

## Analisis Pengaruh Perkuatan Tanah Lempung Lunak Menggunakan Kolom Pasir Dengan Dan Tanpa Pembesaran

M. Adhe Fadh'qurrizal Ashari<sup>1</sup>, Gerard Aponno<sup>2</sup>, Moch. Sholeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, <sup>3</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

<sup>1</sup>*septian.adhe@gmail.com*, <sup>2</sup>*gaponno@gmail.com*, <sup>3</sup>*moch.sholeh@gmail.com*

### ABSTRAK

Tanah lempung lunak merupakan jenis tanah yang memiliki daya dukung rendah, dimana akan berbahaya jika dilakukan pembangunan pada tanah jenis ini. Guna mengatasi kondisi tanah, diperlukan perkuatan tanah yang salah satunya adalah menggunakan kolom pasir. Perkuatan jenis kolom pasir dipilih selain karena dapat meningkatkan daya dukung tanah, juga merupakan perkuatan yang ekonomis dengan menggunakan pasir lokal sebagai media. Penulisan ini bertujuan untuk meningkatkan daya dukung kolom pasir yakni dengan melakukan pembesaran dan membandingkannya dengan kolom pasir tanpa pembesaran.

Pengujian ini membandingkan kolom pasir dengan dan tanpa pembesaran menggunakan skala laboratorium dengan 1 sampel tanpa pembesaran dan 2 sampel dengan pembesaran. Material yang akan digunakan harus dilakukan pengujian sifat fisik dan didapat jenis pasir yang digunakan adalah *poorly graded sand* dan jenis tanah adalah tanah lempung lunak. Kolom pasir dibuat dengan metode penusukan dalam pematatannya yang kemudian diuji menggunakan beban yang diberikan secara vertikal yang dibaca setiap penurunan terjadi 0,5 mm. Setelah pengujian, akan dibuat metode kerja lapangan dan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan.

Berdasarkan hasil analisis, kolom pasir dengan pembesaran tidak membesar sesuai dengan yang diharapkan, hanya mengalami pemadatan yang lebih tinggi dengan kepadatan sebesar 85,498 % dan 82,05 % dibandingkan kolom pasir normal (kepadatan 73,863%). Untuk beban yang dapat ditahan oleh kolom pasir dengan pembesaran lebih tinggi 12 % dan 14%. Pada RAB, kolom pasir tanpa pembesaran dibutuhkan harga sebesar Rp 2.381.480,98 dan Rp 2.404.016,15 untuk kolom pasir dengan pembesaran. Jadi penggunaan pembesaran walaupun harus ada penambahan biaya, namun dapat meningkatkan kekuatan pada tanah lempung lunak.

**Kata kunci** : tanah lempung lunak; kolom pasir; pondasi; perkuatan tanah; pembesaran

### ABSTRACT

*Soft clay soil is a type of soil that has a low carrying capacity, which will be dangerous if construction is carried out on this type of soil. To overcome the soil conditions, it is necessary to strengthen the soil, one of which is to use a sand column. Reinforcement using sand column was chosen not only because it can increase the carrying capacity of the soil, but also an economic reinforcement by using local sand as a medium. This writing aims to increase the carrying capacity of the sand column by enlarging it and comparing it to the sand column without enlargement.*

*This test compares sand columns with and without enlargement using a laboratory scale with 1 sample without enlargement and 2 samples with enlargement. The material that will be used must be tested for physical properties and then the result is the sand type is poorly graded sand and for soil is soft clay. The sand column was made by using stabbing method in it's compaction which is then tested using a vertically given load which is read every 0,5 mm penetration occurs. After testing, the fieldwork method and the Required Budget Plan would be made and calculated.*

*Based on the test results that have been analyzed, the sand column with enlargement did not enlarge as expected, but only experienced higher compaction with densities of 85.449% and 82.05% compared to normal sand columns (density 73.863%). For loads that can be resisted by sand columns with enlargement was increased by 12 % and 14 %. For the calculation of Required Budget Plan, a sand column without enlargement costs 2,381,480.98 IDR and 2,404,016.15 IDR for a sand column with enlargement. So the use of enlargement although there must be additional costs, but can increase the strength of soft soil clay.*

