

## Analisa Pengaruh Penambahan *Sand column* Pada Pondasi Telapak Di Tanah Lempung Lunak

Faradila Fahira<sup>1</sup>, Dandung Novianto<sup>2</sup>, Gerard Aponno<sup>3</sup>

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

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

<sup>1</sup>[fahirafara@gmail.com](mailto:fahirafara@gmail.com), <sup>2</sup>[d.novianto64@gmail.com](mailto:d.novianto64@gmail.com), <sup>3</sup>[gaponno@gmail.com](mailto:gaponno@gmail.com)

### ABSTRAK

Pembangunan di Indonesia seringkali berhadapan dengan permasalahan tanah lempung lunak dimana daya dukung tanah terlalu kecil sehingga tidak mampu menopang struktur bangunan yang akan dibangun. Salah satu cara meningkatkan nilai daya dukungnya adalah dengan penambahan kolom pasir (*sand column*). Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat permodelan pada pondasi telapak dalam skala laboratorium, dimanadaya dukung tanah pada pondasi telapak tanpa kolomdibandingkan dengan pondasi telapak penambahan kolom pasir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa daya dukung batas (*ultimate*) oleh masing-masing pondasi, penentuan dimensi pondasi telapak tanpa kolom pasir pada beban yang sama dengan kolom pasir tunggal, merencanakan metode pelaksanaan di lapangan, dan mengestimasi biaya pembuatannyadi lapangan.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Malang dengan melakukan pengujian sifat fisik dan teknik material tanah lempung lunak buatan dan pasir, selanjutnya tanah lempung tersebut dimasukkan kedalam buis beton berdiameter 100 mm, kemudian membuat benda uji pondasi telapak dengan dan tanpa kolom pasir. Pondasi telapak yang diuji memiliki 3 ukuran yang berbeda yaitu 60mm 95 mm, dan 120 mm dan ukuran kolom pasir yaitu D=60 mm dan H=350 mm. Selanjutnya dilakukan pengujian dan analisa data daya dukung tanah.

Hasil uji tekan pada pondasi dengan kolom pasir lebih besar dibandingkan pondasi telapak tanpa kolom pasir. Kenaikan daya dukung pada pondasi plat 60 mm; 95 mm; dan 120 mm berturut-turut adalah sebesar 212% atau 3,1 kali lebih besar; 256% atau 3,6 kali lebih besar; dan 305% atau 4,1 kali lebih besar. Beban yang mampu ditumpu kolom pasir tunggal sebesar  $Q_u = 0,250$  kN, dimana pada pondasi tanpa kolom pasir memerlukan diameter 151 mm untuk menumpu beban tersebut. Perencanaan metode pelaksanaan di lapangan pada kolom pasir tunggal sebesar Rp.3,008,381.01 sedangkan, pengerjaan pondasi telapak tanpa kolom pasir pada  $Q_u$  yang sama yaitu sebesar Rp. 2,432,951.88 dengan selisih Rp. 575,429.13 lebih murah pada pembuatan kolom pasir tunggal.

**Kata kunci** : kolom pasir, tanah lempung lunak, pondasi dangkal, daya dukung batas, perkiraan biaya

### ABSTRACT

*Construction development in Indonesia is often faced with problems of soft clay soils where the bearing capacity of the soil is inadequate to support the building structure to be built on it. One way to increase the bearing capacity of the soil is by adding a sand column. This research was conducted by making modeling on the foundation of the footing on a laboratory scale and then tested directly with vertical loading. Where, the footing foundation without sand column is compared to the footing foundation with the addition of sand column. The aims of the study is to analyze the ultimate bearing capacity of the footing foundation with and without sand column; determinate the dimensions of footing foundation without sand column at the same load as a single sand column; planning the implementation methods in the field; and estimating the cost of making sand column in the field.*

*The research was conducted at State Polytechnic Soil Laboratory of Malang by testing the physical properties of clay soil and sand, then clay soil was put into concrete concrete with the addition of water and waited until it did not decrease, then made the footing foundation test specimens and footing specimens with sand column. The footing foundation tested has 3 different sizes namely 60 mm, 95 mm and 120 mm. Furthermore, testing and analys the data of bearing capacity of the soil.*

