

**PENGARUH RASIO LUAS PADA CAMPURAN KAPUR (*LIME*)
TERHADAP *HEAVE* TANAH LEMPUNG EKSPANSIF PADA *DEEP*
*SOIL MIXING***

NASKAH TERPUBLIKASI
TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



WIRAWAN YUDA PRIHATAMA
NIM. 125060107111031

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017

Pengaruh Rasio Luas pada Campuran Kapur (*Lime*) terhadap *Heave* Tanah Lempung Ekspansif pada *Deep Soil Mixing*

Wirawan Yuda Prihatama, Yulvi Zaika, Eko Andi S.

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145 -Telp (0341)567886
Email : yudhaprihatama@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu metode stabilisasi tanah yang digunakan dalam upaya untuk memperbaiki mutu tanah yang kurang baik antara lain yaitu stabilisasi kimiawi. Stabilisasi kimiawi dilakukan dengan cara menambahkan *zat additive* pada tanah dasar yang akan ditingkatkan mutunya. *Zat additive* yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapur (*lime*). Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu, untuk mengetahui pengaruh pencampuran *lime* terhadap daya mampat (konsolidasi) dan mengetahui berapa rasio luas efektif untuk melakukan perbaikan tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro. Pada penelitian ini objek yang diamati adalah, tanah lempung ekspansif dengan stabilisasi. Tanah distabilisasi dengan kadar *lime* 6%, 8%, dan 10% dari berat kering tanah. Dalam melakukan penelitian ini menggunakan dua variabel, yaitu variabel bebas (*antecedent*) dan variabel terikat (*dependent*). Variabel bebas pada pelaksanaan penelitian ini adalah rasioluas. Sedangkan untuk variabel terikat adalah besar penurunan total. Penelitian ini meliputi pengujian sifat fisik yaitu analisis butiran, *Specific Gravity*, *Atterberg Limit*, dan pemadatan, serta pengujian konsolidasi dan *free swell*. Dari hasil pengujian benda uji Semakin, besar nilai campuran *lime* pada percobaan konsolidasi, maka nilai C_s dan P_s akan semakin kecil. Begitu pula dengan nilai pengembangan pada *free swelling test*, didapatkan potensi berkembangnya tanah berbanding terbalik dengan prosentase penambahan *lime* tersebut. Dari analisa data yang dilakukan, nilai *heave komposit* pada masing masing campuran maka *area rasio* yang paling efektif untuk dilakukan DSM yaitu pada *area rasio* 40%-60%

Kata kunci: Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, *lime*, konsolidasi, *free swell*

ABSTRACT

One of some method on stabilization soil used in an effort to improve the quality of soil is the chemical stabilization .Chemical stabilization done by means of adds to a substance additive on the soil basic quality will be increased .A substance additive used in research is lime . This study has some order to , to know the influence of mixing lime against the compressible (consolidated) and he knows how the broad effective to fix the soil loam expansive in district ngasem , Bojonegoro . In this research object that observed is , the land of loam expansive with stabilization .The soil stabilize with lime 6 % , 8 % , and 10 % of the weight of soil .In to do this research using two variables , namely free variable (antecedent) and variable bound (dependent) . Free Variable during the implementation of this research is the area rasio .While for variables bound is the number of total heave .This research include testing the physical properties of granules which is analysis , specific gravity , atterberg limit , and solidification , as well as testing a consolidation and free swell . From the results of testing objects, increasingly great value on a soil with mixture of lime experiment consolidated , hence the value of Ps and Cs getting smaller .So it is with the value of development at free swelling test , further expansion was obtained potential land inversely proportional to the addition of lime precentage. When the data analysis finished , heave composite value in each carpel of the area mixture with the area ratio of the most effective to DSM namely done on an area of the ratio of 40 % -60 %

Keywords: *Ekspansive soil, Soil Stabilisation, lime, consolidation, free swelling*

