

PENGARUH POLA SUSUNAN KOLOM PASIR SEBAGAI DRAINASE VERTIKAL DUA ARAH TERHADAP KECEPATAN PENURUNAN TANAH LUNAK

Danang Priambodo¹⁾, Bambang Setiawan²⁾, Niken Silmi Surjandari³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

^{2), 3)}Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutarmi 36A, Ketingan, Surakarta 57126. Email: danangphe@gmail.com

Abstract

Soft soil is a type of difficult soil that has the characteristics of low bearing capacity, high compressibility level and very long consolidation time. This research was conducted to find out the effect of addition and pattern arrangement of sand column that was functioned as two-way vertical drainage in soft soil. The test was carried out by putting a load of 40 kg on plate for 21 days followed with unloading process for 7 days in non-sand column modeling and with sand column in square and triangular pattern modeling. C_c and C_v values, daily surface elevation values, sand water content and soft soil water content every three days values of each modeling were observed during that time period. Consolidation test resulted that modeling with triangular sand column has the highest C_c and C_v after loading values compared to other modeling with 0,852 and 0,041 $\text{cm}^2/\text{second}$. Based on measurement of daily surface elevation values, it also has the fastest decrease of surface, this is indicated by the steepest graph gradient compared to other modeling. The decrease of surface that occurs was accompanied with the increase of sand water content and the decrease of soft soil water content whose value was proportional directly to the decrease experienced.

Keywords : *soft soil, sand column, decrease of surface, water content*

Abstrak

Tanah lunak merupakan jenis tanah bermasalah yang mempunyai karakteristik daya dukung rendah, tingkat kompresibilitas tinggi dan waktu konsolidasinya yang sangat lama. Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui pengaruh penambahan dan bentuk pola susunan kolom pasir yang difungsikan sebagai drainase vertikal dua arah pada tanah lunak. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban seberat 40 kg yang diletakkan di atas pelat selama 21 hari yang dilanjutkan dengan proses *unloading* selama 7 hari pada model tanpa kolom pasir dan model dengan kolom pasir pola bujur sangkar serta segitiga. Selama kurun waktu tersebut diperhatikan parameter nilai C_c dan C_v , elevasi permukaan harian serta kadar air pasir dan tanah lunak tiga harian dari setiap model. Hasil uji konsolidasi menunjukkan bahwa model dengan kolom pasir pola segitiga memiliki nilai C_c dan C_v setelah pembebanan paling besar dibandingkan model lainnya dengan 0,852 dan 0,041 cm^2/detik . Berdasarkan hasil pengukuran besar elevasi permukaan harian, model dengan kolom pasir pola segitiga juga memiliki penurunan permukaan tercepat, hal ini ditunjukkan dengan gradien grafiknya yang paling curam dibandingkan dengan model lainnya. Penurunan permukaan yang terjadi diiringi dengan meningkatnya kadar air pasir dan turunnya kadar air tanah lunak yang nilainya berbanding lurus dengan besarnya penurunan yang dialami.

Kata kunci : tanah lunak, kolom pasir, penurunan permukaan, kadar air

PENDAHULUAN

Sebaran jenis tanah tidaklah merata di suatu wilayah, sehingga kadangkala suatu bangunan harus didirikan di atas jenis tanah dengan sifat kurang menguntungkan, seperti tanah lunak misalnya. Permeabilitas yang rendah pada tanah lunak menyebabkan waktu konsolidasi yang diperlukan menjadi sangat lama. Konsolidasi merupakan proses keluarnya air dari dalam tanah, air yang keluar membuat tanah menjadi lebih mampat dan mengakibatkan penurunan permukaan. Penanganan tanah lunak dalam suatu proyek biasanya dilakukan dengan mengganti tanah asli dengan tanah baru yang lebih baik, namun apabila volume tanah lunak sangat besar maka usaha stabilisasi tanah lebih direkomendasikan. Metode stabilisasi yang dapat digunakan diantaranya adalah dengan pemberian drainase vertikal. Pasir dapat dipilih sebagai media alternatif drainase vertikal dengan pertimbangan pasir merupakan material yang memiliki permeabilitas cukup tinggi dan mudah ditemukan sehingga harganya lebih ekonomis. Lebih lanjut penelitian ini membahas mengenai pengaruh penambahan dan bentuk pola susunan kolom pasir yang difungsikan sebagai drainase vertikal dua arah pada tanah lunak.

