

## PENGARUH PENGGUNAAN DRAINASE VERTIKAL KERIKIL TERHADAP PENURUNAN TANAH DAN MODEL RUMAH AKIBAT LIKUIFAKSI

Hendra Setiawan<sup>1)</sup>, Teguh Hilmansyah<sup>1)</sup> Arman<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako

Jalan Soekarno Hatta Km.8 Palu 94118

Corresponding author: hendra3909@gmail.com

### ABSTRAK

Likuifaksi yang terjadi di Palu pada tanggal 28 September 2018 menunjukkan bahwa perumahan adalah konstruksi yang paling banyak mengalami kerusakan. Penelitian untuk mitigasi likuifaksi yang dikhususkan untuk perumahan penduduk menjadi sangat perlu untuk dilaksanakan, khususnya dengan metode mitigasi yang sederhana dan murah, sehingga dapat terjangkau oleh sebagian besar masyarakat. Pemilihan kerikil sebagai bahan perkuatan dalam mitigasi ini diharapkan mampu menambah kepadatan tanah serta mereduksi penurunan yang terjadi akibat likuifaksi dan lubang yang dibuat merupakan system drainase dimana pada saat tekanan air pori naik pada saat penggetaran air dapat mengalir pada lubang-lubang yang sudah dibuat atau kemampuan suatu tanah dalam meloloskan air. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas penggunaan perkuatan batang kayu yang dilubangi terhadap deformasi tanah pada variasi 1 lapis, variasi 2 lapis dan variasi perkuatan rumah baru. Hasil pengujian eksperimental menunjukkan persentase efektifitas penggunaan batang kayu yang dilubangi sebagai perkuatan pada beberapa variasi adalah sebagai berikut : Untuk variasi perkuatan 1 lapis (rumah lama) sebesar 13,92%, variasi perkuatan 2 lapis (rumah lama) sebesar 26,58 % dan untuk variasi perkuatan rumah baru sebesar 54,94 %.

**Kata kunci :** Perkuatan drainase vertikal kerikil, Deformasi Tanah, Likuifaksi

### ABSTRACT

*Liquefaction that occurred in Palu on September 28, 2018 shows that housing is the most damaged construction. Therefore, research for liquefaction mitigation devoted to residential residents becomes very necessary to be carried out, especially with simple and inexpensive mitigation methods, so that it can be affordable to most people. The selection of hollowed wood sticks as a strengthening material in this mitigation is expected to increase soil density and reduce the decrease that occurs due to liquefaction and holes made is a drainage system where at the time the pressure of pore water rises at the time of water doubling can flow in the holes that are still made or the ability of a soil in escaping water. The purpose of this study is to determine the effectiveness of the use of reinforcing logs that are perforated against soil deformation on a 1-layer variation, a 2-layer variation and a new home strengthening variation. The result shows the percentage of effectiveness of the use of logs perforated as strengthening on several variations are as follows: For the variation of strengthening 1 layer (old house) by 13.92%, the variation of strengthening 2 layers (old house) by 26.58% and for the variation of new home strengthening as much as 54.94%.*

**Keywords:** Gravel Vertical Drain, Deformation of Soil, Liquefaction

## PENDAHULUAN

Istilah tanah dalam bidang mekanika tanah dimaksudkan untuk mencakup semua bahan dari tanah lempung sampai kerakal, jadi semua endapan alam yang bersangkutan dengan teknik sipil kecuali batuan. Tanah dibentuk oleh pelapukan fisika dan kimiawi pada batuan. Pelapukan fisika terdiri atas dua jenis, jenis pertama adalah penghancuran disebabkan terutama oleh pembasahan dan pengeringan terus-menerus ataupun pengaruh salju dan es. Jenis kedua adalah pengikisan akibat air, angin, ataupun sungai es (*glacier*). Proses ini menghasilkan butir yang kecil sampai yang besar, namun komposisinya masi tetap sama dengan batuan asalnya.

