

# STUDI CAMPURAN KAPUR PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP PERMEABILITAS DAN KECEPATAN KONSOLIDASI (Studi Kasus Tanah Desa Cot Girek Kandang Kecamatan Muara Dua Kabupaten Aceh Utara)

Abdul Jalil<sup>1)</sup>, Hajjul Fajrina<sup>2)</sup>

Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh

email: [jalilabdul@gmail.com](mailto:jalilabdul@gmail.com), [hajjul\\_fajrina@yahoo.com](mailto:hajjul_fajrina@yahoo.com)

## Abstrak

Tanah lempung di desa Cot Girek Kandang kecamatan Muara Dua Aceh Utara cenderung tidak stabil karena sering mengalami kelongsoran pada musim hujan. Penstabilan tanah dengan kapur dolomit  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  lebih dipilih karena kepadatan dan kekerasannya yang dapat meningkat. Tujuan pencampuran ini adalah menentukan nilai  $C_v$  (koefisien konsolidasi). Benda uji meliputi tanah tak terganggu dan tak terganggu yang dibentuk melalui pemadatan proctor dengan persentase kapur 5%, 7,5%, dan 10% dengan jumlah benda uji 4 buah. Campuran kapur pada tanah lempung ini dapat menurunkan nilai  $C_v$  hingga  $2,33 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{min}$  pada beban terberat yaitu 8 kg dengan persentase 5% kapur dibanding pada tanah asli yaitu  $1,294 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{min}$  dan 0% kapur sebesar  $1,296 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{min}$  pada beban yang sama. Pada 7,5% dan 10% kapur  $C_v$  kembali meningkat menjadi  $1,23 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{menit}$  dan  $3,9 \times 10^{-2}$  pada beban 8 kg. Dengan demikian pada campuran tanah dengan 5% kapur adalah yang paling baik.

Kata kunci: Tanah lempung, kapur dolomit, koefisien konsolidasi, triaxial

## 1. Pendahuluan

Sebelum suatu struktur dibangun hendaknya dilakukan penyelidikan tanah. Penyelidikan tanah ini sangatlah penting mengingat keamanan struktur di atasnya. Karakteristik tanah di suatu daerah dengan daerah lain di Indonesia sangat beragam. Contohnya tanah di Desa Cot Girek Kandang Kec. Muara Dua Aceh Utara. Kondisi tanah di daerah tersebut sering mengalami kelongsoran, sehingga tidak memungkinkan membangun suatu struktur di atasnya. Namun, ada beberapa cara yang digunakan untuk menstabilisasi tanah, di antaranya : menstabilisasi dengan cara kimia, yaitu dengan menambahkan bahan kimia (Muhammad Jafri, 2012). Salah satu penstabilan pada tanah lempung yang bermasalah adalah dengan menambah kapur. Jenis tanah yang paling sesuai dengan bahan stabilisasi kapur adalah tanah lempung berat (heavy clay soils) sementara pada tanah yang sedikit atau tidak mengandung lempung sama sekali (tanah butiran) tidak terlalu berpengaruh. Pada tanah yang mengandung lempung, kapur akan segera bereaksi membentuk suatu struktur campuran yang stabil. Hasil campurannya juga akan bersifat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Struktur tanah merupakan karakteristik fisik tanah yang terbentuk dari komposisi antara agregat (butir) tanah dan ruang antar agregat. Tanah tersusun dari tiga fase, yaitu fase padat, fase cair dan fase gas. Salah satu jenis tanah yang mudah ditemukan adalah tanah lempung yang merupakan partikel mineral yang berkerangka dasar silikat.

Seperti yang diketahui bahwa konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Proses tersebut berlangsung terus-menerus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan efektif benar-benar hilang. Pada penelitian ini tanah lempung juga akan diuji permeabilitasnya dengan campuran kapur. Kapur yang akan digunakan adalah kapur dolomite. Kapur dolomite lebih dipilih untuk konstruksi dan aplikasi produk bangunan karena kekerasan dan kepadatannya meningkat.