**Keywords** : soft clay soil; sand column; foundation; soil strenghtening; enlargement

## 1. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Tanah merupakan suatu pendukung bangunan yang berfungsi sebagai penahan beban konstruksi di atasnya. Tidak semua tanah baik untuk digunakan sebagai dasar dari sebuah bangunan. Namun, tidak sedikit pembangunan di Indonesia dihadapkan pada jenis tanah yang tidak baik seperti tanah yang terdapat di daerah pesisir utara Pulau Jawa (*Ningsih, 2018*). Tanah lempung lunak merupakan salah satu jenis tanah yang memiliki daya dukung yang rendah dan penurunan yang tinggi. Upaya perbaikan tanah pun diperlukan untuk tanah jenis ini guna meningkatkan daya dukung tanah. Salah satu jenis perbaikan tanah yang efisien dan ekonomis adalah dengan menggunakan kolom pasir sebagai perkuatan karena dapat menggunakan pasir lokal sebagai material (*Barksdale, 1987*). Penelitian yang semakin marak terhadap metode perkuatan kolom pasir membuat penulis memilih membandingkan kolom pasir dengan pembesaran dengan kolom pasir tanpa pembesaran dan mengangkat judul “Analisis Pengaruh Perkuatan Tanah Lempung Lunak Menggunakan Kolom Pasir dengan dan Tanpa Pembesaran” dengan harapan dapat memperoleh hasil yang lebih efisien dan ekonomis untuk perkuatan tanah dengan menggunakan metode kolom pasir.

### Tujuan

Penyusunan tugas akhir terapan ini dimaksudkan untuk mencapai tujuan, sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis pengaruh kolom pasir dengan dan tanpa pembesaran pada perkuatan tanah lempung lunak
2. Untuk mendapatkan besar beban yang dapat diterima oleh kolom pasir dengan dan tanpa pembesaran pada perkuatan tanah lempung lunak pada penurunan maksimum
3. Untuk merencanakan metode pelaksanaan perkuatan tanah lempung lunak menggunakan kolom pasir dengan dan tanpa pembesaran di laboratorium
4. Untuk merencanakan metode pelaksanaan perkuatan tanah lempung lunak menggunakan kolom pasir dengan dan tanpa pembesaran di lapangan
5. Untuk menghitung biaya yang dibutuhkan untuk perbaikan tanah lempung lunak menggunakan kolom pasir dengan dan tanpa pembesaran di lapangan

### Studi Terdahulu

#### 1. McKelvey, dkk. (2004)

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kolom pasir dapat meningkatkan beban yang dapat diberikan

kepada tanah lempung lunak dengan menggunakan pengujian di laboratorium menggunakan beberapa benda uji kolom pasir dengan panjang berbeda dan pembesaran.

#### 2. Basuony El-Garhy, dkk. (2011)

Penggunaan penampang dengan ukuran berbeda dan ukuran gradasi yang berbeda dapat menghasilkan daya dukung tanah yang berbeda.

#### 3. Namur K.S. Al Saudi, dkk. (2016)

Penelitian yang dilakukan di Iraq ini menunjukkan bahwa pemadatan yang merata pada pembuatan benda uji kolom pasir sangatlah berpengaruh pada kemampuan kolom pasir dalam menurunkan angka penurunan.

#### 4. Abhinav S Parihar, dkk (2014)

Penelitian ini meninjau beban ijin pada penurunan sebesar 10% dari diameter kolom pasir yang setara dengan 1/2 beban maksimum yang dapat ditahan oleh kolom pasir.

#### 5. Gerard Aponno dan Mochamad Sholeh (2019)

Penelitian yang dilakukan di Laboratorium Tanah Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang ini melakukan penelitian terhadap permodelan pondasi tiang beton dengan dan tanpa pembesaran pada ujung tiang.

#### 6. Metode Mazurkiewicz (1972)

Metode Mazurkiewicz merupakan salah satu metode dalam mencari beban maksimum yang dapat diberikan kepada kolom pasir.