Tanah merupakan tempat perletakan dari struktur bangunan sipil, sehingga dibutuhkan kondisi tanah yang stabil yang dapat menimbulkan keamanan terhadap bangunan tersebut. Investigasi tanah untuk mendapatkan kondisi tanah yang baik diperlukan untuk memperoleh gambaran karakteristik tanah, baik berupa uji lapangan maupun uji laboratorium yang nantinya dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam kegiatan perencanaan bangunan konstruksi.

Sulawesi Tengah khususnya Kota Palu, merupakan daerah yang memiliki potensi sangat besar terhadap gempa karena berdekatan dengan sesar aktif Palu Koro, juga karena kotanya terletak di atas sesar Palu Koro, sehingga hal ini menjadi perhatian khusus bagi kita semua. Penelitian khusus mengenai bahaya gempa ini sangat diperlukan. Salah satu permasalahan yang ditimbulkan gempa adalah bahaya likuifaksi. Bahaya liquifaksi yang ditimbulkan oleh gempa dan karakteristik tanah tertentu, yang mengakibatkan naiknya tegangan air pori tanah itu sendiri. Saat liquifaksi berlangsung, kekuatan tanah menurun dan kemampuan deposit tanah untuk menahan beban menurun.

Para ahli mulai mengembangkan beberapa metode praktis untuk menganalisa potensi liquifaksi dari tanah setelah melihat potensi yang ditimbulkan oleh likuifaksi. Penelitian tentang mitigasi menjadi sangat perlu untuk

dilaksanakan dengan berbagai macam metode dan skala. Penulis menuangkan dalam judul Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Perkuatan Batang Kayu Yang Dilubangi Terhadap Deformasi Tanah Akibat Likuifaksi.

Pemilihan batang kayu yang dilubangi sebagai bahan perkuatan dalam mitigasi ini diharapkan mampu menambah kepadatan tanah serta mereduksi penurunan yang terjadi akibat likuifaksi dan lubang yang dibuat merupakan system drainase dimana tekanan air pori naik pada saat penggetaran air dapat mengalir pada lubang-lubang yang suda dibuat atau kemampuan suatu tanah dalam meloloskan air.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Likuifaksi

Kondisi geoteknik erat hubungannya dengan jenis tanah. Tanah dalam pengertian teknik secara umum dapat diartikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lainnya dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Butiran-butiran mineral yang membentuk bagian padat dari tanah merupakan hasil dari pelapukan batuan.

Likuifaksi didefinisikan sebagai transformasi material granular dari bentuk solid menjadi cair sebagai akibat naiknya tekanan air pori dan kehilangan tegangan efektif (Marcuson 1978) Naiknya tekanan air pori ini disebabkan oleh kecenderungan dari material berbutir untuk menjadi padat akibat *cyclic shear deformations*.

Pengertian likuifaksi diterjemahkan dalam berbagai bentuk dibawah ini diberikan beberapa definisi, diantaranya adalah:

1. Likuifaksi merupakan suatu kondisi pada massa tanah yang mengalami deformasi secara menerus pada tegangan residual

yang rendah, disebabkan oleh terjadinya tekanan air pori yang meningkat yang menyebabkan berkurangnya tegangan efektif dan pada kondisi tertentu mencapai nol (Prakash, 1981)

2. Likuifaksi adalah fenomena pada suatu massa tanah, dimana tahanan geser tanah (*shear resistance*) berkurang karena beban monotonik, siklik, ataupun beban dinamik yang bekerja pada kondisi volume yang konstan dengan regangan geser terarah yang sangat besar (Castro, 1969).

### Penyebab Terjadinya Likuifaksi

Dari berbagai penelitian dan pengamatan yang dilakukan akhirnya diperoleh sebuah kesimpulan bahwa perilaku likuifaksi pada tanah, potensial terjadi pada deposit tanah yang tergolong tanah berbutir dengan level muka air tanah tinggi dan kepadatan rendah sampai sedang. Dimana, tanah dengan karakteristik seperti ini memiliki kecenderungan menjadi padat akibat getaran yang terjadi dalam tanah sehingga volume berkurang.