*The results of the compressive test on the foundation with sand column are greater than the foundation of the footing without sand column. Increase in bearing capacity of the foundation with plate dimensions of 60mm; 95 mm; and 120 mm in a row is 212% or 3.1 times greater; 256% or 3.6 times greater; and 305% or 4.1 times greater. Load that can be supported by a single sand column is  $Q_u = 0,250$  kN where in the foundation without sand column requires a diameter of 151 mm. The method of implementation in the field using manual drill work on a single sand column cost of Rp. 3,008,381.01 while*

working on a footing foundation without sand column in the same  $Q_u$ , amounting to Rp. 2,432,951.88 with a difference of Rp. 575,429.13 less expensive on making a single sand column.

**Keywords :** sand column, soft clay soil, shallow foundation, ultimate bearing capacity, cost estimation

## 1. PENDAHULUAN

Letak geografis dan astronomis Indonesia menyebabkan Indonesia memiliki beragam jenis dan karakteristik tanah. Salah satu jenis tanah tersebut ialah tanah lempung. Tanah lempung sendiri terbagi beberapa tipe menurut konsistensinya. Tanah lempung yang cukup menjadi permasalahan di Indonesia, adalah tanah lempung lunak seperti tanah yang terdapat di daerah pesisir utara Pulau Jawa (Ningsih, 2018). Tanah lempung lunak memiliki daya dukung yang rendah dan penurunan yang tinggi. Salah satu cara penambahan daya dukung tanah adalah dengan penambahan kolom pada pondasi. Pasir adalah salah satu material yang banyak terdapat di Indonesia dan mudah dijumpai selain itu harga material pasir pun relatif murah.

Penggunaan material pasir pada kolom telah beberapa kali diteliti dan membuahkan hasil yang baik dalam menambah daya dukung tanah. Namur K.S. Al Saudi (2016) telah melakukan penelitian dan memberikan kesimpulan bahwa pemadatan merata pada pembuatan benda uji *sand column* sangatlah berpengaruh pada kemampuan *sand column* dalam menurunkan angka penurunan. Penelitian dengan variasi panjang *sand column* juga sudah pernah dilakukan untuk mengetahui rasio ideal panjang *sand column*. (Mc.Kelvey, dkk. 2004). Penelitian oleh Al Zuhairi (2002) menyimpulkan bahwa daya dukung tanah pada pondasi dengan *sand column* dipengaruhi oleh luas penampang pondasi dan rasio kedalaman dan diameter kolom, serta kepadatan pasir. Penggunaan penampang dengan ukuran berbeda dan ukuran gradasi yang berbeda dapat menghasilkan daya dukung tanah yang berbeda (Basuony El-Garhy, dkk. 2011). Tanah Lempung lunak pada penelitian oleh Gerard Aponno dan Mochamad Sholeh (2019) merupakan tanah lempung lunak buatan (*artificial*) dari tanah lempung normal, dengan penelitian terhadap permodelan pondasi tiang beton dengan dan tanpa pembesaran pada ujung tiang.

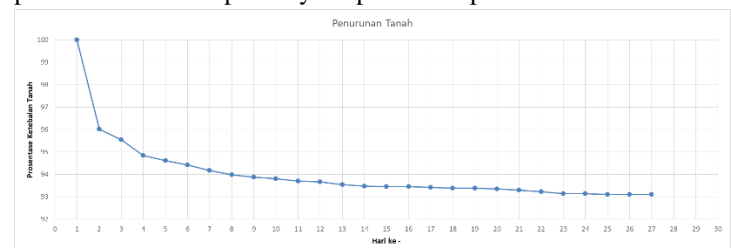
Pada penentuan daya dukung batas pada pondasi tiang dapat dilakukan dengan beberapa metode. Penentuan  $Q_u$  pada penelitian ini menggunakan 3 metode yakni pembacaan nilai  $Q_u$  pada penurunan 10% dari diameter pondasi sesuai menurut DIN18 134 dimana keruntuhan pada penekanan *plate bearing test*, pada penurunan 1/10 dari diameter akan diasumsikan telah menyebabkan keruntuhan. Metode Mazurkiewicz (1972) dan Metode Fuller and Hoy (1970) merupakan metode dalam mencari  $Q_u$  dengan penggambaran grafik hubungan antara beban dengan penurunan pada pondasi.