LANDASAN TEORI

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai pengaruh penambahan kolom pasir terhadap perilaku tanah lunak, diantaranya yaitu:

Listyawan dkk (2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh kolom pasir terhadap konsolidasi tanah lunak dengan variasi jarak pengambilan sampel. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin jauh jarak sampel tanah yang diambil dari kolom pasir maka kecepatan konsolidasinya semakin menurun.

Trisatria dkk (2018) melakukan penelitian mengenai pengaruh pemberian kolom pasir tunggal dan kelompok yang difungsikan sebagai drainase vertikal dua arah terhadap konsolidasi tanah lunak. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kolom pasir dengan variasi kolom kelompok mengalami penurunan lebih cepat dibandingkan variasi kolom tunggal.

Prastyo dkk (2018) melakukan penelitian mengenai pengaruh kedalaman drainase vertikal kolom pasir terhadap kecepatan konsolidasi dan perubahan kadar air tanah lunak. Berdasarkan hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa kolom pasir dengan rasio kedalaman kolom pasir terhadap ketebalan tanah lunak yang lebih besar akan mengalami penurunan tanah yang lebih cepat.

Tanah Lunak

Tanah lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan. Tanah lunak memiliki karakteristik kadar air 60 % hingga 110 %, batas cair 60 % hingga 100 %, batas plastis 30 % hingga 50 %, kuat geser 20 kN/m² hingga 40 kN/m² dan butiran tanah yang lolos oleh saringan nomor 200 lebih besar dari 85 % (Hardiyatmo, 2002).

Pasir

Menurut Terzaghi dkk (1996) pasir merupakan agregat non-kohefif yang tersusun dari fragmen-fragmen sub-angular atau angular, berasal dari batuan atau mineral yang belum mengalami perubahan. Pasir memiliki partikel berukuran sampai dengan 1/8 inci.

Konsolidasi Tanah

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau rongga pori pada tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan. Laju proses konsolidasi dipengaruhi oleh permeabilitas tanah, tebal tanah dan kondisi drainase di atas dan di bawah lapisan tanah kompresif (Hardiyatmo, 2003).

Uji konsolidasi yang dilakukan menghasilkan parameter-parameter konsolidasi tanah, yaitu koefisien konsolidasi (C_v) dan indeks pemampatan (C_c). Parameter C_v digunakan untuk menghitung tingkat kecepatan penurunan tanah, C_c dapat dicari dengan menggunakan metode akar waktu. Besarnya nilai C_c adalah kemiringan dari bagian lurus grafik $e - \log$ hasil pengujian konsolidasi di laboratorium.

Nilai C_c laboratorium perlu dikonversikan menjadi C_c lapangan, kemudian dapat digunakan untuk mencari nilai penurunan konsolidasi lapisan tanah menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S_c = C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \dots\dots\dots (1)$$

dengan,

- S_c = penurunan konsolidasi (m)
- C_c = indeks pemampatan
- H = tebal tanah (m)
- e_0 = besarnya angka pori pada awal pengujian
- σ_0 = tegangan awal tanah (kg/m²)
- $\Delta\sigma$ = tegangan tambahan pada tanah (kg/m²)

Drainase Vertikal

Pemasangan drainase vertikal dapat diatur dengan pola bujur sangkar dan segitiga, dengan luas diameter pengaruh sebagai berikut:

$$D = 1,13s \text{ (pola bujur sangkar)} \dots\dots\dots (2)$$

$$D = 1,05s \text{ (pola segitiga)} \dots\dots\dots (3)$$

dengan,

- D = diameter pengaruh (m)
- s = jarak antar pusat drainase vertikal (m)