Langkah langkah untuk mengurangi potensi likuifaksi:

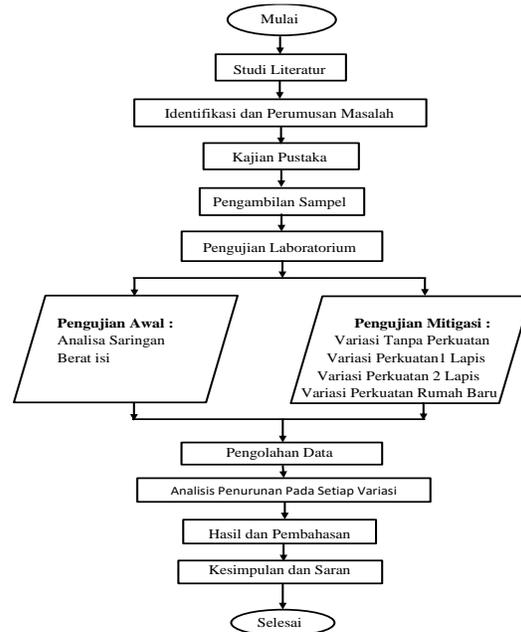
1. Pemadatan
2. Drainase
3. Mengurangi beban bangunan
4. Memperbaiki sifat tanah

### METODE PENELITIAN

#### Umum

Data yang dibutuhkan adalah data analisa saringan sampel tanah pasir seragam yang tertahan disetiap saringan (ukuran pasir seragam) dengan berbagai variasi kepadatan relatif tertentu. Kemudian pasir dijenuhkan

dan dilakukan pengujian dengan menggetarkan diatas meja getar. Kemudian setelah dilakukan pengujian (penggetaran) dengan waktu pengujian tertentu, didapatkan besarnya penurunan yang terjadi.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

#### Proses persiapan sampel dan peralatan

Sampel tanah pasir yang digunakan dalam penelitian ini harus dipersiapkan terlebih dahulu, yaitu berupa tanah pasir seragam dengan berbagai ukuran diameter butiran. Penyediaan sampel tanah pasir seragam dilakukan dengan melakukan penyaringan. Peralatan yang dibutuhkan yaitu :

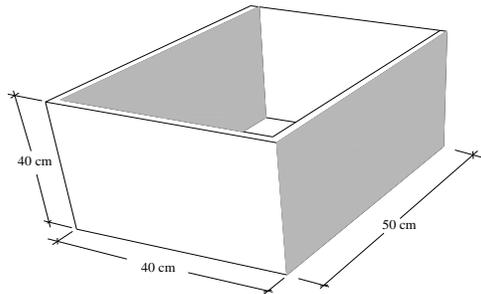
1. Saringan no. 4, 10, 20, 40, 60, 80, 100, dan no.200
2. Sieve shaker

Kemudian lakukan penyaringan sampe pasir selama 15 menit, lalu sampel yang tertahan pada no saringan 80 merupakan sampel pasir yang akan kita gunakan.



**Gambar 2.** Sieve Shaker dan Saringan

Wadah kotak pasir (Gambar 3) yang digunakan dalam pengujian laboratorium ini memiliki dimensi panjang 50 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 40 cm. Wadah pasir terbuat dari akrilik / plexiglass.



**Gambar 3.** Sketsa Bak Uji

Bahan penelitian lainnya adalah batang kayu yang dilubangi (Gambar 4) digunakan sebagai perkuatan dengan ukuran panjang 15 cm dan diameter 1,5 cm. Sedangkan model rumah yang di gunakan adalah kotak yang terbuat dari papan tripleks berisi pasir dan batu yang dipadatkan dengan ukuran 15 cm x 10 cm x 10 cm (Gambar 5) dengan berat sebesar 2 kg .



**Gambar 4.** Batang kayu yang dilubangi



**Gambar 5.** Miniatur rumah

Meja getar yang akan digunakan adalah meja getar elektrik yang ada di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Untuk pengujian ini, dilakukan beberapa variasi percobaan.

