dengan Perkuatan
3	4	330	200	6,09	1,85	Dengan Perkuatan
4	6	380	200	8,13	2,14	Dengan Perkuatan
5	3	280	280	5,70	2,04	Dengan Perkuatan
6	5	330	330	7,45	2,26	Dengan Perkuatan
7	7	380	380	8,87	2,33	Dengan Perkuatan

Tabel 4. Persentase Penurunan Tanah Nilai Rata – Rata Pembacaan Mistar

No.	Pemodelan	Ketebalan Total (mm)	Ketebalan M.A.T. (mm)	Penurunan Rata Rata (mm)	% Penurunan	Keterangan
1	1	200	200	10,75	5,38	Tanpa Perkuatan
2	2	280	200	2,63	0,94	Dengan Perkuatan
3	4	330	200	5,50	1,67	Dengan Perkuatan
4	6	380	200	6,88	1,81	Dengan Perkuatan
5	3	280	280	2,88	1,03	Dengan Perkuatan
6	5	330	330	6,13	1,86	Dengan Perkuatan
7	7	380	380	8,00	2,11	Dengan Perkuatan

Hasil penurunan dikelompokkan berdasarkan muka air tanah setinggi pasir terlikuefaksi (h_1) dan di permukaan tanah (h_{total}) seperti pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**. Dari **Tabel 3** pada pemodelan 1 tanpa perkuatan persentase penurunan yang terjadi sebesar 3,57 %. Pada pemodelan 2, 4 dan 6 dengan perkuatan, muka air tanah setinggi pasir terlikuefaksi (h_1) persentase penurunan yang terjadi lebih kecil dari pemodelan tanpa perkuatan yaitu 1,20 %, 1,85 % dan 2,14%. Nilai persentase penurunan terus bertambah diakibatkan ketebalan timbunan (h_3) tiap pemodelan yang berbeda.

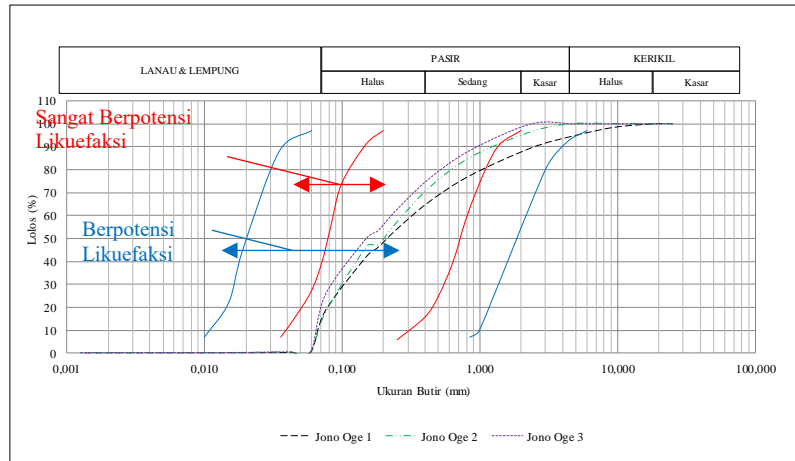
Pada pemodelan 3, 5 dan 7 dengan perkuatan, muka air tanah di permukaan (h_{total}) pola yang diperlihatkan sama seperti pemodelan 2, 4 dan 6 dengan nilai persentase penurunan yang terus bertambah yaitu 2,04 %, 2,26 % dan 2,33 %. Namun persentase penurunan yang terjadi lebih kecil dari pemodelan 1 tanpa perkuatan dan persentase penurunan lebih besar dari pemodelan 2, 4 dan 6 jika dilihat berdasarkan ketebalan total yang sama dengan muka air tanah yang berbeda.

Pada **Tabel 4** pola persentase penurunan yang diperlihatkan sama seperti pada **Tabel 4**, dapat disimpulkan bahwa perkuatan dengan geotekstil dan kerikil efektif mengurangi penurunan pada tanah pasir, terlihat dari persentase penurunan pada pemodelan tanpa perkuatan lebih besar dibanding dengan pemodelan dengan perkuatan walaupun memiliki ketebalan timbunan dan muka air tanah yang berbeda.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pemodelan yang efektif digunakan dalam aplikasi lapangan adalah pemodelan dengan ketebalan timbunan (h_3) 5 cm atau tebal timbunan yang tipis. Hal ini dikarenakan

nilai kerapatan relatif (D_r) timbunan sama dengan pasir terlikuefaksi (h_1) yaitu 40 %, bila tebal timbunan semakin bertambah maka besarnya penurunan ikut bertambah dan tekanan air porinya lebih besar dibanding dengan tebal timbunan yang tipis. Berbeda dengan timbunan yang memiliki kerapatan relatif (D_r) lebih besar atau tanah dalam keadaan padat, hal ini membuat kuat geser tanah dan daya dukung meningkat. Sehingga penurunan yang dihasilkan akan lebih kecil dan timbunan yang tebal efektif digunakan.