## 2. Tinjauan Kepustakaan

### 2.1 Stabilisasi Tanah Lempung

Menurut Bowles (1993) bahwa penentuan jenis tanah atau klasifikasi tanah berdasarkan pemakaian lebih memadai bagi keperluan teknik. Hal ini disebabkan karena dasar klasifikasi memperhitungkan sifat-sifat fisis tanah disamping persentase ukuran butiran. Tanah dapat diklasifikasi secara umum sebagai tanah kohesif dan tanah tidak kohesif atau berbutir halus dan berbutir kasar. Karena itu metode yang paling umum digunakan sebagai dasar klasifikasi dalam mekanika tanah adalah system American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) dan system klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS) (juga ASTM). Kedua sistem tersebut mengelompokkan tanah berdasarkan distribusi ukuran butir dan batas-batas Atterberg.

Menurut Mitchell (1976), partikel lempung berukuran sangat kecil (kurang dari 0,002 mm), merupakan partikel aktif secara elektrokimiawi yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron. Tanah lempung disebut juga tanah kohesif, yaitu tanah dengan nilai kohesi (gaya tarik menarik antar partikel) tinggi, selain itu bersifat kembang susut, plastis yang umumnya dinyatakan dengan konsistensi tanah.

R. F. Craig (1987), permukaan mineral lempung mengandung muatan listrik tambahan yang bersifat negative, terutama akibat substitusi isomorfosis dari atom-atom aluminium atau silicon oleh atom-atom dengan valensi yang lebih rendah. Menurut Ingles dan Metcalf (1972) stabilitas tanah lempung yang murah dan efektif adalah dengan menambahkan bahan kimia tertentu, dengan penambahan bahan kimia dapat mengikat mineral lempung menjadi padat, sehingga mengurangi kembang susut tanah lempung.

### 2.2 Kapur Dolomit

Dolomit diberi nama untuk 20 mineralogy Perancis *Deodat de Dolomieu*. Dolomit mineral umumnya ditemukan dalam deposit dari batuan sedimen yang disebut *dolostone*. Ada dua jenis bahan yang sering disebut dolomite, sebuah kimia kalsium magnesium karbonat benar seragam dengan rumus kimia  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  dan kapurdolomitik, yang hanya campuran tidak teratur kalsium karbonat dan magnesium.



Gambar 1 Kapur Dolomit

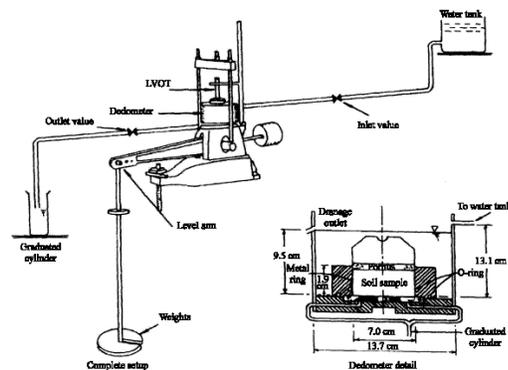
Dolomit dipilih untuk konstruksi dan aplikasi produk bangunan yang disebabkan karena kekerasannya meningkat dan kepadatan. Aspal dan beton lebih memilih aplikasi dolomite sebagai pengisi karena kekuatan tinggi dan kekerasan. Dolomit juga digunakan dalam beberapa aplikasi sebagai sumber magnesium seperti kaca dan pembuatan keramik, serta agen sintering dalam pembuatan pellet bijih besi dan sebagai agen fluks dalam pembuatan baja. Standart tentatif valume kapur untuk tanah berkerikil 2-5 %, untuk tanah lanau dan tanah lempung 4-8%, tanah lempung dengan debu vulkanis 6-10 % , sedangkan tanah kohesif 8-12%.

### 2.3 Konsolidasi

Pada umumnya konsolidasi ini akan berlangsung dalam satu jurusan saja, yaitu secara vertical. Karena lapisan yang terkena beban itu tidak dapat bergerak dalam jurusan horizontal (ditahan oleh tanah sekelilingnya). Dalam hal ini ada dua hal yang perlu diketahui mengenai penurunan konsolidasi, yaitu:

1. besarnya penurunan yang akan terjadi
2. kecepatan penurunan ini

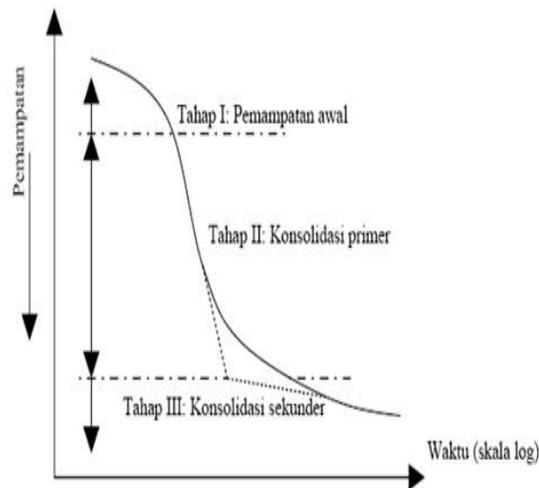
Jangka waktu terjadinya penurunan konsolidasi tergantung pada bagaimana cepatnya tekanan pori yang berlebihan akibat beban yang bekerja dapat dihilangkan. Karena koefisien permeabilitas merupakan factor penting, disamping penentuan berapa jauh jarak air pori yang harus dikeluarkan dari pori-pori yang ukurannya bertambah kecil untuk meniadakan tekanan yang berlebihan.



Gambar 2 Oedometer

Menurut Das 1993 dan Bowles 1997, mengatakan bahwa suatu lapisan tanah lempung jenuh air yang kompressible diberi penambahan tegangan, maka penurunan (*settlement*) akan terjadi segera. Koefisien rembesan lempung adalah sangat kecil dibandingkan dengan koefisien rembesan pasir sehingga penambahan tekanan air pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang secara lambat laun dalam waktu yang lama. Dapat disimpulkan ada tiga tahapan pemampatan selama konsolidasi yaitu:

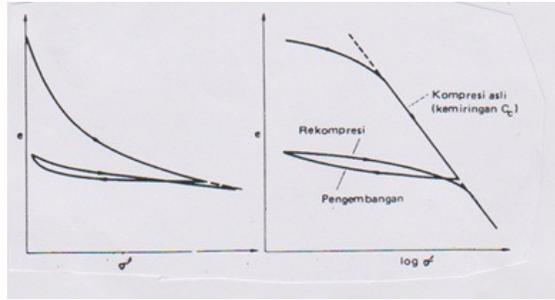
- tahap I: pemampatan awal, yang pada umumnya disebabkan oleh pembebanan awal.
- tahap II: konsolidasi primer, yaitu periode selama tekanan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif sebagai akibat dari keluarnya air pori dari pori-pori tanah.
- tahap III: konsolidasi sekunder yang terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. Pemampatan yang terjadi disini adalah disebabkan oleh penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.



Gambar 3 Penurunan Konsolidasi (R. F Craig, 1986)

### 2.3.1 Karakteristik kompresibilitas

Suatu plot tipikal angka pori ( $e$ ) sesudah konsolidasi terhadap tegangan efektif ( $\sigma'$ ) untuk lempung jenuh diperlihatkan pada Gambar 4 plot tersebut memperlihatkan kompresi awal yang diikuti oleh pemuaian (expansion) dan rekompresi. Bentuk kurva tersebut berkaitan dengan sejarah tegangan lempung tersebut. Hubungan  $e - \log \sigma'$  untuk tanah lempung terkonsolidasi normal adalah linier (atau hampir linier) dan disebut garis kompresi asli. Bila lempung tersebut terkonsolidasi berlebihan, keadaannya akan diwakili oleh sebuah titik pada bagian pengembangan atau rekompresi plot  $e - \log \sigma'$ . Kurva rekompresi akhirnya bergabung dengan garis kompresi asli kemudian keompresi selanjutnya terjadi pada garis tersebut. Selama kompresi terjadi perubahan struktur aslinya selama pengembangan. Plot tersebut memperlihatkan bahwa lempung yang konsolidasi berlebihan lebih tidak kompresibel dibandingkan dengan lempung yang sama dalam keadaan terkonsolidasi normal.