1. PENDAHULUAN

Stabilisasi tanah mempunyai berbagai macam metode pencampuran yang telah dipelajari serta di laksanakan dalam kaitanya untuk perbaikan kekuatan tanah, antara lain yaitu metode pencampuran di lapangan langsung (*in-situ stabilization*). Dalam metode pencampuran di lapangan langsung dibagi menjadi 2 macam cara pencampuran, pencampuran dangkal (*shallow soil mixing*) dan pencampuran pada tanah dalam (*deep soil mixing*) yang juga biasa dikenal dengan metode DSM. Stabilisasi tanah dengan metode pencampuran *deep soil mixing* dilakukan dengan syarat kedalaman tanah yang akan diperbaiki lebih dari 1,5 m dengan cara membuat serangkaian kolom berisi tanah campuran yang dirancang dengan konfigurasi, jarak serta kedalaman yang telah di teliti. Setelah konfigurasi, jarak dan kedalamanya telah di tentukan, dilakukan pengeboran, saat pengeboran mencapai kedalaman yang telah direncanakan, *augers* ditarik dan proses pencampuran tanah dengan bahan tambah dapat dilakukan.

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Muntohar (2009) mengenai *deep soil mixing* (DSM) dengan kolom stabilisasi, berbahan tambah kapur berdiameter 5 cm dengan panjang 20 cm digunakan pada tanah lempung di daerah Bantul mampu

menghasilkan peningkatan kekuatan tanah yang sangat signifikan dari 0,23 kN menjadi 5,2 kN baik pada arah radial maupun vertikal. Dari penelitian yang sudah dilakukan, maka perlu adanya pengembangan penelitian mengenai metode *deep soil mixing* (DSM) dengan bahan stabilisasi yaitu kapur. Penelitian ini dilakukan untuk pengembangan penelitian stabilisasi tanah lempung ekspansif di daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur. Tanah lempung ekspansif di daerah tersebut termasuk jenis tanah ekspansif dalam karena rata-rata kedalaman tanahnya antara 1 – 3 m. Oleh karena itu, *deep soil mixing* merupakan metode stabilisasi yang tepat. Pemilihan kapur sebagai bahan *aditif* dikarenakan bahan ini memiliki kemampuan untuk mereduksi sifat plastis dan kembang tanah. Keberadaan kapur sebagai bahan *aditif* yang mudah di dapat, menjadi pertimbangan dalam penelitian ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Konsolidasi adalah penurunan tanah yang merupakan fungsi waktu akibat keluarnya air dari pori-pori tanah. Peristiwa konsolidasi terjadi apabila tanah akan mencari jalan keluar untuk keluar karena mendapat tekanan. Tekanan akibat beban pada awalnya akan ditahan oleh air sehingga eksese tekanan air pori akan naik. Tetapi dengan berjalannya waktu maka air

akan mencari jalan keluar sehingga eksese tekanan air pori tersebut menjadi turun. Untuk seterusnya tekanan akibat beban akan ditanggung oleh partikel tanah yang biasa disebut tekanan efektif tanah.

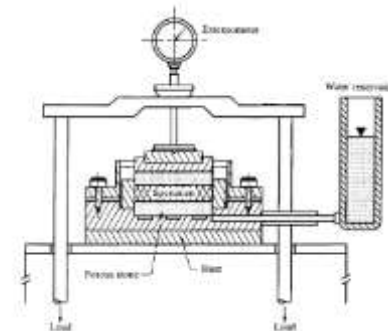
Proses konsolidasi dapat diamati dengan pemasangan piezometer, untuk mencatat perubahan tekanan air pori terhadap waktu. Besarnya penurunan dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian tempat tertentu.