Penelitian ini dimaksudkan untuk menentukan karakteristik tanah lempung lunak dan pasir yang digunakan, membandingkan nilai daya dukung pondasi telapak dengan dan tanpa *sand column*, menghitung dimensi pondasi telapak tanpa *sand column* pada daya dukung yang sama dengan 1 *sand column*, menghitung biaya yang dikeluarkan dilapangan, serta menentukan metode pelaksanaan pembuatan *sand column* di lapangan.

Penelitian ini dilakukan dengan pada tanah lempung lunak buatan dimana pondasi telapak tanpa dan dengan *sand column* dibandingkan dengan variasi pembesaran pada diameter telapak pondasi, agar dapat diketahui berapa penambahan dimensi telapak yang memiliki nilai daya dukung yang sama dengan adanya penambahan *sand column* dengan harapan dapat memperoleh hasil yang lebih efisien dan ekonomis untuk perkuatan tanah.

## 2. METODE

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. 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*. Grafik penurunan tanah tiap harinya dapat dilihat pada Gambar 1

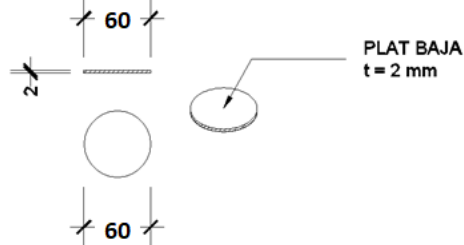


**Gambar 1.** Grafik penurunan tanah *artificial* dalam bus

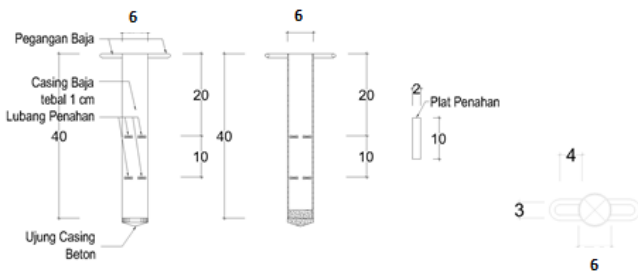
Pengujian yang dilakukan pada material tanah yaitu pengujian kadar air, berat isi, batas cair, batas plastis, gradasi tanah, dan kuat tekan bebas tanah. Pengujian-pengujian tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa jenis tanah termasuk dalam klasifikasi lempung, dengan nilai  $Q_u < 0,5 \text{ kg/cm}^2$  sehingga tanah bisa dikatakan tanah lempung lunak.

Pengujian yang dilakukan pada material pasir adalah uji analisis ukuran butiran, berat jenis, dan kepadatan pasir. Kepadatan pasir perencanaan didalam *sand column* yaitu 75%

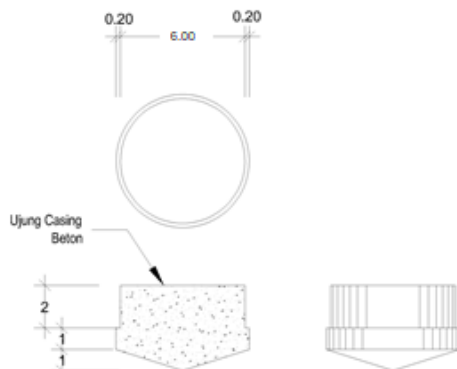
Pondasi terbuat dari plat baja yang dibentuk lingkaran, untuk casing terbuat dari pipa galvanis sesuai pada desain Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



