

**PERILAKU KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG DENGAN KOLOM PECAHAN BETON
SEBAGAI DRAINASE VERTIKAL****Anto Budi Listyawan^{1*}, Alva Rizki Syahputra²**^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A Yani Tromol Pos I, Pabelan, Surakarta, Jawa Tengah

*Email: Anto.Budi@ums.ac.id

Abstrak

Tanah lempung lunak mempunyai sifat kohesif, plastis, mempunyai daya dukung yang rendah, dan konsolidasinya sangat lambat. Salah satu metode perbaikan tanah yaitu menggunakan drainase vertikal dengan tujuan mempercepat laju konsolidasi sehingga pembangunan dapat dilaksanakan secepat mungkin. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan drainase vertikal berbahan pecahan beton yang disusun dengan pola bujur sangkar dan pola segitiga. Pengambilan sampel dilakukan di tengah empat kolom dan dua kolom pada pola bujur sangkar sedangkan pada pola segitiga variasi pengambilan sampel di tengah tiga kolom dan dua kolom, kemudian dilakukan pengujian konsolidasi. Uji fisis menunjukkan tanah di lokasi penelitian menurut AASHTO termasuk kelompok tanah A-7-6 dan menurut USCS termasuk tanah CH. Pada pola bujur sangkar sampel di tengah empat kolom didapatkan nilai C_v sebesar $0,000210 \text{ cm}^2/\text{s}$; nilai C_c sebesar $0,593$; nilai S_c sebesar $0,195$ dan pada sampel di antara dua kolom didapatkan nilai C_v sebesar $0,000173 \text{ cm}^2/\text{s}$; nilai C_c sebesar $0,640$; dan nilai S_c sebesar $0,220$. Pada pola segitiga sampel di tengah tiga kolom didapatkan nilai C_v sebesar $0,000141 \text{ cm}^2/\text{s}$; nilai C_c sebesar $0,663$; nilai S_c sebesar $0,243$ dan pada sampel di antara dua kolom didapatkan nilai C_v sebesar $0,000118 \text{ cm}^2/\text{s}$; nilai C_c sebesar $0,683$; dan nilai S_c sebesar $0,254$. Sehingga kolom pecahan beton dengan pola bujur sangkar lebih efisien sebagai drainase vertikal.

Kata Kunci : indeks pemampatan, koefisien konsolidasi, kolom pecahan beton, konsolidasi, pola bujur sangkar, pola segitiga

PENDAHULUAN

Tanah adalah bagian terpenting dari suatu pembangunan sipil karena merupakan unsur utama fondasi dalam suatu bangunan gedung maupun konstruksi jalan (Das, 1995). Ada dua jenis tanah yaitu tanah pasir dan tanah lempung. Jenis tanah tertentu dapat menimbulkan masalah apabila tanah memiliki sifat-sifat yang buruk seperti daya dukung yang rendah, kekuatan geser yang rendah dan potensi kembang susut yang besar (Hardiyatmo, 2002). Tanah lempung mempunyai sifat kohesif, plastis, dan mempunyai daya dukung yang rendah. Sifat-sifat tanah lempung yang tidak baik dapat menggunakan drainase vertikal dengan tujuan untuk mengeluarkan air yang ada di dalam pori-pori tanah kohesif secara cepat agar meningkatkan kuat geser tanah, mengurangi kompresibilitas tanah, dan mempercepat terjadinya *settlement* (Listyawan, 2017).