Gambar 4 Hubungan Angka Pori- Tegangan Efektif

**2.3.2 Penentuan koefisien konsolidasi**

Nilai  $C_v$  untuk suatu kenaikan tekanan tertentu dalam uji oedometer dapat ditentukan dengan membandingkan karakteristik kurva-kurva konsolidasi eksperimental dan teoritis, prosedur ini dinamakan pencocokan kurva. Karakteristik kurva- kurva tersebut akan diperoleh secara jelas bila diplot terhadap skala akar pangkat dua atau skala logaritmis. Bila nilai  $C_v$  telah diperoleh, kemudian dapat dihitung koefisien permeabilitas dari persamaan:

$$C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} \dots\dots\dots (1)$$

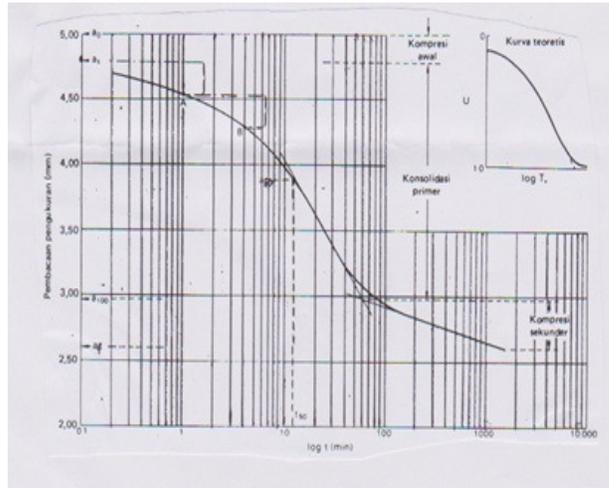
**A. Metode Logaritma Waktu**

Bentuk kurva eksperimental dan teoritis diperlihatkan pada Gambar 5 kurva eksperimental tersebut didapat dari hasil plot pembacaan arloji pengukur dalam uji oedometer terhadap logaritma waktu dalam menit. Kurva teoritis merupakan plot dari tingkat konsolidasi rata- rata terhadap factor logaritma waktu. Kurva teoritis terdiri dari tiga bagian: bagian awal yang hampir parabol, bagian linier dan kurva akhir dimana sumbu horizontalnya asimtot pada  $U = 1,0$  (atau 100% ). Pada kurva eksperimental titik yang sesuai dengan  $U = 0$  dapat ditentukan berdasarkan fakta bahwa bagian awal dari kurva mewakili hubungan yang hampir parabol antara kompresi dan waktu. Dari kurva tersebut dipilih dua buah titik (A dan B pada gambar 2.5) yang memiliki nilai  $t$  dalam perbandingan 4:1, dan kemudian diukur jarak vertical antara titik- titik tersebut. Suatu jarak yang sama dengan jarak vertical tersebut diletakkan di atas titik pertama dan didapat titik ( $a_s$ ) yang sesuai dengan  $U= 0$ . Sebagai pemeriksaan, prosedur diatas diulang kembali dengan pasangan- pasangan titik yang berbeda. Titik yang sesuai dengan  $U = 0$  biasanya tidak sama dengan titik ( $a_0$ ) yang mewakili pembacaan arloji pengukur awal. Bagian akhir dari kurva eksperimental tersebut linier tetapi tidak horizontal dan titik ( $a_{100}$ ) yang sesuai dengan  $U = 100\%$  diambil sebagai titik potong dari dua bagian linier dari kurva tersebut. Kompresi antara titik  $a_c$  dan  $a_{100}$  disebut konsolidasi primer. Setelah melebihi titik perpotongan tersebut, kompresi berlangsung terus dengan laju yang sangat rendah selama periode waktu yang tidak tertentu dan disebut kompresi sekunder.

Titik yang sesuai dengan  $U = 50\%$  merupakan pertengahan antara titik- titik  $a_s$  dan  $a_{10}$  dan kemudian didapat waktu  $t_{50}$ . Nilai  $T_v$  yang sesuai dengan  $U = 50\%$  adalah 0,196 dan keefisien konsolidasinya adalah sebesar:

$$C_v = \frac{0,196d^2}{t_{50}} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai d diambil sebesar setengah dari tebal contoh tanah rata- rata untuk kenaikan tekanan tertentu.