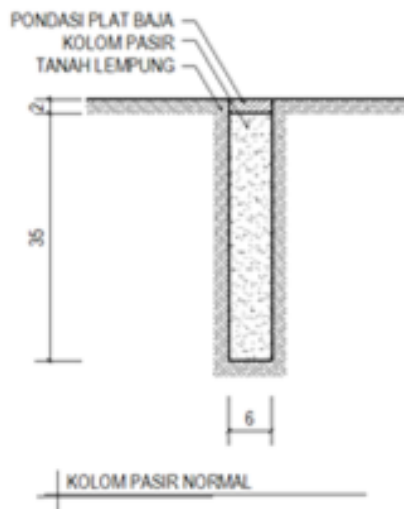
Gambar 2. Penampang Pondasi Plat



Gambar 3. Penampang Casing Pipa Galvanis



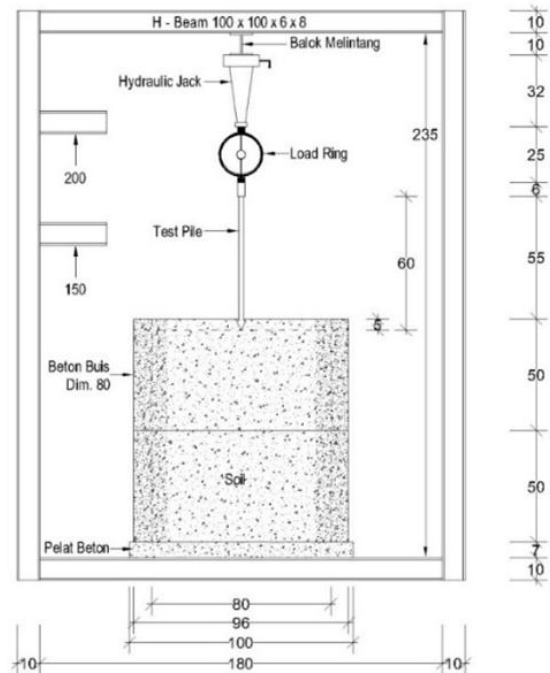
Gambar 4. Desain Ujung Casing



Gambar 5. Rencana Benda Uji Kolom Pasir

Metode pembuatan benda uji *sand column* dengan cara, meratakan permukaan tanah lempung lunak, kemudian menentukan titik kolom pasir pada tanah dengan menggunakan meteran dan ditandai, kemudian lubang kolom dibuat dengan cara menekan dengan dongkrak hidrolik padacasing(bagian bawah tertutup), hingga kedalaman 350 mm, setelah casing masuk sepenuhnya, casing diangkat untuk melepas tutup bawah. Penarikan casing dilakukan secara bertahap, dengan masing-masing tahap memasukkan pasir kedalam lubang dengan ditumbuk halus sebelum kondisi tanah berubah. Penumbukan dilakukan pada ketebalan tiap 100 mm agar seluruh pasir yang disiapkan dapat masuk tanpa menambah kedalaman pada kolom pasir sehingga tidak terjadi penurunan pada dasar kolom pasir.

Setelah kolom pasir dan pondasi telapak sudah siap, diletakkan pondasi plat baja diatasnya, kemudian dibebani dengan alat *Loading Test* dengan menggunakan bantuan dongkrak. 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. Sketsa pengujian sesuai pada Gambar 6



Gambar 6. Tampak Depan Alat Uji

Hasil pengujian dianalisis dan dibuat grafik perbandingan antara kedalaman penurunan dan beban yang diberikan. Nilai daya dukung dilihat ketika penurunan terjadi pada 10% diameter, selanjutnya penentuan  $Q_u$  dilihat dari grafik dengan metode Mazurkiewich, serta metode Fuller and Hoy.