Dani (2018) melakukan penelitian konsolidasi tanah lempung lunak dengan Beton sebagai drainase vertikal, menggunakan diameter 10 cm, 15 cm, 20 cm, dengan variasi pengambilan sampel 16,68 cm, 33,34 cm, dan 50 cm. Menggunakan variasi diameter 20 cm lebih efektif daripada yang 10 cm dan 15 cm dengan nilai C_v 93,628%, C_c 58,115%, dan S_c 49,731%. Merdhiyanto (2015) meneliti penggunaan kolom pasir-kapur sebagai bahan drainase vertikal tanah lempung, menghasilkan nilai koefisien konsolidasi (C_v) yang semakin meningkat pada tanah yang dekat dengan kolom pasir-kapur, yaitu sebesar 547,856 %. Sedangkan nilai indeks pemampatan (C_c) dan penurunan konsolidasi (S_c) mengalami penurunan untuk tanah yang dekat dengan kolom pasir-kapur, C_c sebesar 27,141 % dan S_c sebesar 26,886 %. Penelitian lain telah dilakukan oleh Rini (2015) dengan judul "Perbandingan Konsolidasi Tanah Lempung Lunak yang Distabilisasi dengan Kolom Campuran Pasir Kapur dan Kolom Pasir Diatas Kapur" menghasilkan bahwa untuk uji sifat mekanis tanah, diperoleh nilai C_v mengalami peningkatan dengan persentase sebesar 644,184%. Nilai indeks pemampatan (C_c) mengalami penurunan yang sebesar 61,216%. Nilai penurunan konsolidasi (S_c) juga mengalami penurunan sebesar 63,781%. Kemudian Erlambang (2018) melakukan penelitian dengan judul "Analisis Konsolidasi dan Penurunan Tanah Lempung dengan Kolom Serbuk Bata Merah sebagai Drainase Vertikal" menggunakan diameter kolom 10 cm, 15 cm, dan 20 cm. Kolom

dengan diameter 20 cm paling baik digunakan untuk drainase vertikal dengan nilai C_v sebesar 73,848%; nilai C_c sebesar 22,730%; dan nilai S_c sebesar 51,633%.

Penelitian-penelitian terdahulu dilakukan dengan bahan kolom drainase vertikal dari pasir dan kapur, karenanya penelitian ini mencoba menggunakan alternatif bahan kolom drainase vertikal menggunakan pecahan beton sebagai jalur untuk mengeluarkan air yang ada di dalam tanah dengan memberikan beban di atas tanah tersebut dengan susunan pola bujur sangkar dan segitiga. Pecahan beton yang digunakan merupakan limbah beton yang sudah tidak terpakai. Menggunakan kolom pecahan beton karena mempunyai permeabilitas tinggi yang mampu meloloskan sejumlah partikel yang melaluinya.

Konsolidasi Tanah

Konsolidasi merupakan suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah sebagai akibat keluarnya air yang menempati pori-pori tanah. Proses tersebut berlangsung terus sampai kelebihan tekanan pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar-benar hilang. Uji konsolidasi di laboratorium berlangsung dalam satu arah, yaitu vertikal karena lapisannya yang terkena tambahan beban ini tidak dapat bergerak kedalam arah horisontal. Penerapannya di lapangan, tanah tersebut ditahan tanah sekelilingnya. Sehingga pengaliran air akan berjalan dalam satu arah vertikal saja atau disebut konsolidasi satu dimensi (*one dimensional consolidation*).

Fase dalam proses konsolidasi pada tanah yang mengalami pembebanan di atasnya terbagi menjadi tiga yaitu sebagai berikut.

1) *Penempatan awal (initial compression)*

Penempatan yang pada umumnya disebabkan oleh pembebanan awal (*preloading*) akan menghasilkan keadaan tegangan total dengan air pori dalam menahan sebagian besar beban yang bekerja. Pada suatu waktu tertentu, tekanan air pori yang berlebihan akan terdrainase, kemudian beban akan ditahan oleh kerangka tanah atau suatu keadaan tegangan efektif.

2) *Konsolidasi primer (primary consolidation)*

Konsolidasi primer adalah penurunan yang berjalan akibat pengaliran dari tanah dengan demikian penurunan ini adalah akibat penurunan tegangan efektif.