Dalam teorinya Terzaghi mengansumsikan konsolidasi terjadi pada satu arah saja yaitu arah kedalam tanah (z). Ada beberapa asumsi dalam teori Terzaghi yaitu:

1. Tanah homogen
2. Tanah jenuh
3. Butiran tanah dan air tidak dapat dimampatkan
4. Kemampatan dan aliran hanya satu dimensi
5. Regangan kecil
6. Hukum Darcy berlaku untuk semua gradien hoidrolis
7. Koefisien permeabilitas dan koefisien perubahan volume konstan
8. Ada hubungan *unique* tidak tergantung waktu, antara angka pori dan tegangan efektif

Teori konsolidasi satu dimensi ini akan berhubungan dengan tiga Besarann :

1. *Excess pore water pressure* (tekanan air pori lebih)
2. Kedalaman z di bawah permukaan atas lapisan lempung
3. Waktu t dari saat pemberian kenaikan tegangan total



Gambar 2.21 Alat uji Konsolidasi (konsolidometer)

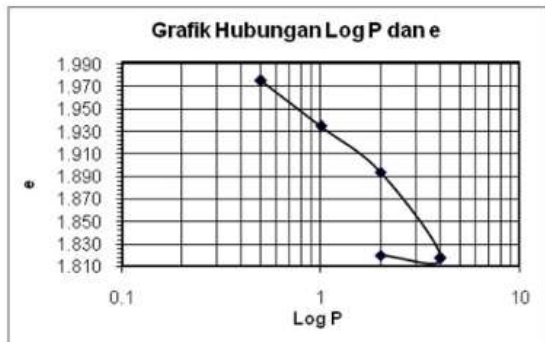
Uji konsolidasi di laboratorium biasanya dilakukan dengan alat konsolidometer. Beban vertikal yang digunakan bervariasi dan penurunan diukur dengan arloji (*dial gauge*). Beban diberikan dalam waktu 24 jam dengan keadaan beban uji tetap terendam di dalam air. Penambahan beban secara periodik dua kali beban sebelumnya dengan urutan : 0 ; 1,00 ; 2,00 ; 4,00 ; 8,00 ; 16,00 ; 32,00. Untuk setiap penambahan beban, deformasi dan waktu harus dicatat kemudian diplot seperti pada gambar 2.22. Persamaan angka pori (e)

$$e = \frac{h_1}{h_s} - 1$$

Dimana :

h_1 = tebal sampel pada akhir percobaan

h_s = tebal sampel ekivalen



Gambar 2.22 Plot e – log P

Dari hasil perhitungan angka pori pada setiap akhir pembebanan maka dibuat grafik seperti di atas. Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa percobaan yang dilakukan adalah dengan kondisi pembebanan (*compression*), pengurangan beban (*expansion*), dan pembebanan kembali (*recompression*).

Selain dari hasil diatas konsolidasi juga menghasilkan koefisien perubahan volume (m_v). Koefisien perubahan volume adalah perubahan volume per satuan penambahan tegangan efektif sehingga menjadi σ_1' , angka porinya akan berubah dari e_0 menjadi e_1 , dan ketebalan tanah berubah dari h_0 menjadi h_1 . Koefisien perubahan volume dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$m_v = \frac{1}{1 + e_0} \left(\frac{e_0 - e_1}{\sigma_1' - \sigma_0'} \right)$$

Hasil berikutnya adalah indeks kompresi (C_c) dan Indeks Pengembangan

atau Swelling (C_s). Indeks kompresi ini tidak berdimensi. Jika tanah dinaikkan tegangannya dari σ_0' menjadi σ_1' dan angka porinya turun dari e_0 menjadi e_1 , maka indeks kompresi dinyatakan sebagai berikut :

$$C_c = \frac{e_0 - e_1}{\log \frac{\sigma_1'}{\sigma_0'}}$$

Besarnya harga swelling indeks lebih kecil dibandingkan indeks kompresi. Di samping itu masih ada indeks kemampatan kembali (C_r) yang besarnya hampir sama dengan swelling indeks.

$$C_s = C_r = 1/5 \text{ sampai } 1/10 \cdot C_c$$

Menurut Madhyannapu (2014) kita dapat menggunakan metode perbaikan *deep soil mix* apabila memenuhi 2 syarat berikut :