**Tabel 1.** Jumlah lapisan perkuatan untuk tiap variasi

No	Variasi Perkuatan Batang Kayu	Jumlah Lapisan	Jumlah Batang Kayu	Keterangan
1	Variasi 1	-	-	Paasir Lepas
2	Variasi 2	1 Lapis	24 Batang	Rumah Lama
3	Variasi 3	2 Lapis	66 Batang	Rumah Lama
4	Variasi 4	2 Lapis	24 Batang	Rumah Baru

### Pemeriksaan berat isi

#### A. Persiapan alat :

1. Wadah yang pada penelitian ini berupa cawan besi yang sudah ditentukan volumenya
2. Tabung silinder plastik ukuran 1000 ml.
3. Timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram.
4. Oven listrik
5. Spatula untuk meratakan permukaan pasir

#### B. Persiapan alat :

1. Sampel pasir diambil kurang lebih 2 kg dan air.
2. Letakkan tabung silinder di atas timbangan digital, kemudian kalibrasikan timbangan ke angka nol.

3. Tuangkan air ke dalam tabung silinder hingga penuh (melewati garis takar 1000 ml), kemudian timbang beratnya.
4. Keluarkan separuh air yang ada di tabung silinder ke cawan besi hingga air pada tabung menjadi 1000 ml.
5. Kosongkan tabung yang berisi air 1000 ml tersebut. Kemudian masukkan kembali separuh air yang di taruh di cawan besi, lalu catat berapa ml jumlah air tersebut.
6. Tuang air kedalam tabung hingga mencapai setengah dari tinggi tabung. Kemudian tuang pasir kedalam tabung secara perlahan hingga penuh. Setelah itu, ratakan permukaan pasir dengan menggunakan spatula.
7. Timbang pasir yang telah jenuh tersebut dan catat beratnya.
8. Letakkan cawan di atas timbangan digital, kemudian kalibrasikan timbangan ke angka nol.
9. Pindahkan pasir jenuh yang berada di tabung ke dalam cawan, kemudian masukkan ke dalam oven selama 24 jam.
10. Setelah 24 jam, keluarkan cawan dari oven, kemudian timbang cawan berisi pasir yang telah kering tersebut.
11. Hitung berat isi kering pasir ( $\gamma_d$ ) menggunakan rumus :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+w}$$

Dimana :

D = Derajat Kepadatan

$\gamma_d$  = Berat volume kering

$\gamma_w$  = Berat volume basah

w = Kadar air

## Percobaan laboratorium untuk menganalisis likuifaksi yang terjadi

### Persiapan alat

Permodelan untuk pengujian kali ini terdiri dari serangkaian alat yang terdiri dari :

1. Wadah pengujian yang mana dalam hal ini digunakan kotak kaca dengan ukuran 50x40x40 cm.
2. Mistar dan benang.
3. *Stopwatch*
4. Meja Getar (*shaking table*)
5. Mal akrilik, digunakan sebagai mal untuk menentukan titik penancapan kayu dengan jarak antar kayu 3 cm.

### Bahan

1. Sampel pasir bersih yang tertahan pada saringan no 80.
2. Air bersih
3. Miniatur rumah ukuran 15x10x10 cm
4. Batang kayu yang dilubangi dengan ukuran panjang 15 cm dan diameter kayu 1.5 cm

### Prosedur Kerja

1. Tuangkan air bersih ke dalam kotak kaca yang suda terpasang pada alat meja getar dengan ketinggian 20 cm sesuai garis tanda yang suda dibuat
2. Tuangkan sampel pasir bersih kedalam kotak kaca secara perlahan yang disesuaikan dengan tinggi air dalam kotak kaca.
3. Ratakan permukaan pasir sambil menguras air hingga pada ukuran 20 cm dengan kondisi pasir kering permukaan (Gambar 6).



**Gambar 6.** Proses meratakan permukaan pasir

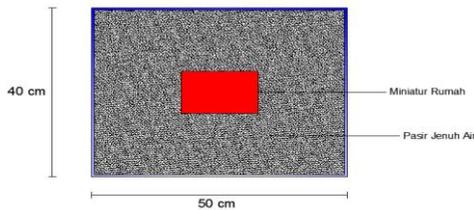
4. Letakkan miniatur rumah dengan presisi diatas permukaan pasir, selanjutn ukur kedalaman rumah dari permukaan kotak kaca pada 5 sisi miniatur rumah yang sebelumnya sudah diberikan tanda.