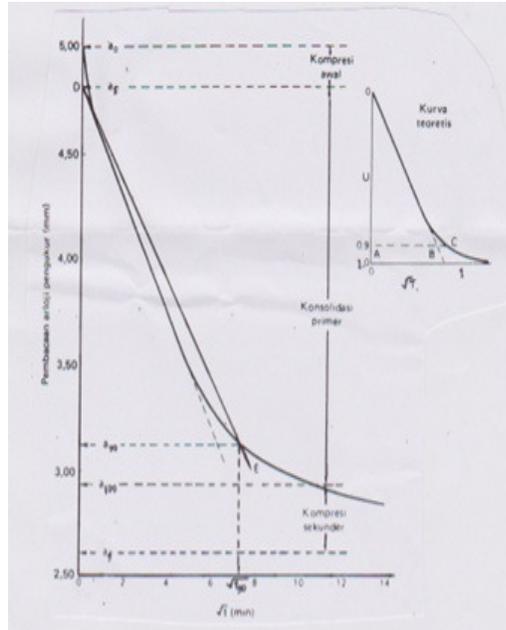
Gambar 5 Metode Logaritma Waktu (R. F Craig, 1986)

B. Metode Akar Waktu

Gambar 6 menunjukkan bentuk- bentuk kurva eksperimental dan teoritis, pembacaan arloji pengukur di plot terhadap akar waktu dalam menit dan tingkat konsolidasi rata- rata diplot terhadap factor akar waktu. Kurva teoritis tersebut linier sampai konsolidasi mencapai kurang lebih 60% dan pada saat konsolidasi mencapai 90%, absis AC adalah 1,15 kali absis AB dari bagian linier kurva. Karakteristik ini digunakan untuk menentukan titik yang sesuai dengan U = 90% pada kurva eksperimental.

Kurva eksperimental biasanya terdiri dari sebuah kurva pendek yang mewakili kompresi awal, bagian yang linier dan kurva kedua. Titik yang sesuai dengan U=0 (D) didapat dengan memperpanjang bagian linier dari kurva tersebut sampai ordinat pada waktu nol. Suatu garis DE kemudian digambar dengan absis 1,15 kali absis bagian linier dari kurva eksperimental tersebut. Perpotongan garis DE dengan kurva eksperimental tersebut merupakan titik yang sesuai dengan U = 90% (a90) dan nilai  $\sqrt{t_{90}}$  dapat ditentukan. Nilai Tv yang sesuai untuk U = 90% adalah 0,18 dan koefisien konsolidasi adalah:

$$C_v = \frac{0,848d^2}{t_{90}} \dots\dots\dots (3)$$



Gambar 6 Metode Akar Waktu (R. F Craig, 1986)

#### 2.4 Uji Triaxial

Menurut Bowles, uji triaksial dianggap sebagai suatu uji yang menghasilkan parameter- parameter dan data tegangan regangan yang terbaik (untuk  $E_s$ ,  $\mu$  dan  $G_s$ ). Uji triaxial berkaitan erat dengan kuat geser tanah atau tegangan geser. Tegangan geser yaitu gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

- Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya
- Gesekan antar butir – butir tanah

Sampel tanah dibungkus dengan karet tipis (membran) sehingga air tidak dapat keluar, kemudian dimasukkan kedalam silinder yang diberi air dan tekanan, sehingga air akan masuk kesegala arah ( $\sigma_3$ ). Dari atas sampel tanah ditekan dengan beban P yang berangsur-angsur dinaikkan, maka rumus uji triaksial di perlihatkan pada persamaan 4 Maka:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} + \sigma_3 \dots\dots\dots (4)$$

di mana:

- P/A adalah tekanan deviator
- $\sigma_3$  adalah tegangan sel dan besarnya konstan

Untuk mencari c dan  $\phi$  semua berdasarkan tekanan total dalam hal ini kran ditutup, sehingga air dalam tanah tidak dapat keluar. (*Undrained*) Beban P baru diberikan setelah  $\sigma_3$  bekerja, sehingga tidak memberikan kesempatan pada tanah berkonsolidasi (*Unconsolidated*).