3) *Konsolidasi sekunder (secondary consolidation)*

Konsolidasi sekunder merupakan penurunan yang masih berjalan setelah konsolidasi primer selesai, yaitu setelah tidak terdapat lagi tegangan air pori dan berlangsung dalam waktu yang lama serta nilainya kecil.

Indeks Pemampatan Tanah (*compression indeks, C_c*)

Pada setiap pembebanan dalam konsolidasi, tanah akan mengalami pengurangan angka pori yang menyebabkan tebal tanah berkurang atau terjadi penurunan. Besarnya nilai penurunan atau biasa disebut indeks pemampatan, dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \frac{p_2}{p_1}} \quad (1)$$

dengan :

C_c = *compression index*, diperoleh dari pengujian laboratorium

e_1 = angka pori pada tekanan p_1

e_2 = angka pori pada tekanan p_2

p_1 = tekanan efektif pada tanah *compressible* awal pengujian (kg/cm^2)

p_2 = tekanan efektif pada tanah *compressible* akhir pengujian (kg/cm^2)

Koefisien Konsolidasi Tanah (*coefficient of consolidation, C_v*)

Koefisien konsolidasi menunjukkan lama waktu atau kecepatan konsolidasi hingga selesai. Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan koefisien konsolidasi (*coefficient of consolidation, C_v*). *Coefficient of consolidation* dicari untuk setiap tahap pembebanan pada percobaan konsolidasi di laboratorium.

Untuk menentukan koefisien konsolidasi C_v terdapat 2 cara, yaitu menggunakan Metode Kecocokan Log-Waktu (Casagrande, 1940) dan Metode Akar Waktu (Taylor, 1948). Pada penelitian

ini menggunakan Metode Akar Waktu. Koefisien konsolidasi C_{v90} dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t_{90}} \quad (2)$$

dengan: T_v = time factor (bilangan tak berdimensi)
 t_{90} = waktu konsolidasi (detik)
 C_v = coefficient of consolidation (cm^2/dt)
 H = panjang lintasan keluarnya air dari pori tanah atau tebal tanah (cm)

Penurunan Konsolidasi (S_c)

Besar nilai S_c adalah berkurangnya ketinggian tanah karena penurunan angka pori. Sedangkan besarnya penurunan konsolidasi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S_c = H \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \quad (3)$$

dengan : S_c = penurunan konsolidasi (cm)
 H = tebal lapisan (cm)
 e_0 = besarnya angka pori awal pengujian
 e_1 = besarnya angka pori akhir pengujian

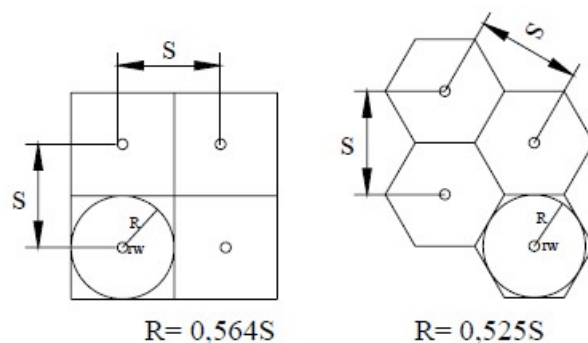
Drainase Vertikal

Laju konsolidasi yang rendah pada lempung jenuh dengan permeabilitas rendah, dapat dinaikkan dengan menggunakan drainase vertikal (*vertical drain*) yang memperpendek lintasan pengaliran dalam lempung. Kemudian konsolidasi terutama diperhitungkan akibat pengaliran horizontal radial, yang menyebabkan disipasi kelebihan tekanan air pori yang lebih cepat, pengaliran vertikal kecil pengaruhnya. Dalam teori, besar penurunan konsolidasi akhir adalah sama, hanya laju penurunannya yang terpengaruh. Karena tujuannya adalah untuk mengurangi panjang lintasan pengaliran, maka jarak antara drainasi merupakan hal yang terpenting. Drainasi tersebut biasanya diberi jarak dengan pola bujur sangkar atau segitiga. Jarak antara drainasi tersebut harus lebih kecil daripada tebal lapisan lempung dan tidak ada gunanya menggunakan drainasi vertikal dalam lapisan lempung yang relatif tipis.