#### 7. Metode Fuller and Hoy (1970)

Merupakan salah satu metode dalam menentukan beban maksimum yang dapat diberikan pada kolom pasir dengan ketelitian sebesar 80% menurut penelitian yang dilakukan oleh Sharma (1984).

## 2. METODE

### Lokasi Dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang Jl. Soekarno Hatta No. 9 Malang, Jawa Timur membutuhkan waktu dari bulan Januari sampai Juni 2020.

### Persiapan Tanah Lempung Lunak

Tanah berasal dari Desa Binangun, Blitar yang kemudian dimasukkan ke wadah dari bus beton, diberi air dan didiamkan selama beberapa hari hingga penurunan sendiri dari tanah yang terjadi menjadi kecil. Hal ini bertujuan untuk membuat kondisi tanah menjadi tanah lempung lunak secara *artificial*.

### Pengujian Parameter Pasir

#### 1. Analisis Ukuran Butiran

Pengujian dengan ayakan yang berfungsi untuk mengetahui persebaran ukuran butiran pada pasir.

#### 2. Pengujian Berat Jenis Pasir

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis dari pasir pada satu satuan volume.

### 3. Pengujian Kepadatan Pasir

Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui berat pasir yang dibutuhkan untuk mengisi satu satuan volume yang tergantung dari kepadatannya.

### 4. Pengujian Sifat Mekanis Tanah

#### 1. Kadar Air

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam tanah yang akan diuji.

#### 2 Berat Isi

Pengujian berat isi bertujuan untuk mengetahui berat isi tanah dalam kondisi kering.

#### 3 Batas Cair

Pengujian batas cair bertujuan untuk mengetahui kadar air tanah pada batas antara keadaan plastis dan cair.

#### 4 Batas Plastis

Pengujian batas plastis bertujuan untuk mengetahui kadar air tanah pada kondisi batas antara keadaan plastis dan padat.

#### 5 Gradasi Tanah

Bertujuan untuk mengetahui persebaran butiran pada tanah yang digunakan dalam mengklasifikasikan jenis tanah baik menggunakan metode AASTHO maupun USCS.

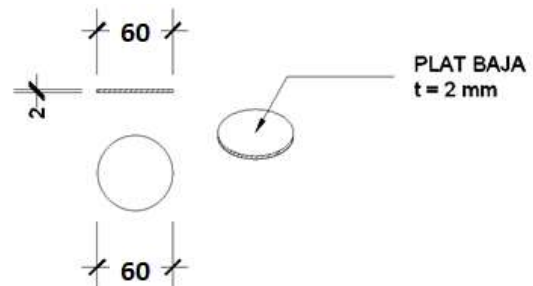
#### 6 Kuat Tekan Bebas Tanah

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kuat tekan bebas dari tanah yang kemudian dapat diketahui tegangan runtuh ( $q_u$ ) dan tegangan geser ( $C_u$ ) dari tanah, juga dari nilai  $q_u$  dapat diketahui tingkat kepadatan tanah.

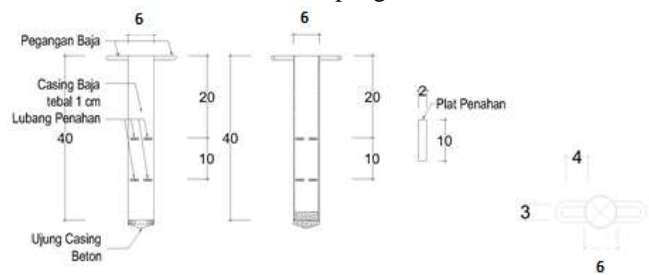
### 5 Pembuatan Pondasi, Casing, Dan Benda Uji