### 3. Metode Penelitian

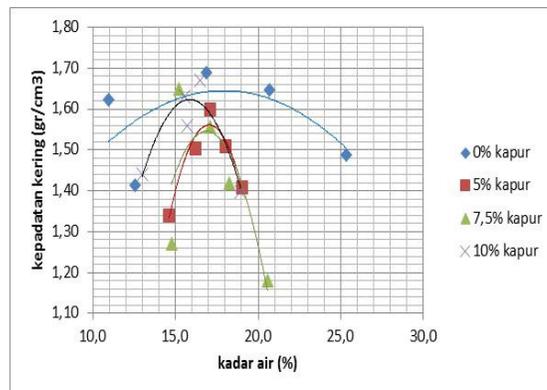
#### 3.1 Rancangan Penelitian

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung yang sering mengalami kelongsoran di desa Cot Girek Kandang kecamatan. Muara Dua Aceh Utara. Kapur yang digunakan adalah kapur dolomit yang banyak dijual di pasaran dengan presentase kapur adalah 5%, 7,5%, dan 10% dari berat tanah yang digunakan pada pemadatan proctor. Benda uji yang digunakan sebanyak 4 buah.

Pengujian yang dilakukan pada campuran tanah lempung dan persen kapur adalah pengujian sifat fisis; kadar air, berat jenis, Atterberg limit, analisa saringan, hydrometer dan sifat mekanis tanah; pemadatan, dan permeabilitas. Alat yang digunakan adalah satu set saringan standar, hydrometer, satu set alat ukur specific gravity, satu set alat uji batas Atterberg, alat pemadatan proctor standar, alat uji triaksial dan alat uji konsolidasi (oedometer) serta alat bantu yang terdiri dari oven, neraca dengan ketelitian 0,01 gram. Gelas ukur 1000ml, desikator, cawan dan piknometer.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

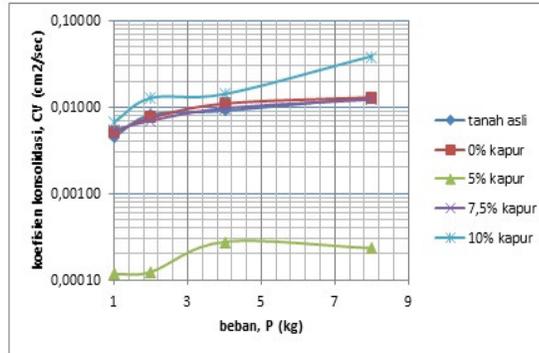
Untuk pengujian sifat-sifat fisis tanah yaitu didapat nilai kadar air 14,48%, berat volume tanah basah  $1,83 \text{ gr/cm}^3$ , berat volume tanah kering  $1,60 \text{ gr/cm}^2$ , spesifik gravity 2,65, PI tanah + 0% kapur 5,2%; tanah+ 5% kapur 2,84%; tanah + 7,5% kapur 6,4% dan tanah + 10% kapur 9%. Pada analisa hidrometer menghasilkan nilai Cu 7,78 dan Cc 0,012.



Gambar 7 Grafik Gabungan Pemadatan Standar Proctor

Pengujian sifat mekanis tanah terlebih dahulu dilakukan pengujian Standard Proctor pada tanah asli dan variasi campuran kapur. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin bertambah persentase kapur maka kadar air optimum semakin menurun. Pada 0% kapur kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) sebesar 18% dan berat isi kering ( $\gamma_d$ ) sebesar  $1,63 \text{ gr/cm}^3$ . Pada campuran 5% kapur  $W_{opt}$  didapat sebesar 17,2% dan  $\gamma_d$  adalah  $1,56 \text{ gr/cm}^3$ . Selanjutnya pada campuran 7,5% kapur menghasilkan  $W_{opt}$  sebesar 16,9% dan  $\gamma_d$   $1,58 \text{ gr/cm}^3$ . Untuk campuran 10% kapur diperoleh  $W_{opt}$  sebesar 15,8% dan  $\gamma_d$  adalah  $1,63 \text{ gr/cm}^3$ .