Untuk mendapatkan desain yang baik, koefisien konsolidasi horisontal dan vertikal (C_h dan C_v) yang akurat sangat penting untuk diketahui. Biasanya rasio C_h/C_v terletak antara 1 dan 2, semakin tinggi rasio ini, pemasangan drainasi semakin bermanfaat. Nilai koefisien untuk lempung di dekat drainasi kemungkinan menjadi berkurang akibat proses peremasan (*remoulding*) selama pemasangan (terutama bila digunakan paksi), pengaruh tersebut dinamakan pelumasan (*smear*). Efek pelumasan ini dapat diperhitungkan dengan mengasumsikan suatu nilai C_h yang sudah direduksi atau dengan menggunakan diameter drainasi yang diperkecil.

Masalah lainnya adalah diameter drainasi pasir yang besar cenderung menyerupai tiang-tiang yang lemah, yang mengurangi kenaikan tegangan vertikal dalam lempung sampai tingkat yang tidak diketahui dan menghasilkan nilai tekanan air pori berlebihan yang lebih rendah dan begitu pula halnya dengan penurunan konsolidasi. Efek ini minimal bila menggunakan drainasi cetakan karena fleksibilitasnya. Jari-jari lubang bor atau tiang pasir (r_d) biasanya dibuat antara 15-30 cm dengan jarak antar lubang 1,5-4,5 m tergantung jenis tanah yang akan dipercepat konsolidasinya. Setiap lubang bor mempunyai jari-jari pengaruh yang besarnya tergantung dari pola susunan lubang bor tersebut. Untuk pola susunan bujur sangkar jari-jari pengaruh $R = 0,564s$, sedangkan untuk pola susunan segitiga sama sisi, jari-jari pengaruh $R = 0,525s$ dengan s adalah jarak antarlubang bor.

Pengalaman menunjukkan bahwa drainasi vertikal tidak baik untuk tanah yang memiliki rasio kompresi sekunder yang tinggi, seperti lempung yang sangat plastis dan gambut, karena laju konsolidasi sekunder tidak dapat dikontrol oleh drainase vertikal. Pada prinsipnya drainase ini dapat dikatakan menjamin aliran air tanpa hambatan atau dapat dikatakan kecil ke arah vertikal yaitu ke arah lapisan porus yang berada di atas muka tanah atau bahkan dua lapisan porus di atas dan di bawah lapisan lunak (berada dalam tanah) dan juga tidak menimbulkan masalah pada bidang kontak antara tanah dan *drain*.