Pondasi terbuat dari plat baja yang dibentuk lingkaran, untuk casing terbuat dari pipa galvanis, dan untuk metode pembuatan benda uji (kolom pasir) dengan cara, pertama meratakan permukaan tanah lempung lunak, kemudian menentukan titik kolom pasir pada tanah dengan menggunakan meteran dan ditandai, kemudian lubang dibuat dengan cara menekan casing yang ujung bawahnya tertutup dengan dongkrak hidrolik hingga kedalaman 35 cm, setelah casing masuk sepenuhnya, casing diangkat untuk melepas tutup bawah dan dimasukkan kembali kedalam lubang sebelum kondisi tanah berubah, kemudian pasir dimasukkan kedalam casing secara bertahap dan ditumbuk halus dengan menggunakan tongkat besi, penumbukan dilakukan pada ketebalan 20 cm agar diharapkan dapat mengurangi penurunan yang terjadi pada dasar kolom pasir, untuk mengetahui ketebalan pasir digunakan senar yang ujungnya diikatkan ujung casing pada dasar lubang kolom pasir serta benang ditegakkan, penurunan pada ujung kolom akan

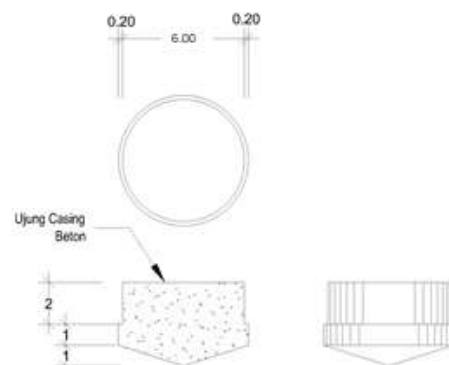
diketahui melalui panjang benang. Untuk mengetahui ketebalan pasir dilakukan dengan cara saat memasukkan pasir, pipa diangkat perlahan dan tinggi pipa dianggap sebagai ketebalan pasir. Tujuan penumbukan adalah untuk membesarkan dimensi kolom pasir. Hal ini dilakukan hingga penuh sampai permukaan sebanyak 2 sampel dengan pembesaran, dan untuk 1 sampel tanpa pembesaran tidak dilakukan penumbukan.



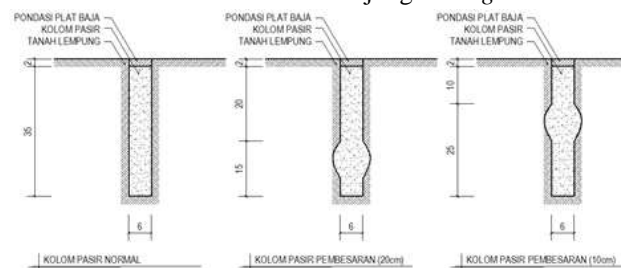
Gambar 1. Penampang Pondasi Plat



Gambar 2. Penampang Casing Pipa Galvanis



Gambar 3. Desain Ujung Casing



Gambar 4. Rencana Benda Uji Kolom Pasir  
6 Pengujian Pembebanan Pada Benda Uji

Setelah kolom pasir sudah siap, diletakkan pondasi plat baja di atasnya, kemudian dibebani dengan alat *Loading Test* dengan menggunakan dongkrak hidrolis.

**7 Pencatatan Data Hasil Uji**

Dari pembebanan, dicatat kedalaman penurunan pada pondasi dan besar beban yang diberikan yang dapat dilihat pada *dial* alat dan diukur dengan *dial* penetrasi untuk penurunannya.

**8 Analisis Data**

Hasil pengujian dianalisis dan dibuat grafik perbandingan antara kedalaman penurunan dan beban yang diberikan. Beban yang menjadi pembanding didapatkan cara : metode 1 yakni ketika penurunan terjadi pada 10 % diameter, atau sebesar 6 mm dan metode 2 menggunakan metode Mazurkiewich.

**9 Perhitungan Ahsp Dan Rencana Anggaran Biaya**

Membuat metode untuk pelaksanaan di lapangan dengan disesuaikan pada pengujian di laboratorium. Selanjutnya, dari metode dapat dihitung AHSP yang didasarkan pada AHSP Kota Surabaya tahun 2019 dan volume pekerjaan (yang merupakan konversi dari desain dari benda uji yang dibuat di laboratorium) yang kemudian menjadi acuan dari perhitungan rencana anggaran biaya.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Persiapan Tanah**

Tanah yang dibiarkan di dalam wadah akan mengalami penurunan sendiri dan ditinjau hingga hampir tidak terjadi penurunan pada hari ke-27.