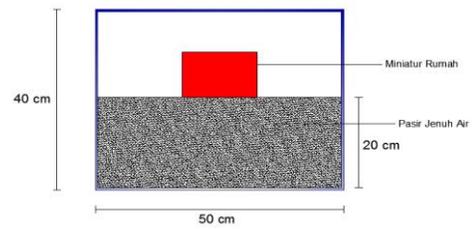
**Gambar 7.** Pengukuran

5. Selanjutnya lakukan penggetaran selama 20 detik dengan 4 variasi:

- a. Variasi 1 (Tanpa perkuatan),

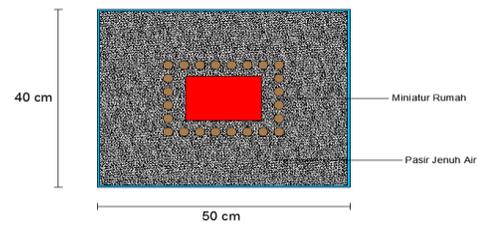


**Gambar 8.** Skema Variasi 1 (Tanpa Perkuatan) tampak atas

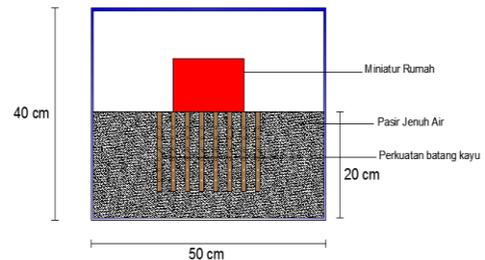


**Gambar 9.** Skema Variasi 1 (Tanpa Perkuatan) tampak samping

- b. Variasi 2, (menggunakan perkuatan kayu yang dilubangi dengan 1 lapis),

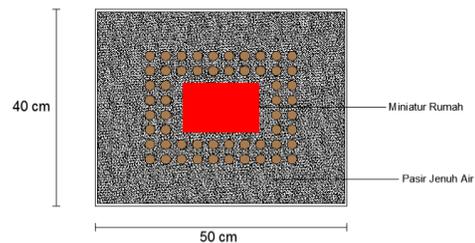


**Gambar 10.** Skema Variasi 2 (Perkuatan 1 lapis) tampak atas



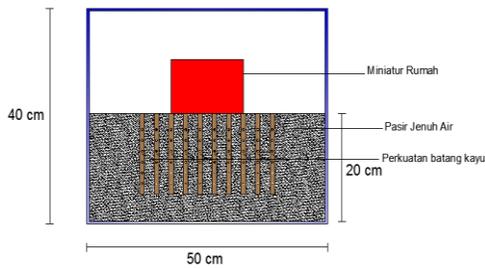
**Gambar 11.** Skema Variasi 2 (Perkuatan 1 lapis) tampak samping

- c. Variasi 3, (menggunakan perkuatan kayu yang dilubangi dengan 2 lapis),



**Gambar 12.** Skema Variasi 3 (Perkuatan 2 lapis) tampak atas

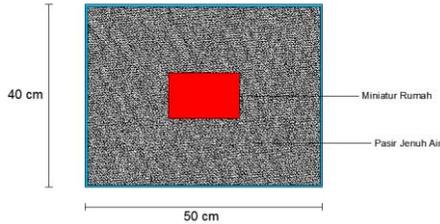
Pengaruh Penggunaan Drainase Vertikal Kerikil Terhadap Penurunan Tanah dan Model Rumah Akibat Likuifaksi



**Gambar 13.** Skema Variasi 3

(Perkuatan 2 lapis) tampak samping

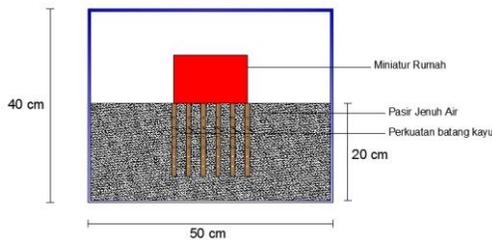
- d. Variasi 4, (menggunakan perkuatan kayu yang dilubangi 2 lapis yang diletakkan dibawa bangunan untuk kondisi rumah yang baru akan dibangun)