METODE PENELITIAN

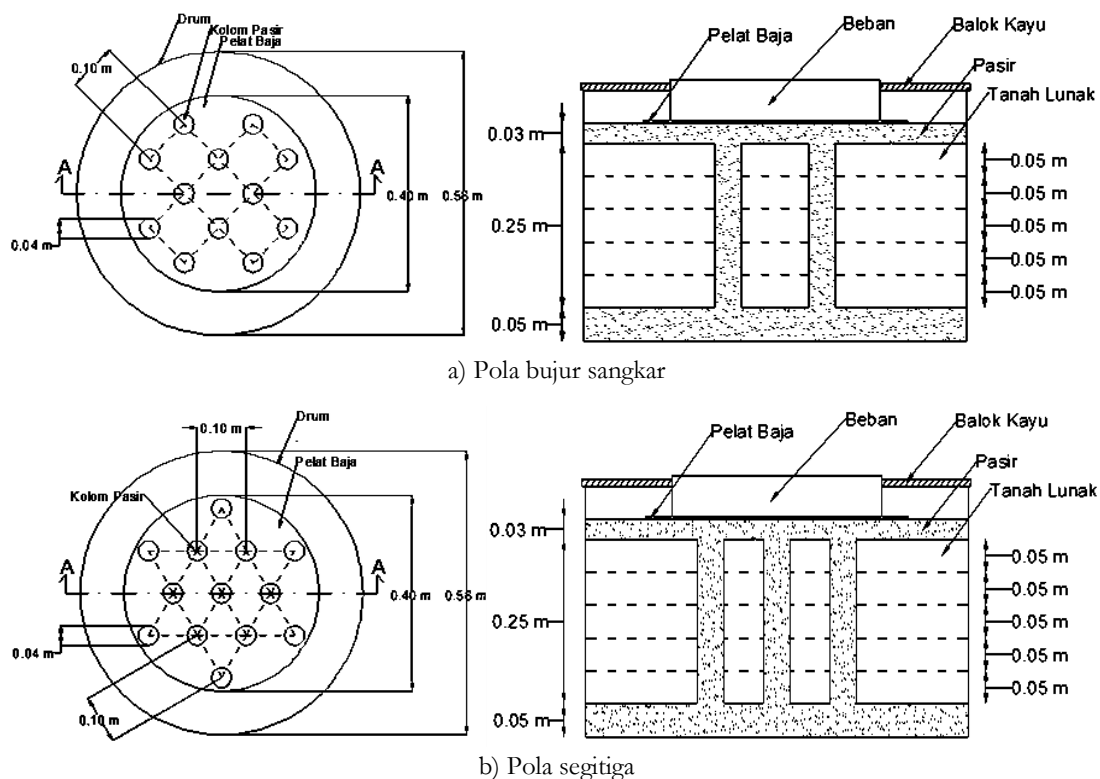
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengamatan langsung melalui pemodelan fisik skala kecil di laboratorium. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta. Sampel tanah diambil dari Dusun Seneng, Desa Girimargo, Kecamatan Miri, Kabupaten Sragen.

Tahap Persiapan

Tahap ini meliputi uji pendahuluan sampel tanah dan persiapan media tanah lunak dan pasir. Uji pendahuluan diperlukan untuk memastikan apakah sampel tanah yang diambil termasuk tanah lunak. Persiapan media dilakukan guna menyeragamkan kondisi tanah lunak dan pasir yang digunakan untuk setiap model.

Tahap Perakitan Model

Terdapat dua model yang dibuat, yaitu model dengan kolom pasir pola segitiga dan bujur sangkar. Selain dua model utama di atas, dibuat pula model tanpa kolom pasir yang digunakan sebagai acuan. Dibuat kolom pasir dengan diameter 4 cm sedalam 25 cm dengan jarak antar pusat kolom pasir sebesar 10 cm.



Gambar 1 Detail Tampak Atas dan Potongan Desain Pemodelan

Tahap Penelitian Utama

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban seberat 40 kg yang diletakkan di atas pelat selama 21 hari yang dilanjutkan dengan proses *unloading* selama 7 hari. Selama kurun waktu tersebut diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Pengukuran nilai C_c dan C_r tanah lunak.
- Pengukuran penurunan elevasi plat harian dengan jangka sorong.
- Pengukuran kadar air tiga harian pada tanah lunak dan pasir pada lapis porus permukaan.

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Uji pendahuluan yang dilakukan menunjukkan bahwa sampel tanah memenuhi syarat sebagai tanah lunak dengan nilai batas cair (*liquid limit*) sebesar 91,44 %, batas plastis (*plastic limit*) sebesar 47,67 % dan persentase lolos saringan 200 sebesar 98,27 %.