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

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tanah di dalam buis beton mengalami penurunan sendiri dan ditinjau hingga hampir tidak terjadi penurunan (penurunan dalam 1 hari kurang dari 1 mm ) pada hari ke-27. Dari pengujian parameter pasir didapat bahwa pasir berjenis *poorly graded*. Kepadatan pasir yang digunakan untuk kolom pasir normal direncanakan sebesar 75% dengan metode getar dan didapatkan hasil pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Rekapitulasi Data Pasir

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

Karena metode getar tidak memungkinkan pada penelitian di laboratorium, perlu koreksi nilai Dr dengan metode tusuk (perhitungan koreksi dengan perbandingan Dr dan  $\gamma_d$ ) yaitu sebesar 73,86%

Pengujian sifat tanah didapatkan bahwa tanah yang digunakan masuk dalam klasifikasi tanah lempung lunak dimana detail data tanah dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Rekapitulasi Data Tanah

Parameter	Nilai
Kadar Air	53,46 %
Berat Isi Tanah ( $\text{kN/m}^3$ )	11,18
Berat Jenis ( $\text{kN/m}^3$ )	19,71
Batas Cair	77,40 %
Batas Plastis	56,39 %
Indeks Plastisitas	21,01 %
qu ( $\text{kN/m}^3$ )	16,38
Cu ( $\text{kN/m}^3$ )	8,19
Prosentase Tanah Lolos Ayakan No. 200	83,29 %

Pembuatan benda uji pondasi tanpa *sand column* dengan cara penggalian titik uji sedalam 2 mm agar permukaan pondasi sejajar tanah, selanjutnya, membuat lantai kerja dari pasir, dan meletakkan plat dengan diameter sesuai titik uji. Pembuatan benda uji pondasi dengan kolom pasir sesuai rencana ditambah dengan penambahan pondasi telapak diatas *sand column*. Kebutuhan pasir pada kolom benda uji pondasi telapak dengan *sand column* sesuai dengan yang direncanakan sehingga kepadatan pasir (Dr) sesuai rencana.



**Gambar 7.** Tanpa katras pada benda uji



**Gambar 8.** Benda Uji P6S

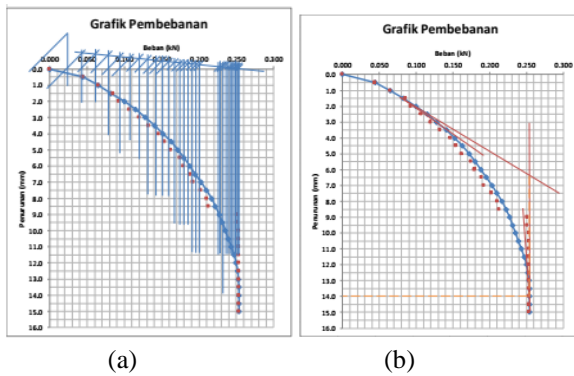


**Gambar 9.** Benda Uji P9.5S



**Gambar 10** Benda Uji P9.5S

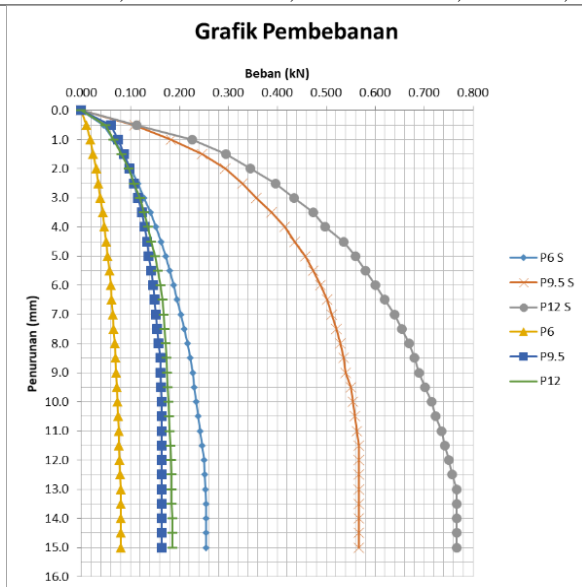
Uji pembebanan pada ketiga benda uji didapatkan data beban yang kemudian dicari nilai Qu. Perbandingan Qu menggunakan tiga metode dapat dilihat pada **Tabel 3** yang selanjutnya dilakukan penentuan beban pendekatan. Perbandingan kurva hasil uji pembebanan pada masing-masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 12. Salah satu contoh Grafik dengan metode Mazurkiewicz dan Fuller and Hoy dapat dilihat pada Gambar 11 pada benda uji P6S dengan catatan : (a) grafik dengan beban modifikasi metode Mazurkiewicz, (b) grafik pembacaan Qu dengan metode Fuller and Hoy