Analisis Potensi Likuefaksi



Gambar 7. Grafik Potensi Likuefaksi menurut Tsuchida

Gambar 7, memperlihatkan hasil plot gradasi analisa saringan ke dalam kurva potensi likuefaksi Tsuchida, terlihat bahwa sampel yang digunakan pada penelitian ini sebagian kurva gradasi memotong garis batas merah dan masih berada dalam batasan garis biru. Gradasi di atas masuk dalam kriteria potensi likuefaksi sedang. Jumlah persentase yang masuk dalam zona sangat berpotensi likuefaksi sebesar 40,04 % dengan ukuran butiran 0,075 mm – 0,85 mm, sedangkan jumlah persentase yang masuk dalam zona berpotensi likuefaksi sebesar 63,58 % dengan ukuran butiran 0,075 mm – 4,75 mm, dan yang berada dalam zona tidak terlikuefaksi sebesar 36,42 % dengan ukuran butiran 9,5 mm – 25 mm.

Daya Dukung Tanah dengan Rumus Terzaghi

Berikut hasil analisa daya dukung tanah dengan tujuh variasi pemodelan berdasarkan rumus Terzaghi seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Kapasitas Dukung Ultimit (q_u)

No.	Pemodelan	Penurunan (%)	ϕ' (°)	c' (kN/m ²)	z (m)	γ_{rt} (kN/m ³)	q_u (kN/m ²)	Keterangan
1	1	3,57	22,48	2,29	-	-	69,01	Tanpa Perkuatan
2	3	2,04	22,48	2,29	-	-	69,01	Dengan Perkuatan
3	5	2,26	22,48	2,29	-	-	69,01	Dengan Perkuatan
4	7	2,33	22,48	2,29	-	-	69,01	Dengan Perkuatan
5	2	1,20	19,96	11,25	0,08	11,33	263,71	Dengan Perkuatan
6	4	1,85	19,96	11,25	0,13	12,61	264,35	Dengan Perkuatan
7	6	2,14	19,96	11,25	0,18	13,90	264,98	Dengan Perkuatan

Hasil analisis daya dukung ultimit (q_u) dikelompokkan berdasarkan muka air tanah sejajar dengan dasar pondasi dan muka air tanah sejauh (z) dari dasar pondasi seperti pada **Tabel 5.**

Pada pemodelan 1, 3, 5, dan 7 dengan muka air tanah sejajar dasar pondasi diperoleh nilai daya dukung ultimit (q_u) yang sama yaitu 69,01 kN/m². Persentase penurunan pada pemodelan 1 tanpa perkuatan yaitu 3,57 % dan berkurang pada pemodelan 3 dengan perkuatan kemudian semakin bertambah pada pemodelan 5 dan 7, hal ini dikarenakan adanya penambahan timbunan dan pengaruh muka air tanah. Sedangkan nilai daya dukung akan tetap sama jika muka air tanah berada di dasar pondasi, sehingga pengaruh penambahan timbunan tidak mempengaruhi nilai daya dukung.



Pada pemodelan 2, 4 dan 6 dengan muka air tanah sejauh (z) dari dasar pondasi diperoleh nilai daya dukung ultimit (q_u) terjadi perubahan secara signifikan dari pemodelan 1, 3, 5 dan 7 yaitu 263,71 kN/m², 264,35 kN/m² dan 264,98 kN/m². Dilihat dari perubahannya kenaikan daya dukung yang terjadi cukup kecil dari pemodelan 2, 4 dan 6, hal ini diakibatkan pengaruh muka air tanah sejauh (z) dari dasar pondasi tidak berubah secara signifikan. Namun persentase penurunan yang terjadi semakin besar seiring dengan bertambahnya nilai daya dukung, hal ini diakibatkan adanya penambahan timbunan yang mempengaruhi besarnya persentase penurunan dan jarak muka air tanah sejauh (z) dari dasar pondasi ikut bertambah yang menyebabkan nilai daya dukung ikut membesar.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian di laboratorium dan analisis data yang diperoleh dapat disimpulkan sampel yang digunakan pada penelitian ini, berasal dari desa Jono Oge Kec. Sigi Biromaru masuk dalam klasifikasi jenis tanah SC pasir berlempung, campuran pasir – lempung dan masuk dalam kriteria potensi likuefaksi sedang. Hasil analisis pengujian pemodelan di laboratorium menunjukkan bahwa :