Gambar 1. Pola Susunan Kolom Drainase Vertikal

METODE PENELITIAN

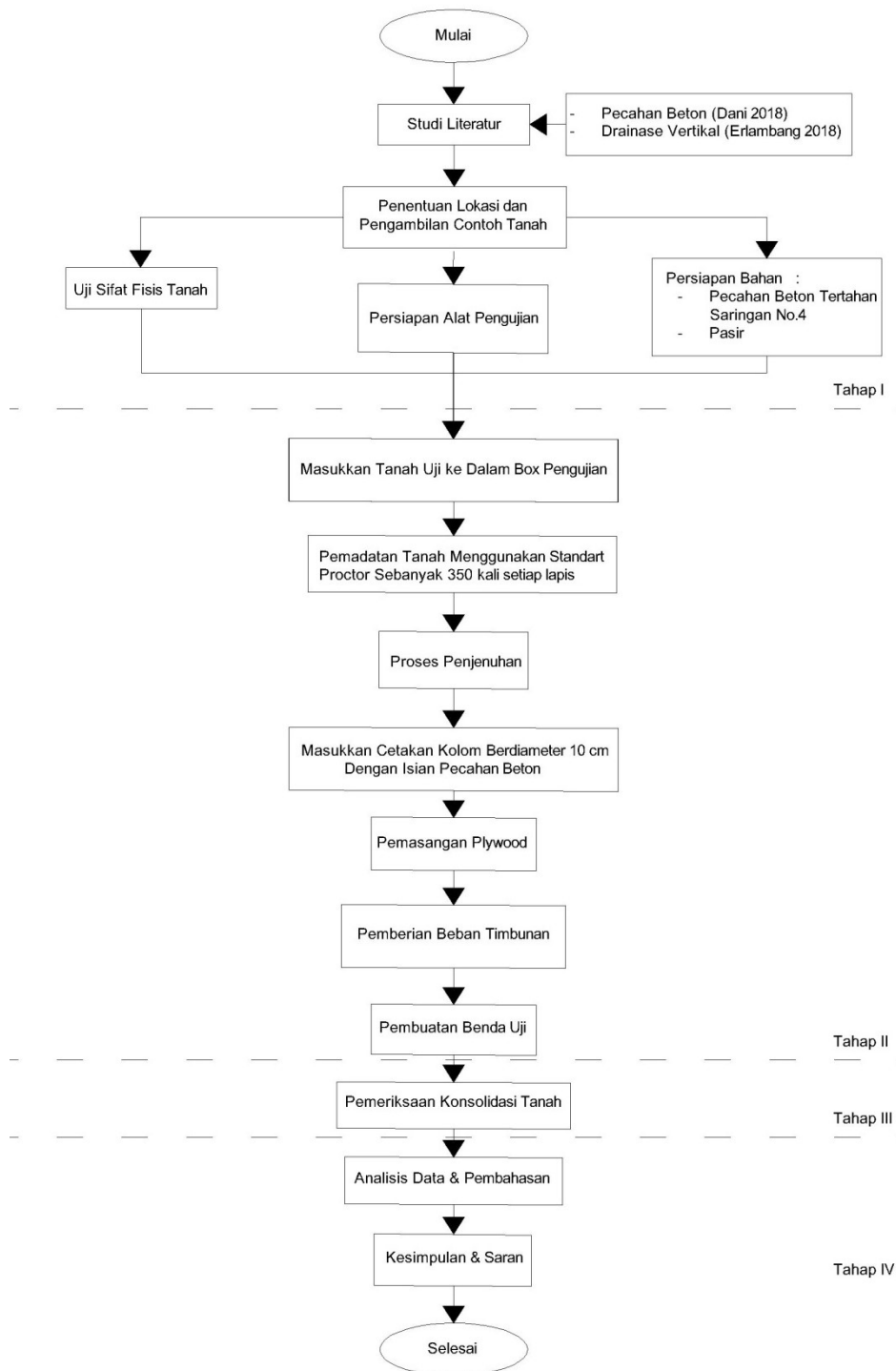
Pada penelitian ini karakteristik tanah yang akan diteliti perlu dilakukan beberapa pengujian. Pengujian tanah yang dilakukan yaitu uji berat jenis, kadar air, batas-batas atterberg, analisa saringan dan hydrometer dan uji konsolidasi tanah (*consolidation test*) dengan pola bujur sangkar dan segitiga. Penelitian ini menggunakan bahan atau material utama yaitu tanah lempung, yang mana tanah lempung tersebut diambil dari Desa Troketon, Kecamatan Pedan, Kabupaten Klaten. Selain tanah penelitian ini juga menggunakan pecahan beton sebagai drainase vertikal. Terdapat juga drainase horizontal berupa pasir yang berasal dari lereng merapi yang didapatkan dari toko bangunan terdekat. Air sebagai materi untuk menjenuhkan tanah lempung berasal dari Laboratorium Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Tempat pengujian berupa box uji dari baja dengan panjang 120 cm, lebar 120 cm, dan tinggi 50 cm. Dibagian bawah kotak pengujian diberi lubang yang dapat dibuka dan ditutup untuk memudahkan saat akan mengatur keluarnya air. Secara lebih rinci dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Box Uji saat penjenuhan tanah lempung