Uji Konsolidasi Tanah Lunak

Pengujian konsolidasi dilakukan pada sampel tanah baik sebelum maupun setelah pembebanan, diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Rekapitulasi hasil uji konsolidasi untuk setiap model

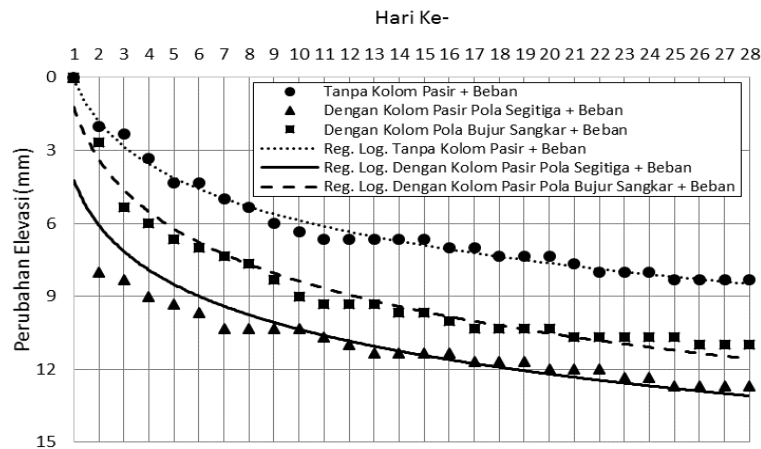
Sampel Tanah	C_v (cm^2/detik)	C_c Lab.	C_c Lap.	t (detik)	S_c (mm)
Tanpa beban	0,019	0,711	0,877	6964,1	-
Tanpa kolom pasir + beban	0,024	0,734	1,003	5633,1	21,51
Dengan kolom pasir pola bujur sangkar + beban	0,033	0,844	1,220	4068,3	25,61
Dengan kolom pasir pola segitiga + beban	0,041	0,852	1,275	3205,5	26,78

Model dengan kolom pasir pola segitiga + beban memiliki nilai C_v tertinggi sebesar 0,041 cm^2/detik , ini menunjukkan bahwa model tersebut memiliki kecepatan konsolidasi tertinggi. Nilai C_c lapangan tertinggi juga dimiliki model ini sebesar 1,275, ini menunjukkan bahwa pada model tersebut telah mengalami pemampatan yang terbesar.

Waktu konsolidasi (t) dihitung berdasarkan nilai C_v , nilai t paling singkat dimiliki model dengan kolom pasir pola segitiga + beban sebesar 3205,5 detik, semakin besar nilai C_v maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90 % akan semakin cepat. Model tersebut juga memiliki besar penurunan konsolidasi (S_c) teoritis tertinggi sebesar 26,78 mm, semakin besar nilai C_c maka penurunan konsolidasi teoritis yang dihasilkan juga akan semakin besar pula.

Penurunan

Hasil pengukuran penurunan muka tanah untuk setiap model dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

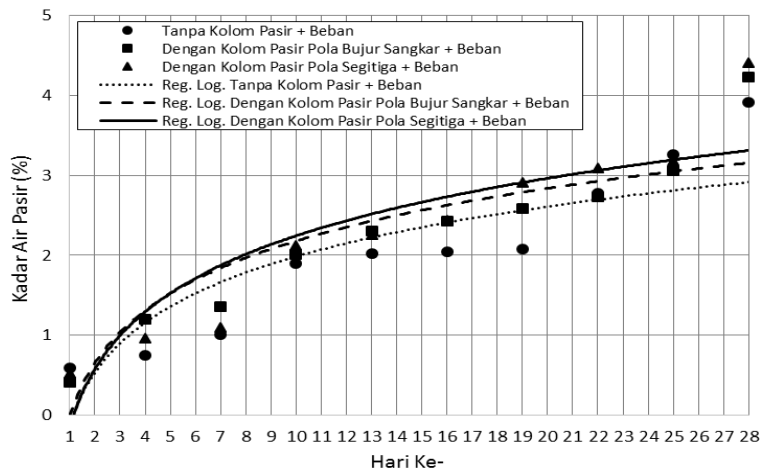


Gambar 2 Penurunan permukaan tanah untuk tiap model

Model dengan kolom pasir pola segitiga + beban memiliki laju penurunan tercepat, hal ini ditunjukkan dengan gradien grafiknya yang paling tajam dibanding model lainnya dengan penurunan permukaan sebesar 12,67 mm dalam rentang waktu 28 hari. Model dengan kolom pasir pola bujur sangkar + beban memiliki kecuraman gradien menengah dengan penurunan sebesar 11,00 mm sedangkan model tanpa kolom pasir + beban memiliki gradien paling landai dengan penurunan sebesar 8,33 mm. Penurunan pada model dengan susunan pola segitiga lebih cepat dibandingkan dengan pola bujur, ini dikarenakan pada susunan pola segitiga memiliki daerah kerja yang lebih rapat dibandingkan dengan pola bujur sangkar sehingga jalur resapan air yang lebih efektif dapat dicapai.