**Gambar 14.** Skema Variasi 4

(Perkuatan rumah baru 2 lapis)

tampak atas

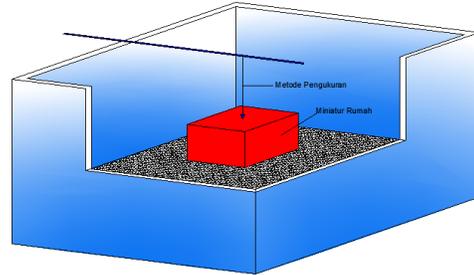


**Gambar 15.** Skema Variasi 4

(Perkuatan rumah baru 2 lapis) tampak samping

- e. Setelah penggetaran pada setiap variasi selanjutnya lakukan pengukuran kembali pada miniatur rumah pada 5 sisi dan ukur penurunan pasir dari keadaan normal pada

ketinggian 20 cm yang telah diberikan tanda pada kotak kaca.



**Gambar 16.** Skema Pengukuran

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perhitungan Berat Isi Basah**

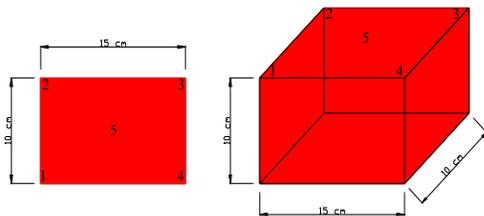
Berat wadah = 250 gr  
 Volume wadah = 1190 ml  
 Berat air ½ wadah = 591 gr  
 Berat pasir + air dalam wadah (w) = 2159 gr  
 Berat pasir =  
 (Berat pasir + air dalam wadah) -  
 Berat air ½ wadah - Berat wadah  
 = 2159 - 591 - 250  
 = 1318 gr  
 $\gamma_w = \frac{w}{v}$   
 $= \frac{2159}{1190}$   
 $= 1,184 \text{ gr/ml} = 1,184 \text{ gr/cm}^3$

**Perhitungan berat isi kering**

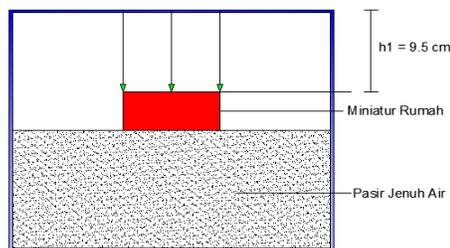
Berat pasir + air dalam wadah (w1) = 2159 gr  
 Berat cawan = 126 gr  
 Berat pasir + cawan setelah dioven = 1748 gr  
 Berat pasir setelah dioven (w2) =  
 (Berat pasir + cawan setelah dioven)  
 = 1748 - 126  
 = 1622 gr  
 Kadar air (w) =  $\frac{w1-w2}{w2} \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \frac{2159-1622}{2159} \times 100\% \\ &= 33,107\% \\ \gamma_d &= \frac{\gamma_w}{1+w} \\ &= \frac{1,184}{1+0,3311} \\ &= 0,8895 \text{ gr/cm}^3 \\ V &= \gamma_d \times (p \times l \times \frac{1}{2} t) \\ &= 0,8895 \times (50 \times 40 \times 20) \\ &= 35580 \text{ gr} = 35,58 \text{ kg} \end{aligned}$$

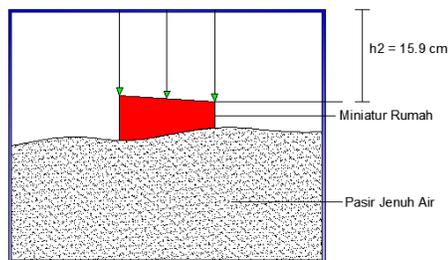
**Analisa penurunan yang terjadi dari hasil pengujian**