**Rekapitulasi Data Pasir**

Dari pengujian parameter pasir didapat bahwa pasir berjenis *poorly graded*. Kepadatan pasir yang digunakan untuk kolom pasir normal digunakan sebesar 75% dengan metode penusukan.

**Tabel 1.** Rekapitulasi Data Pasir

Parameter	Nilai
$\gamma_d \text{ max (kN/m}^3\text{)}$	16,286
$\gamma_d \text{ (kN/m}^3\text{)}$	15,731
$\gamma_d \text{ min (kN/m}^3\text{)}$	14,272
Cu	1,162
Cc	0,549

**Rekapitulasi Data Tanah**

Pengujian sifat tanah didapatkan bahwa tanah yang digunakan masuk dalam klasifikasi tanah lempung lunak.

**Tabel 2.** Rekapitulasi Data Tanah

Parameter	Nilai
Kadar Air	53,46 %

Berat Isi Tanah (kN/m <sup>3</sup> )	11,18
Berat Jenis (kN/m <sup>3</sup> )	19,71
Batas Cair	77,40 %
Batas Plastis	56,39 %
Indeks Plastisitas	21,01 %
qu (kN/m <sup>3</sup> )	16,38
Cu (kN/m <sup>3</sup> )	8,19
Prosentase Tanah Lolos	83,29 %
Ayakan No. 200	

**Pembuatan Benda Uji**

Pembuatan benda uji kolom pasir pada pembesaran pada kedalaman 20 cm (P 6S20) dibutuhkan penambahan pasir seberat 0,19 kg, pembesaran pada kedalaman 10 cm (P 6S10) ditambahkan pasir seberat 0,25 kg dan untuk kolom pasir normal (P 6S) tidak diperlukan penambahan pasir.



**Gambar 5.** Kolom Pasir Normal



**Gambar 6.** Kolom Pasir Pembesaran pada 10cm



**Gambar 7.** Kolom Pasir Pembesaran pada 20cm

Dari kolom pasir dengan pembesaran tidak terjadi pembesaran secara signifikan sehingga disimpulkan bahwa kolom pasir hanya memadat dan dibutuhkan perhitungan kepadatan relatif baru.

**Koreksi Nilai Kolom Pasir Pembesaran pada 10cm**

$$\frac{Dr \text{ dengan Pembesaran}}{\gamma_d \text{ Pembesaran}} = \frac{Dr \text{ dengan ditusuk}}{\gamma_d \text{ ditusuk}}$$

$$\frac{Dr \text{ dengan Pembesaran}}{1.857} = \frac{73.863}{1.604}$$

$$Dr \text{ dengan Pembesaran} = \frac{1.857}{1.604} \times 73.863$$

$$= 85.498 \%$$

**Koreksi Nilai Kolom Pasir Pembesaran pada 20cm**

$$\frac{Dr \text{ dengan Pembesaran}}{\gamma_d \text{ tusuk}} = \frac{Dr \text{ dengan ditusuk}}{\gamma_d \text{ ditusuk}}$$

$$\frac{Dr \text{ dengan Pembesaran}}{1.796} = \frac{73.863}{1.604}$$

$$Dr \text{ dengan Pembesaran} = \frac{1.796}{1.604} \times 73.8633$$

$$= 82.705 \%$$

**Pembebanan Benda Uji**

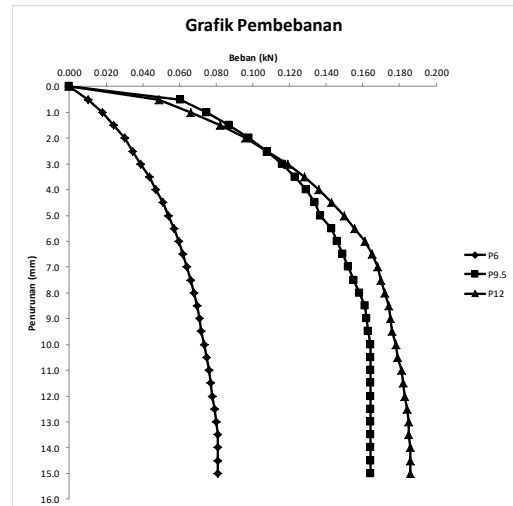
Uji pembebanan pada ketiga benda uji didapatkan data beban yang kemudian dicari beban maksimum dengan menggunakan 3 metode yakni :