Kadar Air Pasir

Hasil pengukuran kadar air pasir pada lapis porus permukaan untuk setiap model dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.

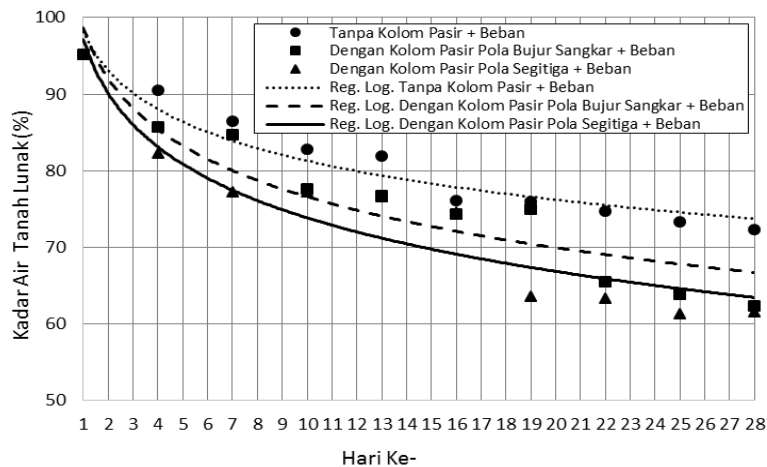


Gambar 3 Kadar air pasir untuk tiap model

Kadar air pasir rata-rata untuk model tanpa kolom pasir + beban diperoleh sebesar 2,03 %, lalu untuk model dengan kolom pasir pola bujur sangkar + beban dan pola segitiga + beban sebesar 2,23 % dan 2,30 %. Penambahan kolom pasir dapat mempercepat proses peresapan air dengan kinerja paling baik dimiliki model dengan kolom pasir pola segitiga + beban. Daerah kerja yang lebih rapat pada susunan pola segitiga membuat air pori lebih mudah meresap ke dalam kolom-kolom pasir yang ada untuk kemudian disalurkan ke lapisan pasir pada lapis porus dasar dan permukaan.

Kadar Air Tanah Lunak

Hasil pengukuran kadar air tanah lunak untuk setiap model dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Kadar air tanah lunak untuk tiap model

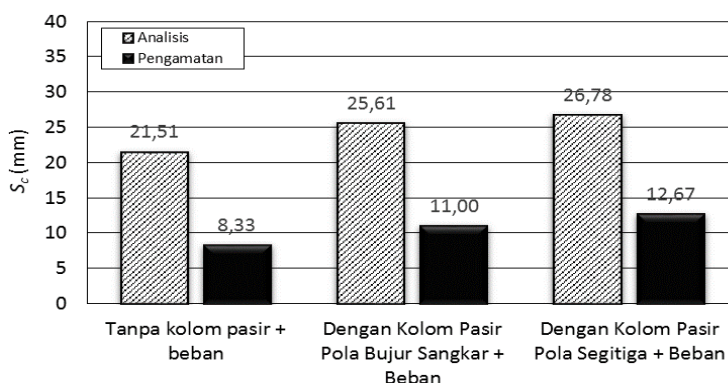
Kadar air tanah lunak rata-rata untuk model tanpa kolom pasir + beban diperoleh sebesar 80,91 %, lalu untuk model dengan kolom pasir pola bujur sangkar + beban dan pola segitiga + beban sebesar 76,09 % dan 73,32 %. Penambahan kolom pasir dapat mempercepat proses peresapan air pori keluar dari tanah lunak. Model dengan susunan pola segitiga memiliki tingkat perubahan penurunan kadar air tanah lunak paling besar, banyaknya celah pada daerah kerja susunan pola bujur sangkar menyebabkan air pori sulit meresap ke arah kolom pasir dan tertahan di dalam tanah lunak. Tanah lunak memiliki permeabilitas rendah sehingga air pori sukar untuk bergerak keluar.

Perbandingan Penurunan Konsolidasi Hasil Pengamatan dengan Hasil Analisis

Hasil analisis perhitungan penurunan konsolidasi (S_c) teoritis yang telah dilakukan sebelumnya kemudian dibandingkan dengan penurunan permukaan hasil pengamatan dari model yang telah dibuat di laboratorium seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 5 di bawah ini.