1. Tanah lempung ekspansif di lapangan mempunyai ketinggian lebih besar sama dengan 1.5 m dari muka tanah.
2. ΔH atau besarnya ketinggian total pada uji konsolidasi mempunyai nilai lebih besar sama dengan 25 mm atau 1 inch (ΔH Rencana), dengan menggunakan rumus 2-7 sebagai berikut:

$$\Delta h = \frac{C_{s,comp} h}{1 + e_0} \sum_{i=1}^n \log \frac{p_{f,i}'}{p_{s,comp}'}$$

$C_{s,comp}$ = indeks swelling gabungan

h = ketinggian tanah di lapangan

e_0 = rasio pori awal

p_f' = tegangan akhir

$p_{s,comp}'$ = tekanan awal swelling gabungan

ΔH = perbedaan tinggi sampel

Dari rumus diatas, nilai sifa-sifat kompositnya dapat di estimasi, estimasi tersebut berdasarkan pada tanah yang sudah dilakukan perlakuan dan tanah asli yang sudah di uji di laboratorium, Nilai C_s Gabungan (komposit) serta P_s Gabungan (komposit) seperti yang di tunjukan di bawah ini :

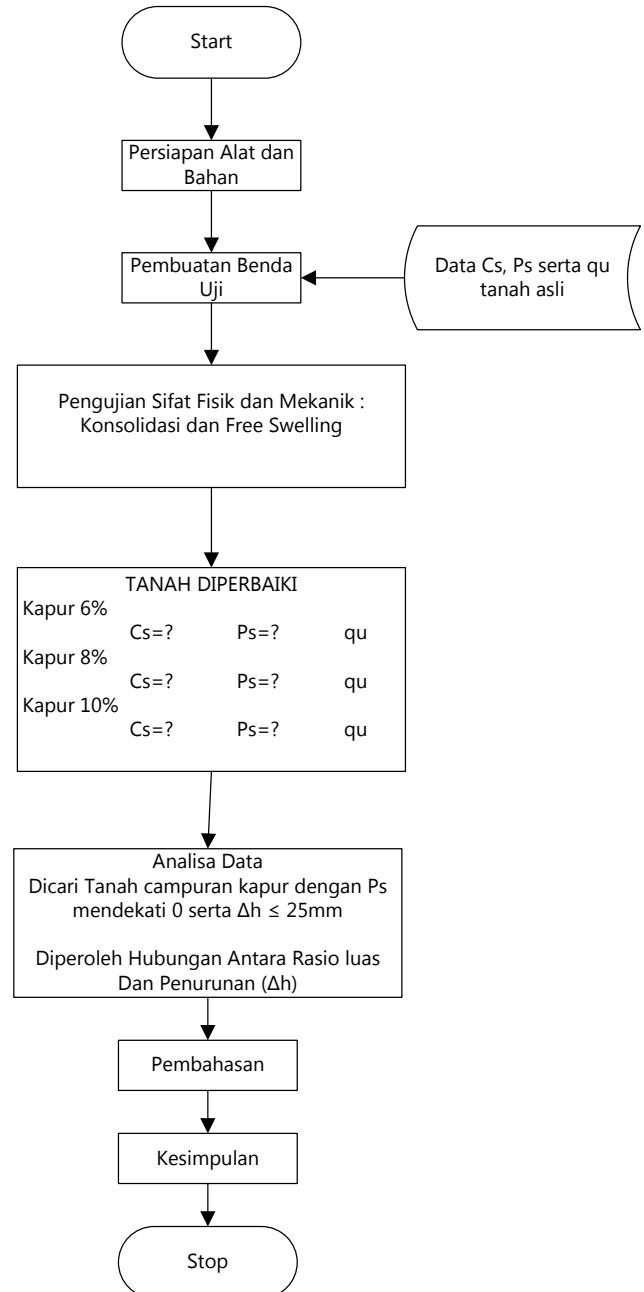
$$C_{s,comp,i} = C_{s,col} \times a_r + C_{s,soil,i} \times (1 - a_r)$$