Dari hasil pengujian konsolidasi yang dilakukan di laboratorium pada tanah asli dan campuran kapur dengan kadar 0% kapur, 5% kapur, 7,5% kapur dan 10% kapur didapat koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) sebagaimana ditampilkan pada grafik berikut:



Gambar 8 Grafik Gabungan Hubungan Koefisien Konsolidasi ( $C_v$ ) dan Beban ( $P$ ) pada Setiap Variasi Campuran Kapur

Dari hasil pengujian konsolidasi, Koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) dari tanah asli yaitu  $4,51 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{menit}$  pada beban 1 kg,  $8,14 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{menit}$  pada beban 2 kg,  $9,1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{menit}$  pada beban 4 kg dan  $1,3 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{menit}$  pada beban 8 kg. Sedangkan koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) pada tanah terganggu dengan variasi 0% kapur diperoleh  $C_v$  sebesar  $5,1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{menit}$  dengan beban 1 kg,  $7,5 \times 10^{-3}$  dengan beban 2 kg,  $1,1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{menit}$  dengan beban 4 kg dan  $1,3 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{menit}$  dengan beban 8 kg. kemudian tanah terganggu tersebut diberi perlakuan penambahan kapur sebesar 5% dan memperoleh nilai  $C_v$  menjadi lebih baik yaitu semakin menurun dari yang tanah asli dan 0% kapur.

Dalam pengujian triaksial diperoleh sudut geser tanah asli sebesar  $10^\circ$  dan kohesi ( $C$ ) sebesar  $0,3 \text{ kg/cm}^2$ . Dengan menambahkan kapur 5% sudut geser tanah menjadi  $28^\circ$  dan kohesi ( $C$ )  $0,62 \text{ kg/cm}^2$ . Pada tambahan 7,5% kapur sudut geser tanah menjadi  $22^\circ$  dan kohesi ( $C$ ) sebesar  $0,2 \text{ kg/cm}^2$  sedangkan pada 10% kapur sudut geser tanah menjadi  $0,75 \text{ kg/cm}^2$ .

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Untuk pengujian sifat-sifat fisis tanah yaitu didapat nilai kadar air 14,48%, berat volume tanah basah  $1,83 \text{ gr/cm}^3$ , berat volume tanah kering  $1,60 \text{ gr/cm}^2$ , spesifik gravitasi 2,65, PI tanah + 0% kapur 5,2%; tanah+ 5% kapur 2,84%; tanah + 7,5% kapur 6,4% dan tanah + 10% kapur 9%. Pada analisa hidrometer menghasilkan nilai  $C_u$  7,78 dan  $C_c$  0,012 dan tergolong kedalam tanah yang bergradasi buruk. Dilihat dari hasil pengujian Atterberg Limit maka menurut klasifikasi USCS tanah yang berada didesa Cot Girek Kandang Kecamatan Muara Dua dapat di golongkan ke dalam jenis tanah lanau dan lempung berlanau karena mengandung pasir yang sangat halus.

Pengujian sifat mekanis tanah dilakukan pengujian Standard Proctor pada tanah asli dan variasi campuran kapur. Kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) tanah + 0% kapur 18,0%; tanah + 5% kapur 17,2%; tanah + 7,5% kapur 16,9% dan tanah + 10% kapur 15,8%.

Pada pengujian konsolidasi yang dilakukan diperoleh  $C_v$  paling sedikit pada tanah + 5% kapur dengan beban 8 kg yaitu  $2,33 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{menit}$  dibandingkan dengan tanah tak terganggu yaitu  $C_v$  sebesar  $1,3 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{menit}$  pada beban 8 kg.

Pada pengujian triaksial diperoleh dengan tambahan 5% kapur dapat meningkatkan kekuatan lereng menjadi sebesar  $10^\circ$  dan  $C$  sebesar  $0,3 \text{ kg/cm}^2$  dibanding dengan campuran 7,5% dan 10%.

### Daftar Kepustakaan

- Bowles, Joseph E. 1993. *Sifat- Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua. Terjemahan: Johan K. Hainim. Jakarta: Erlangga.
- Craig, R. F. 1987. *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat. Terjemahan: Budi Susilo. S. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1998, *Mekanika Tanah (Prinsip- Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1. Terjemahan: Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Jafri, Muhammad, 009, *Perbaikan Pengembangan Tanah Menggunakan Zat Additive Kapur Dengan Pemodelan Alat Konsolidasi*, Jurnal Rekayasa Vol. 13 No. 3, Desember 2008.
- Palar, Hariman, dkk. Mei 2013, *Pengaruh Pencampuran Tras Dan Kapur Pada Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Daya Dukung*, Jurnal Sipil Statik Vol.1 No.6, Mei 2013 (390-399) ISSN: 2337-6732.