Tabel 2 Perbandingan penurunan hasil analisis dan pengamatan pada hari ke- 28

Sampel Tanah	S_c (mm)		
	Pengamatan	Analisis	Selisih
Tanpa kolom pasir + beban	8,33	21,51	13,18
Dengan kolom pasir pola bujur sangkar + beban	11,00	25,61	14,61
Dengan kolom pasir pola segitiga + beban	12,67	26,78	14,11



Gambar 5 Perbandingan penurunan antara hasil analisis dan pengamatan pada hari ke- 28

Gambar 5 menunjukkan adanya selisih yang cukup besar antara penurunan konsolidasi hasil pengamatan dengan analisis perhitungan, namun keduanya memiliki kecenderungan tren yang sama. Setiap model juga memiliki selisih penurunan konsolidasi antara hasil pengamatan dengan analisis perhitungan yang berdekatan, hal ini memperlihatkan adanya korelasi yang sama diantara keduanya.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Model dengan kolom pasir pola segitiga + beban memiliki nilai C_v terbesar yaitu 0,041 cm²/detik dengan lamanya waktu (t) yang paling singkat yaitu 3205,5 detik, sehingga dapat mencapai derajat konsolidasi 90 % paling cepat dibandingkan dengan model lainnya. Semakin besar nilai C_v maka waktu yang dibutuhkan untuk proses konsolidasi semakin singkat.
2. Model dengan kolom pasir pola segitiga + beban memiliki nilai C_c terbesar yaitu 0,852 dengan besarnya S_c yang paling besar pula yaitu sebesar 26,78 mm. Semakin tinggi nilai C_c semakin besar pula penurunan tanah lunak hasil analisis (S_c) yang terjadi.
3. Hasil pengamatan penurunan selama 28 hari diperoleh model dengan kolom pasir pola segitiga + beban memiliki penurunan paling cepat, hal ini ditunjukkan dengan gradien grafiknya yang paling curam dibandingkan dengan model lainnya.
4. Model dengan kolom pasir pola segitiga + beban memiliki kinerja mengeluarkan air pori dari dalam tanah lunak yang paling baik dengan rerata kadar air pasir dan tanah lunak sebesar 2,30 % dan 73,32 %.
5. Saat proses konsolidasi berlangsung kadar air pasir mengalami peningkatan sedangkan kadar air tanah lunak mengalami penurunan untuk setiap model.
6. Susunan pola segitiga lebih efektif dibandingkan dengan pola bujur sangkar, hal ini dikarenakan pada susunan pola segitiga memiliki daerah kerja yang lebih rapat dibandingkan dengan pola bujur sangkar sehingga jalur resapan air yang lebih efektif dapat dicapai.
7. Selisih antara penurunan konsolidasi hasil pengamatan dengan analisis perhitungan yang berdekatan untuk setiap model menunjukkan adanya korelasi yang sama diantara keduanya.

REKOMENDASI

1. Dicoba bahan alternatif lain selain pasir sebagai media drainase vertikal.
2. Ketebalan pasir pada lapisan dasar dibuat bervariasi.
3. Media pasir yang digunakan sebagai bahan drainase vertikal dibuat dengan gradasi yang lebih spesifik dan bervariasi.

4. Dilakukan perhitungan parameter konsolidasi berdasarkan data pengamatan penurunan model di laboratorium yang telah dilakukan.
5. Dilakukan uji pendahuluan untuk menentukan jenis konsolidasi tanah dari sampel yang diambil.

REFERENSI

- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Teknik Fondasi I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2003. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Listyawan, A. B., Wiqoyah, Q., Renaningsih dan Satriyana, M. R. W. 2015. Pengaruh Kolom Pasir Terhadap Konsolidasi Tanah Lempung Lunak. *Eco Rekayasa*. 11 (1): 23-27.
- Prastyo, B., Setiawan, B. dan Indrabaskara, R. H. D. H. 2018. Pengaruh Kedalaman Drainase Vertikal Satu Arah Menggunakan Kolom Pasir Terhadap Kecepatan Penurunan dan Perubahan Kadar Air Tanah Lunak. *Matriks Teknik Sipil*. 6 (1): 79-84.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. dan Mesri, G. 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Trisatria, H., Setiawan, B. dan Djarwanti, N. 2018. Pengaruh Variasi Kolom Pasir Sebagai Drainase Vertikal Dua Arah pada Tanah Lunak. *Matriks Teknik Sipil*. 6 (1): 79-84. 49-55.