Gambar 11. Grafik dengan Metode Mazurkiewucz dan Fuller and Hoy benda uji P6S

Tabel 3. Tabel Beban Maksimum

Benda Uji	Qu (kN)			Beban Pende katan
	10% diameter	Mazurkiewicz	Fuller and Hoy	
P6	0,0596	0,0807	0,0807	0,080
P9,5	0,163	0,164	0,164	0,160
P12	0,181	0,186	0,181	0,190
P6 S	0,188	0,254	0,254	0,250
P9,5 S	0,550	0,567	0,57	0,570
P12 S	0,766	0,766	0,76	0,770



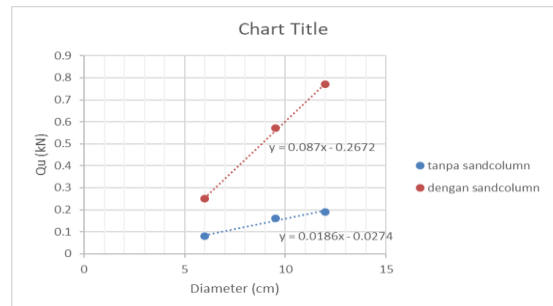
Gambar 12 Grafik Pembebanan Benda Uji

Untuk mengetahui berapa dimensi telapak tanpa sand column yang mampu menahan beban yang sama dengan sand column maka perlu diketahui grafik kenaikan Qu pada plat dengan sand column dan plat tanpa sand column. Kenaikan Qu pada diameter pondasi diplot dan ditarik garis linear, selanjutnya dikeluarkan rumus pada garis linear tersebut pada excel seperti pada Gambar 9.

Dapat dihitung berapa dimensi pondasi telapak tanpa sand column yang mampu menahan beban yang sama dengan 1 kolom. Qu pada 1 Kolom = 0,2528 kN. Maka, perhitungan dimensi plat tanpa sand column adalah

$$\begin{aligned}
 Qu &= y = 0,0186x - 0,0274 \\
 0,2528 &= 0,0186x - 0,0274 \\
 0,2802 &= 0,0186x \\
 X &= 0,2802 / 0,0186 \\
 &= 15,0645 \text{ cm} \sim 151 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi, ukuran diameter plat yang dapat memikul Qu yang sama dengan 1 kolom berdiameter 60 mm dengan tinggi 350 mm adalah 151 mm



Gambar 9. Grafik hubungan Qu dan Diameter plat

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 manual yang ada di lapangan (diameter kolom pasir 400 mm) dan agar didapat ukuran panjang yang diperkirakan efektif (2 meter), dengan menghindari penggunaan alat berat untuk menekan biaya pembuatan kolom pasir.

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 Plat dengan Sand column D=400 mm

No.	Deskripsi	Satuan	Jumlah	Volume
1	Pembersihan dan Perataan Tanah	m2	1	0,640
2	Galian Tanah	m3	1	0,160
3	Timbunan Tanah	m3	1	0,106
4	Pengeboran Tanah	m	1	3,500
5	Timbunan Pasir	m3	1	0,472
6	Pemadatan Pasir	m3	1	0,472
7	Pekerjaan Beton K-175	m3	1	0,022
8	Pekerjaan Pembesian	kg	1	27,138
9	Pekerjaan Bekisting	m2	1	0,251