Tahapan penelitian secara singkat dan rinci dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat fisis tanah lempung

Berat Jenis dan Plastisitas

Tanah lempung memiliki berat jenis sebesar 2,78, sedangkan uji batas-batas Atterberg menunjukkan nilai $SL = 19,62\%$; $PL = 27,96\%$; $LL = 62,55\%$; $PI = 34,59\%$. Berarti tanah termasuk tanah lempung yang bersifat kohesif dan mempunyai plastisitas tinggi.

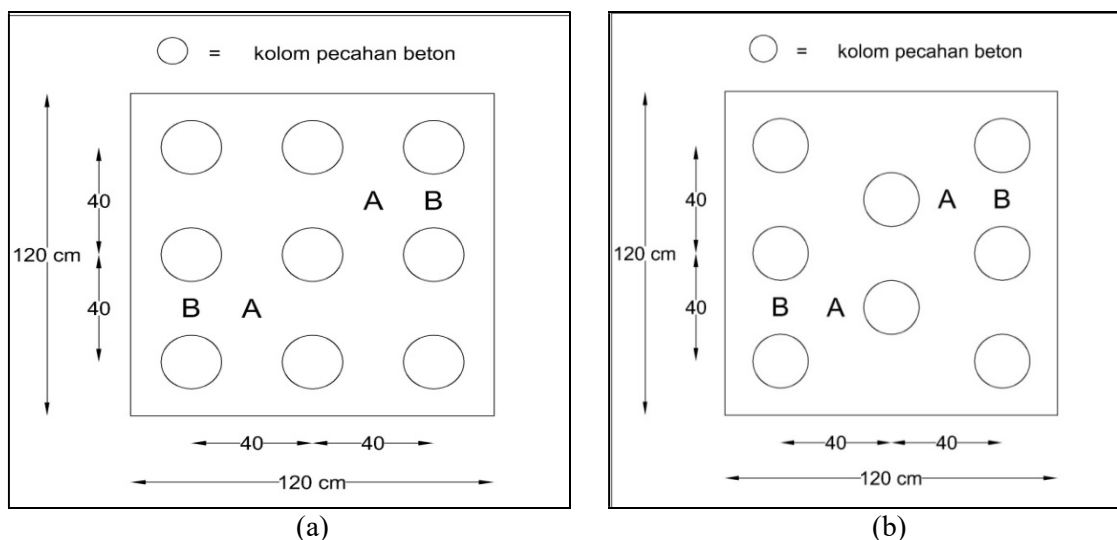
Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah menurut AASHTO tanah lolos saringan No.200 yaitu 61% lebih besar dari 35% termasuk kelompok tanah A-4; A-5; A-6; A-7. Nilai batas cair (LL) yaitu 62,55% termasuk dalam kelompok tanah A-5 dan A-7. Nilai indeks plastis (PI) yaitu 34,59% termasuk dalam kelompok tanah A-6 dan A-7. Nilai indeks kelompok (GI) yaitu 19 termasuk dalam kelompok tanah A-7. Untuk nilai batas plastis (PL) yaitu 27,96 kurang dari 30 maka termasuk dalam kelompok tanah A-7-6, yaitu tanah berlempung sedang sampai buruk untuk pekerjaan jalan raya.

Klasifikasi tanah menurut USCS tanah lolos saringan No.200 yaitu 61% lebih dari 50% termasuk tanah berbutir halus. Nilai batas cair (LL) yaitu 62,55% termasuk tanah lempung dan lanau. Nilai batas cair (LL) lebih dari 50% termasuk tanah kelompok golongan CH yaitu lempung anorganik berplastisitas tinggi.