$$P'_{s,comp,i} = P'_{s,col} \times a_r + P'_{s,soil,i} \times (1 - a_r)$$

3. METODOLOGI

Dalam melakukan penelitian ini menggunakan dua variabel, yaitu variabel bebas (*antecedent*) dan variabel terikat (*dependent*). Variabel bebas pada pelaksanaan penelitian ini adalah prosentase campuran kapur, dan dengan variabel bebas tak langsung yaitu prosentase *area rasio*. Sedangkan untuk variabel terikat adalah besar penurunan total. Dilakukan percobaan konsolidasi serta *free swelling*. Data yang telah dicatat dari hasil pengujian, kemudian diolah dengan persamaan yang telah ada dengan bantuan *Microsoft Excel*. Setelah

melakukan pengolahan data tersebut, maka diperoleh besarnya nilai P_s (*Initial Pressure*) dan C_s (*Swelling Index*) tanah untuk selanjutnya data tersebut dianalisa

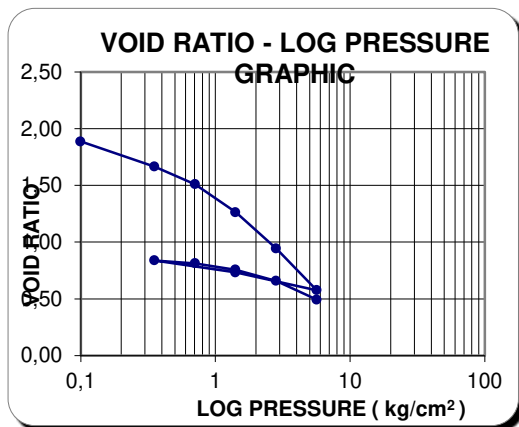


dan didapatkan hubungan *area rasio* dengan *heave*, yang akan ditampilkan dengan grafik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

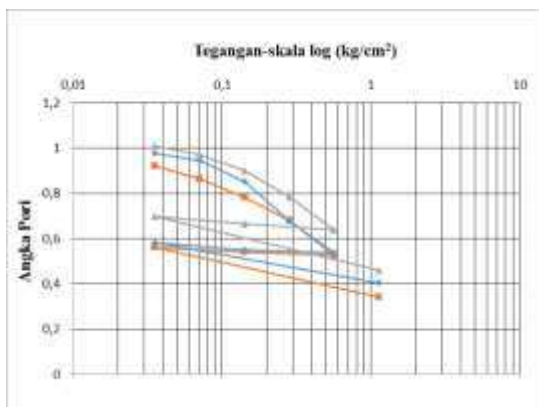
4.1 Pengujian Konsolidasi

Dalam penelitiannya terhadap tanah asli di Kecamatan Ngasem, Kab. Bojonegoro didapatkan nilai C_s sebesar 0,21 dan P_s sebesar 0,2. Sedangkan ΔH diketahui memiliki nilai sebesar 228.489 mm. Hasil tersebut nantinya akan dipergunakan sebagai perhitungan pengujian lanjutan. Grafik Void ratio – log pressure dapat dilihat pada **Gambar 4.5** Berikut ini:



Gambar 4.5 Void Rasio dengan Log Pressure

(Maulidya, 2016)