**Gambar 17.** Formasi titik untuk meninjau penurunan model rumah



**Gambar 18.** Skema pengukuran model rumah sebelum digetarkan



**Gambar 19.** Skema pengukuran model rumah sesudah digetarkan

Adapun nilai penurunan yang digunakan pada pengujian ini adalah selisih dari nilai pengukuran model rumah sesudah digetarkan dengan pengukuran model rumah sebelum digetarkan. Berikut contohnya :

h1 = 9.5 cm (Nilai sebelum digetarkan)

h2 = 15.9 cm (Nilai sesudah digetarkan)

$$\begin{aligned} \text{Penurunan} &= h2 - h1 \\ &= 15.9 - 9.5 \\ &= 6.4 \text{ cm} \end{aligned}$$

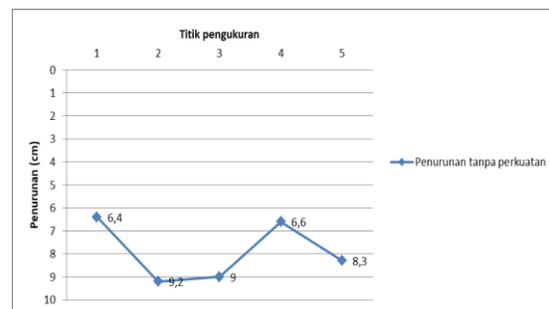
**Pengujian dengan variasi tanpa perkuatan2.**

**Tabel 2.** Penurunan model rumah variasi tanpa perkuatan

Titik	Sebelum digetarkan (cm)	Sesudah digetarkan (cm)	Penurunan (cm)
1	9,5	15,9	6,4
2	9,5	18,7	9,2
3	9,5	18,5	9
4	9,5	16,1	6,6
5	9,5	17,8	8,3

**Tabel 3.** Penurunan permukaan pasir variasi tanpa perkuatan

Titik	Sebelum digetarkan (cm)	Sesudah digetarkan (cm)	Penurunan (cm)
1	20	18,5	1,5
2	20	18,5	1,5
3	20	18,5	1,5
4	20	18,5	1,5
5	20	18,5	1,5



**Gambar 20.** Grafik Penurunan Pada Variasi Tanpa Perkuatan

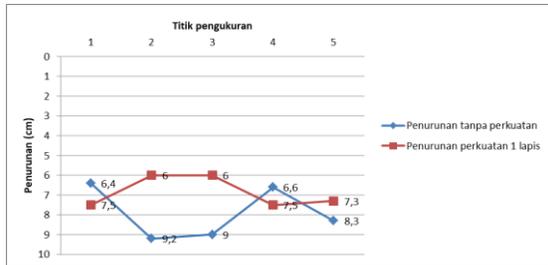
**Penugjian dengan variasi perkuatan satu lapis untuk rumah lama**

**Tabel 4.** Penurunan model rumah variasi perkuatan 1 lapis (Rumah Lama)

Titik	Sebelum digetarkan (cm)	Sesudah digetarkan (cm)	Penurunan (cm)
1	9,5	17	7,5
2	9,5	15,5	6
3	9,5	15,5	6
4	9,5	17	7,5
5	9,5	16,8	7,3

**Tabel 5.** Penurunan permukaan pasir variasi perkuatan 1 lapis (Rumah lama)

Titik	Sebelum digetarkan (cm)	Sesudah digetarkan (cm)	Penurunan (cm)
1	20	18,5	1,5
2	20	18,5	1,5
3	20	18,5	1,5
4	20	18,5	1,5
5	20	18,5	-1,5



**Gambar 21.** Grafik perbandingan penurunan antara variasi tanpa perkuatan dan variasi perkuatan 1 lapis

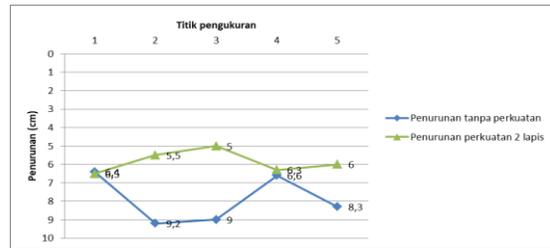
**Penugjian dengan variasi perkuatan dua lapis untuk rumah lama**