Uji Konsolidasi

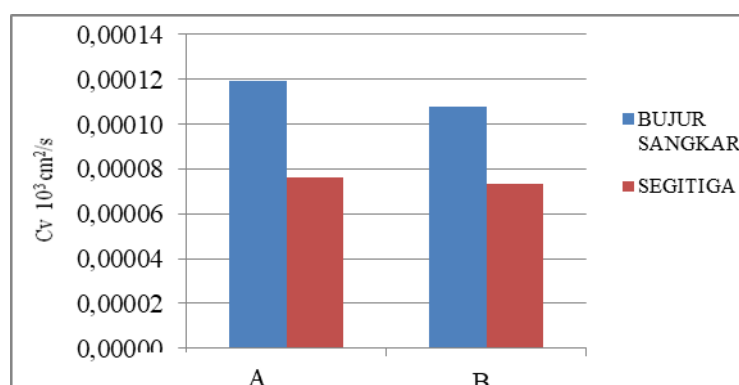
Titik pengambilan sampel uji konsolidasi bisa dilihat di Gambar 4.



Gambar 4. Titik Pengambilan Sampel: (a) Pola susunan bujur sangkar; (b) Pola susunan segitiga

Koefisien Konsolidasi (C_v)

Sampel tanah diambil pada titik tengah antara empat kolom sebanyak dua sampel dan titik tengah antara dua kolom sebanyak dua sampel pada pola segitiga dan bujur sangkar. Hasil koefisien konsolidasi (C_v) pola segitiga dan bujur sangkar dapat dilihat Gambar 5.

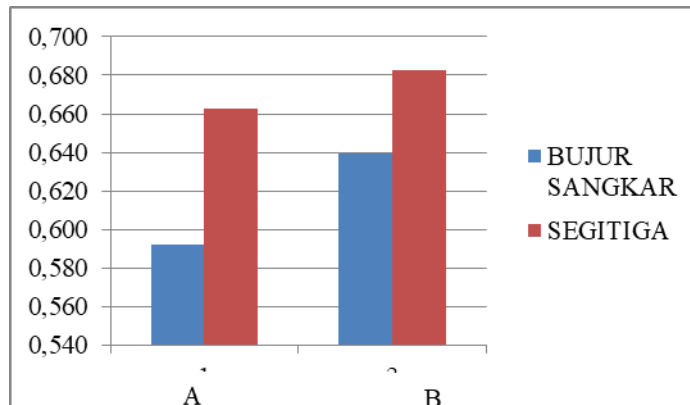


Gambar 4. Perbandingan Nilai C_v pada $P = 0,15 \text{ kg/cm}^2$ antara Pola Bujur Sangkar dan Pola Segitiga.

Dari Gambar 4, didapatkan bahwa pola bujur sangkar sampel A mempunyai nilai koefisien konsolidasi lebih besar daripada sampel B. Pada pola segitiga sampel A mempunyai nilai koefisien lebih besar daripada sampel B. Pada penelitian ini sampel A yang terletak di atas empat kolom mempunyai nilai koefisien konsolidasi yang paling besar karena air keluar lebih cepat melalui empat kolom dibandingkan dengan sampel B yang terletak di atas dua kolom, air yang keluar hanya melalui dua kolom. Perbandingan pola bujur sangkar dan pola segitiga lebih efisien menggunakan pola bujur sangkar karena mempunyai jumlah kolom yang lebih banyak untuk mengeluarkan air.

Indeks Pemampatan (C_c)

Nilai indeks pemampatan (C_c) yang diperoleh dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.