1. Metode 1 : menggunakan metode data beban yang didapat pada kedalaman senilai 10% dari diameter benda uji, jadi yang diambil adalah beban pada penurunan 6 mm pada ketiga benda uji
2. Metode 2 : menggunakan metode Mazurkewicz
3. Metode 3 : menggunakan metode Fuller and Hoy

**Tabel 3.** Tabel Beban Maksimum

No	Benda Uji	Beban Metod e 1 (kN)	Beban Metod e 2 (kN)	Beban Metod e 3 (kN)	Beban Pembulata n (kN)
1	P 6S	0,188	0,254	0,254	0,250

2	P 6S10	0,267	0,284	0,283	0,380
3	P 6S20	0,334	0,371	0,370	0,370



**Gambar 8.** Grafik Pembebanan Benda Uji

**Analisa Metode Lapangan**

Metode yang akan digunakan dalam pengaplikasian di lapangan dilakukan dengan meninjau metode yang telah dilakukan di laboratorium yang dikalikan 6,67 pada ukuran kolom pasir untuk menyesuaikan diameter bor yang ada di lapangan (diameter kolom pasir 40 cm) dan agar didapat ukuran panjang yang diperkirakan efektif (2 meter), dengan menghindari penggunaan alat berat untuk menekan biaya pembuatan kolom pasir.

**Analisa Harga Satuan Pekerjaan**

Perhitungan AHSP dilakukan dengan cara menentukan nilai koefisien dari setiap item dengan pajak maksimal 15 %. AHSP sendiri baru dapat dihitung ketika volume dari bahan dan perhitungan peralatan sudah dilakukan.

**Tabel 4.** Bill of Quantity Kolom Pasir Normal

No	Uraian	Satuan	Jumlah	Volume	Total
Pembersihan dan Perataan Tanah					
1	n dan Perataan Tanah	m2	1	0,640	0,640
2	Galian Tanah	m3	1	0,160	0,160
3	Timbunan Tanah	m3	1	0,106	0,106
4	Pengeboran Tanah	m	1	3,500	3,500
5	Timbunan Pasir	m3	1	0,472	0,472

6	Pemadatan Pasir	m3	1	0,472	0,472
7	Pekerjaan Beton K-175	m3	1	0,022	0,022
8	Pekerjaan Pembesian	kg	1	27,138	27,138
9	Pekerjaan Bekisting	m2	1	0,251	0,251

**Tabel 5.** Bill of Quantity Kolom Pasir Pembesaran

No	Uraian	Satuan	Jumlah	Volumen	Total
1	Pembersihan dan Perataan Tanah	m2	1	0,640	0,640
2	Galian Tanah	m3	1	0,160	0,160
3	Timbunan Tanah	m3	1	0,106	0,106
4	Pengeboran Tanah	m	1	3,500	3,500
5	Timbunan Pasir	m3	1	0,528	0,528
6	Pemadatan Pasir	m3	1	0,528	0,528
7	Pekerjaan Beton K-175	m3	1	0,022	0,022
8	Pekerjaan Pembesian	kg	1	27,138	27,138
9	Pekerjaan Bekisting	m2	1	0,251	0,251

**Rencana Anggaran Biaya**

Perhitungan biaya untuk kolom pasir tanpa pembesaran di lapangan didapatkan harga sebesar Rp 2.381.480,98 dan untuk harga dari biaya dari kolom pasir dengan pembesaran di lapangan adalah sebesar Rp 2.404.016,15.

**4. KESIMPULAN**

- Kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :
1. Pembesaran pada kolom pasir tidak signifikan, sehingga disimpulkan pasir hanya mengalami kondisi lebih memadat dengan dr sebesar 85,498 % pada P 6S10 dan 82,705 % pada P 6S20.
  2. Kolom pasir dengan pembesaran dapat menerima beban yang lebih besar sebesar 12 % (untuk pembesaran pada kedalaman 10cm) dan 44 % (untuk pembesaran pada kedalaman 20 cm) dibandingkan dengan kolom pasir tanpa pembesaran.