- a) Perkuatan dengan geotekstil dan kerikil efektif mengurangi penurunan pada tanah pasir, terlihat dari persentase penurunan pada pemodelan tanpa perkuatan lebih besar dibanding dengan pemodelan dengan perkuatan walaupun memiliki ketebalan timbunan dan muka air tanah yang berbeda.
- b) Pemodelan yang efektif digunakan dalam aplikasi lapangan adalah pemodelan dengan ketebalan timbunan yang tipis jika nilai kerapatan relatif (D_r) pasir terlikuefaksi dan timbunan memiliki nilai yang sama.
- c) Nilai daya dukung ultimit yang besarnya sama tidak mengurangi besarnya persentase penurunan, begitu pun dengan nilai daya dukung ultimit yang semakin besar tidak mengurangi besarnya persentase penurunan yang terjadi. Hal ini diakibatkan perubahan tebal timbunan dan pengaruh jarak muka air tanah dari dasar pondasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Hakam dan Helmy Darjanto. (2013). *Penelusuran Potensi Likuefaksi Pantai Padang Berdasarkan Gradasi Butiran dan Tahanan Penetrasi Standar*. ([https:// media.neliti.com/media/publications/1439-ID-penelusuran-potensi-likuefaksipantai-pa.pdf](https://media.neliti.com/media/publications/1439-ID-penelusuran-potensi-likuefaksipantai-pa.pdf)). Diakses 14 Juni 2021.
- Cloudya Gabriella Kapojos, dkk. (2015). *Analisis Percepatan Tanah Maksimum dengan Menggunakan Rumusan Esteva dan Donovan*. (<https://www.scribd.com/document/382962960/9225-18338-1SM>). Diakses 30 Mei 2021.
- Das, Braja M. (2014). *Principles Of Geotechnical Engineering*, 8th, Cengage Learning
- Harada, et. al. (2006). *Development of new drain method for protection of existing pile foundations from liquefaction effects*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 26 (2006), 3297-312.
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2013). *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya Perancangan dan Aplikasi*. (Edisi ke-2). Yogyakarta : Gadjah Mada University Press Anggota IKAPI.
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2018). *Mekanika Tanah II*. (Edisi ke-6). Yogyakarta : Gadjah Mada University Press Anggota IKAPI.
- Krisantos Ria Bela. (2018). *Daya Dukung Pondasi Telapak dengan Plate Loading Test Pada Tanah Pasir*. (https://e-perpus.unud.ac.id/public/fisik_wisuda). Diakses 16 Juni 2021.
- Kurnia Syawaludin. (2011). *Studi Interaksi Antara Geotekstil dan Material Timbunan*. (http://library.binus.ac.id/Collections/ethesis_detail/2011-2-00668-SP). Diakses 16 Juni 2021.
- Lindung Zalbuin Mase. (2014). *Analisis Pendahuluan Potensi Likuefaksi di Kali Opak Imogiri Daerah Istimewa Yogyakarta*. (<https://www.researchgate.net/publication/275462955>). Diakses 14 Juni 2021.

KoNTekS17

Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-17

- Motamed R. and Towhata, I. (2010). *Mitigation measures for pile group behind quay walls subjected to a lateral flow of liquefied soil : Shake table model tests*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30 (2010), 1043-1060.
- Noorzad, R. and Amini, P.F. (2014). *Liquefaction resistance of Babolsar sand reinforced with randomly distributed fibers under cyclic loading*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 66 (2014), 281-292.
- Orense, et. al. (2003). *Study on wall-type gravel drains as liquefaction countermeasure for underground structures*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 23 (2003), 19-39.
- Rouholamin, et. al. (2017). *Effect of initial relative density on the post-liquefaction behavior of sand*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 97 (2017), 25-36.
- Sunarjo, dkk. (2012). *Gempa Bumi Edisi Populer*. (http://puslitbang.bmkg.go.id/litbang/wp-content/uploads/2018/01/buku_gempabumi.pdf). Diakses 31 Mei 2021.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional. (2018). *Kajian Gempa Palu Provinsi Sulawesi Tengah 28 September 2018 (M7,4)*. (<https://sianipar17.files.wordpress.com/2019/07/laporan-kajian-gempa-palu-sulawesi-tengah.pdf>). Diakses 16 Juni 2021.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional. (2019). *Investigasi Awal Longsor - Likuefaksi Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER) Akibat Gempa Palu 28 September 2018. (Geotechnical Report on 2018 Palu – Donggala Earthquake)*. (post/adminkms/post/20210309142833_F_Investigasi_Awal_LongsorLikuefaksi_Geotechnical_Extreme_Events_Reconnaissance_Akibat_Gempa_Palu_28_September_2018_Pusgen_2019.pdf). Diakses 30 Mei 2021.
- Yoshida, et. al. (2013). *Liquefaction countermeasure technique by using logs*. The progress of Geo-Disaster Mitigation Technology in Asia, Part of The Environmental Science and Engineering Book series, 293-311.h