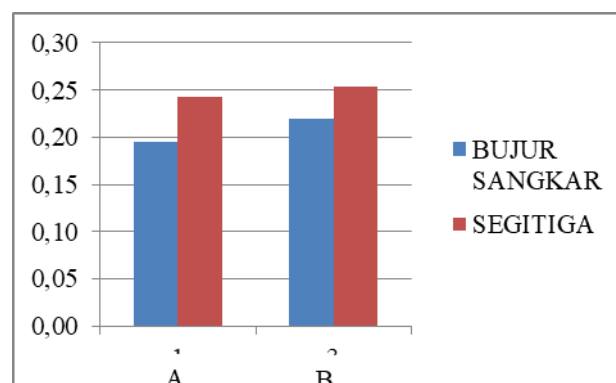


Gambar 5. Perbandingan Nilai C_c antara Pola Bujur Sangkar dengan Pola Segitiga

Dari Gambar 5, didapatkan bahwa indeks pemampatan pada pola bujur sangkar lebih kecil daripada pola segitiga. Pada penelitian ini nilai indeks pemampatan paling besar pada sampel B yang terletak di atas dua kolom pada pola segitiga dan nilai indeks pemampatan semakin kecil maka nilai koefisien konsolidasinya semakin besar. Semakin cepat proses konsolidasi mengakibatkan proses pemampatan tanah menjadi kecil sehingga nilai C_c nya juga menjadi kecil.

Penurunan Konsolidasi (S_c)

Nilai penurunan konsolidasi (S_c) yang diperoleh dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan Nilai S_c antara Pola Bujur Sangkar dan Pola Segitiga

Dari Gambar 6, didapatkan bahwa pada pola segitiga karena terjadi penurunan yang lebih besar. Semakin cepat proses konsolidasi mengakibatkan proses penurunan konsolidasi berkurang sehingga nilai S_c nya juga menjadi kecil.

KESIMPULAN

Nilai C_v titik pengambilan sampel A lebih besar daripada titik pengambilan sampel B karena air yang terdrainase lebih banyak melalui tiga/empat kolom tersebut daripada dua kolom. Sedangkan nilai C_c dan S_c sampel di titik A lebih kecil daripada di titik B, hal ini membuktikan bahwa semakin besar nilai C_v maka nilai C_c dan S_c akan semakin kecil.

Nilai C_v pada pola bujur lebih besar daripada nilai C_v pada pola segitiga, karena air yang terdrainase lebih banyak melalui pola bujur sangkar. Sedangkan nilai C_c dan S_c pada pola bujur sangkar lebih kecil daripada nilai C_c dan S_c pada pola segitiga, menandakan bahwa pecahan beton dan jumlah kolom pada pola bujur sangkar mempercepat konsolidasi tanah di Desa Troketon, Kecamatan Pedan, Kabupaten Klaten.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Muhammadiyah Surakarta, atas pendanaan yang diberikan melalui skema PEREKOM demi berlangsungnya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 1981. *Annual Book of ASTM*, Philadelphia, USA.
- Das, B.M.1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Listyawan, AB, dkk., 2017. *Mekanika Tanah dan Rekayasa Pondasi*, Muhammadiyah University Press, Surakarta
- Merdhiyanto, P. 2015. “*Sand-Lime Column Stabilization On The Consolidation Of Soft Clay Soil*”.Tugas Akhir S1 Teknik Sipil.Surakarta: Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rini, R. E. 2015. “Perbandingan Konsolidasi Tanah Lempung Lunak Yang Distabilisasi Dengan Kolom Campuran Pasir Kapur dan Kolom Pasir di atas Kapur”.Tugas Akhir S1 Teknik Sipil.Surakarta: Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Dani, D. R. 2018. *Analisis Konsolidasi Tanah Lempung Lunak Dengan Limbah Beton Sebagai Drainase Vertikal*, Tugas Akhir, S1 Teknik Sipil.Surakarta: Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Erlambang, D. P. P. 2018. “Analisis Konsolidasi dan Penurunan Tanah Lempung Dengan Kolom Serbuk Bata Merah”.Tugas Akhir S1 Teknik Sipil.Surakarta: Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.