**Tabel 6.** Penurunan model rumah variasi perkuatan 2 lapis (Rumah Lama)

Titik	Sebelum digetarkan (cm)	Sesudah digetarkan (cm)	Penurunan (cm)
1	9,5	16	6,5
2	9,5	15	5,5
3	9,5	14,5	5
4	9,5	15,8	6,3
5	9,5	15,5	6

**Tabel 7.** Penurunan permukaan pasir variasi perkuatan 2 lapis (Rumah lama)

Titik	Sebelum digetarkan (cm)	Sesudah digetarkan (cm)	Penurunan (cm)
1	20	18,5	1,5
2	20	18,5	1,5
3	20	18,5	1,5
4	20	18,5	1,5
5	20	18,5	-1,5



**Gambar 22.** Grafik perbandingan penurunan variasi tanpa perkuatan dan variasi perkuatan 2 lapis

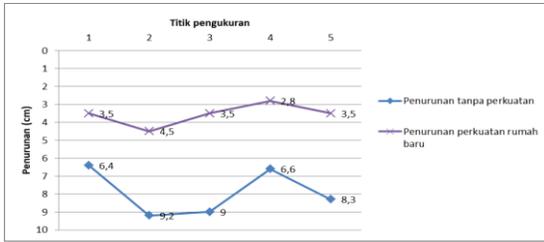
**Penugjian dengan variasi perkuatan dua lapis untuk rumah baru**

**Tabel 8.** Penurunan model rumah variasi rumah baru

Titik	Sebelum digetarkan (cm)	Sesudah digetarkan (cm)	Penurunan (cm)
1	9,5	13	3,5
2	9,5	14	4,5
3	9,5	13	3,5
4	9,5	12,3	2,8
5	9,5	13	3,5

**Tabel 9.** Penurunan permukaan pasir variasi rumah baru

Titik	Sebelum digetarkan (cm)	Sesudah digetarkan (cm)	Penurunan (cm)
1	20	18,5	1,5
2	20	18,5	1,5
3	20	18,5	1,5
4	20	18,5	1,5
5	20	18,5	-1,5



**Gambar 23.** Grafik perbandingan penurunan variasi tanpa perkuatan dan variasi perkuatan 2 lapis untuk rumah baru

## PENUTUP

### Kesimpulan

1. Dari pengujian eksperimental diperoleh persentase efektifitas yang merupakan perbandingan antara variasi tanpa perkuatan dengan penggunaan kerikil sebagai perkuatan pada beberapa variasi adalah sebagai berikut : Untuk variasi perkuatan 1 lapis (rumah lama) sebesar 13,92%, variasi perkuatan 2 lapis (rumah lama) sebesar 26,58 % dan untuk variasi perkuatan rumah baru sebesar 54,94 %.
2. Pada pengujian eksperimental ini, diperoleh rata-rata penurunan yang terjadi pada tiap-tiap variasi. Untuk variasi tanpa perkuatan diperoleh rata-rata penurunan model rumah sebesar 7,9. Untuk variasi dengan perkuatan satu lapis batang kayu yang dilubangi (rumah lama) diperoleh rata-rata penurunan model rumah sebesar 6,86 cm. Untuk variasi dengan perkuatan dua lapis batang kayu yang dilubangi (rumah lama) diperoleh rata-rata penurunan model rumah sebesar 5,86 cm. Untuk variasi dengan perkuatan untuk rumah baru diperoleh rata-rata penurunan model rumah sebesar 3,56 cm.

### Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan penelitian yang telah diperoleh dan dilakukan, disarankan beberapa hal berikut :

1. Sebelum melakukan pengujian, sebaiknya dilakukan pengecekan alat dan persiapan sampel agar mendapatkan hasil yang maksimal.
2. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan dapat merencanakan alternatif perbaikan tanah untuk mengurangi resiko likuifaksi yang ekonomis dan mudah. Mengingat bahwa kota Palu merupakan daerah yang rawan akan gempa dan likuifaksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Castro, G. (1969). *Liquefaction of Sands*. In *Soil Mechanics Series No. 81*(pp. 1127). Cambirdge, Massachusetts: Pierce Hall.
- Marcuson, W.F., III 1978. Definition of Term Related liquefaction.
- Prakash, M. 1981. *Soil Dynamics*. McGraw-Hill: New York