3. Metode pelaksanaan pembuatan kolom pasir di laboratorium menggunakan alat bantu berupa dongkrak dan casing saat membuat lubang. Saat pengisian pasir dilakukan bersamaan dengan pengangkatan casing secara perlahan, pasir yang dimasukan dipadatkan dengan cara ditusuk agar mendapatkan kepadatan yang direncanakan dan untuk proses pembesaran menggunakan alat penumbuk yang disesuaikan dengan ukuran lubang kemudian dipukul sebanyak 100 kali dengan tetap mengontrol agar tidak terjadi penurunan kolom pasir. kemudian, ditaruh pondasi plat sebagai alas saat uji beban. Proses dari uji pembebanan sendiri menggunakan load ring, dial penurunan, dan ujung alat CBR agar dapat dibaca seberapa besar beban yang diberikan dan besar penurunan yang terjadi.
4. Metode lapangan merupakan hasil analogi menggunakan skala laboratorium yang diperbesar 6,67 kali. Untuk metode lapangan, lubang dibuat menggunakan alat hand boring kemudian dimasukkan casing kedalam lubang yang terbuat dari plat baja, untuk proses memasukkan pasir dan pembesaran sama dengan metode laboratorium. Untuk pondasi plat sendiri dibuat menggunakan beton bertulang.
5. Hasil dari perhitungan biaya didapat harga sebesar Rp 2.381.480,98 untuk kolom pasir tanpa pembesaran dan Rp 2.404.016,15 untuk kolom pasir dengan pembesaran, dengan selisih harga kolom pasir menggunakan pembesaran lebih mahal Rp 22.535,17 dari kolom pasir tanpa pembesaran.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Aponno, G., dan Sholeh, M., *An Evaluation of Carrying Capacity of Jack-in Piles with Base Enlargement in Soft Clay*, Malang : Politeknik Negeri Malang, 2019.
- [2] Basuony El-Garhy, Magdy Maraie & Abdel-Fattah Youssef, *Behavior of Model Footings Resting on Soft Clay Reinforced by Floating Granular Piles: Experimental Study*, *International Journal of Geotechnical Engineering*, 2011.
- [3] Barksdale, R D, *Applications of the State of the Art of Stone Columns--Liquefaction, Local Bearing Failure, and Example Calculations*, Vicksburg: U.S. Army Waterways, 1987.
- [4] Bowles, E. J., *Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Jakarta: Erlangga, 1989.
- [5] Bowles, Joseph E., Johan K. & Helnim, *Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Jakarta: Erlangga, 1991.
- [6] Das, Braja M., *Mekanika Tanah I*, Jakarta: Erlangga, 1995.
- [7] Kirsch, Fabian dan Wolfgang Sonderman, *Field Measurement and Numerical Analysis of the Stress Distribution below Stone Column Supported Embankments and their Stability*, *Int. Workshop on*

- Geotechnics of Soft Soils – Theory and Practice*, 2003.
- [8] McKelvey, D., dkk., *Geotechnical Engineering 157 Issue GE3, Proceedings of the Institution of Civil Engineering*, 2004.
- [9] Namur K.S. Al Saudi, dkk., *Sand and Stone Columns in Soft Soil at Different Relative Densities, The 15<sup>th</sup> Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2016.
- [10] Ningsih, Ana C, Ma'ruf M., & Wicaksono Luthfi., *Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading dan Prefabricated Vertical Drain (PVD)*, Jember, 2018.
- [11] Parihar, Abhinav S dan Shivam Ahuja, *Soil Strengthening Using Horizontally Stiffed Sand Column with Geosynthetic Grid*, India, 2014.
- [12] Prakash, S., dan Sharma, H.D., *Pile Foundations in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1990.
- [13] Terzaghi, K., Peck, R. B., *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*, Jakarta: Erlangga, 1987.
- [14] Zahmatkesh, A., dan AJ Choobbasti, *Settlement Evaluation of Soft Clay Reinforced by Stone Columns, Considering the Effect of Soil Compaction*, *Int. Journal of Research and Reviews in Applied Science* 3(2), 2010.