**Tabel 5.** Bill of Quantity Pondasi telapak D=1000 mm

No.	Deskripsi	Satuan	Jumlah	Volume
1	Pembersihan dan Perata Tanah	m2	1	1.440
2	Galian Tanah ≤ 1 m	m3	1	0.360
3	Timbunan Tanah	m3	1	0.136
4	Timbunan Pasir Sebagai Bahan Pengisi	m3	1	0.072
5	Pemadatan Pasir Sebagai Bahan Pengisi	m3	1	0.072
6	Pekerjaan Beton K-300	m3	1	0.152
7	Pekerjaan Pembesian Ø19	kg	1	37.261
8	Pekerjaan Bekisting	m2	1	0.628

Perhitungan biaya untuk 1 *sandcolumn* dengan telapak di lapangan didapatkan harga sebesar Rp.3,008,381.01 dan untuk biaya pondasi telapak pada pembebanan yang sama sebesar Rp. 2,432,951.88. Selisih biayanya yaitu sebesar Rp.575,429.13

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Karakteristik tanah lempung yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah lempung CH dengan nilai  $Q_u$  0,167 kN/cm<sup>2</sup> , kadar air 45,47%, berat jenis 2,01, LL = 77,40, PL = 56,39, IP = 21,01%, dan berat isi 1,14 gr/cm<sup>3</sup> . sedangkan, untuk pasir yang digunakan merupakan pasir halus dengan

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aponno, G., dan Sholeh, M., *An Evaluation of Bearing Capacity of Jack-in Piles with Base Enlargement in Soft Clay*, Malang : Politeknik Negeri Malang, 2019.
- [2] Al-Zuhairi, A. H. 2002. *The Use of Sandcolumn to Improve Soft Soil*. University Of Baghdad. India
- [3] B. B. Broms. "Stabilization of soft clay in Southeast Asia," *Proc. 5th International Geotechnical Seminar*. 1987
- [4] 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.
- [5] Bowles, E. J., Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah, Jakarta: Erlangga, 1989.
- [6] Bowles, Joseph E., Johan K. & Helnim, Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah, Jakarta: Erlangga, 1991.

- perencanaan Dr pada *sandcolumn* yakni 73,86% atau pasir yang masuk pada kolom sebesar 1,6891 kg.
  2. Hasil uji tekan pada pondasi dengan *sand column* lebih besar daripada pondasi telapak tanpa *sand column*. Kenaikan daya dukung pada pondasi dengan dimensi plat 60 mm; 95 mm; dan 120 mm berturut-turut adalah sebesar 212% atau 3,1 kali lebih besar; 256% atau 3,6 kali lebih besar; dan 305% atau 4,1 kali lebih besar.
  3. Beban yang mampu ditumpu 1 buah *sand column* yaitu pada nilai  $Q_u$  benda uji P6S sebesar 0,250 kN dimana pada perhitungan nilai  $Q_u$  yang sama, besar dimensi plat yang mampu menahan  $Q_u$  0,250 kN adalah plat dengan diameter 151 mm
  4. Metode lapangan merupakan hasil analogi menggunakan skala laboratorium yang diperbesar 6,67 kali dengan menggunakan alat manual saat instalasi di lapangan. Untuk metode lapangan, lubang dibuat menggunakan alat hand boring yang kemudian dimasukkan casing kedalam lubang yang terbuat dari pipa galvanis, saat proses memasukkan pasir, casing diangkat secara perlahan dan pasir dipadatkan dengan cara ditusuk menggunakan tongkat besi
  5. Hasil dari perhitungan biaya didapat harga sebesar Rp.3,008,381.01 untuk pondasi telapak dengan diameter 400 mm dengan 1 *sand column* berdiameter 400 mm. untuk pondasi telapak berdiameter 1000 mm yang mampu menahan beban yang sama, biaya yang diperlukan sebesar Rp. 2,432,951.88. Selisih biayanya yaitu sebesar Rp. 575,429.13
- [7] Das, Braja M., *Mekanika Tanah I*, Jakarta: Erlangga, 1995.
  - [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] Prakash, S., dan Sharma, H.D. 1990. *Pile Foundations in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Inc., Canada
  - [12] Terzaghi, K., Peck, R. B., *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*, Jakarta: Erlangga, 1987.