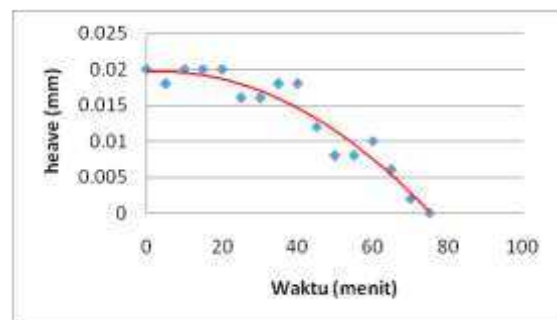


Gambar 4.9 Void Rasio dengan Log Pressure campuran Kapur 6%, 8%, 10%

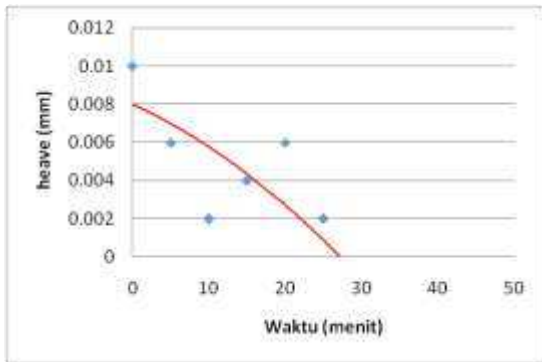
Dari pengujian konsolidasi dapat kita ketahui, C_s Tanah Campuran Kapur 6% sebesar 0,04876, C_s Tanah Campuran Kapur 8% sebesar 0,03869, dan C_s Tanah Campuran Kapur 10% sebesar 0,02796.

Untuk mencari nilai P_s dari masing-masing tanah campuran dilakukan dengan cara menambahkan beban pada saat *swelling* hingga pembacaan pengembangan pada tanah mendekati 0 (tidak mengembang), sehingga percobaan tersebut harus menggunakan beban yang belum diketahui

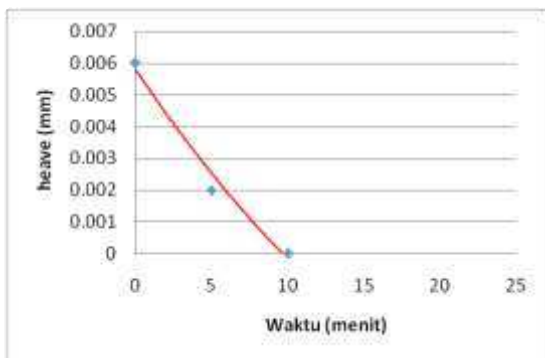
Sebagai contoh untuk nilai P_s tanah campuran 6%, tegangan didapatkan nilai 0.011 kg/m². Pada tegangan tersebut terbaca 0 sampai dengan urutan waktu $t = 15$ menit, sedangkan pada bacaan $t = 20$ menit pengembangan tanah sebesar -0.002



Gambar 4.10 Hubungan Tinggi sampel terhadap Waktu untuk Menentukan P_s i, Tanah Dengan Kadar Kapur 6%



Gambar 4.12 Hubungan Tinggi sampel terhadap Waktu untuk Menentukan Ps i, Tanah Dengan Kadar Kapur 8%



Gambar 4.12 Hubungan Tinggi sampel terhadap Waktu untuk Menentukan Ps i, Tanah Dengan Kadar Kapur 10%

Pada pembebanan sebelumnya diketahui tren pengembangan sangat besar, maka pembebanan pun diulangi lagi dan dikurangi sampai tegangan 0,012 kg/cm², dimana beban tersebut sudah mencapai/mendekati 0.

Dari hasil diatas didapatkan nilai Ps dari tanah campuran kapur 6% sebesar 0,106 Kg/m², Nilai Ps dari tanah campuran kapur 8% sebesar 0,035 Kg/m², dan nilai Ps dari tanah campuran kapur 10% sebesar 0,012 Kg/m²

4.2 Pengujian Pengembangan Bebas (Free Swelling Test)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui potensi pengembangan bebas pada tanah lempung, dengan volume awal 50ml. Berikut adalah hasil dari Uji Pengembangan Bebas:

Tabel 4.14 Hasil pengujian *free swelling*

JENIS SAMPEL	VOLUME	PENGEMBANGAN (%)
Tanah Asli + Kapur 6%	62.5	20
Tanah Asli + Kapur 8%	55	10
Tanah Asli + Kapur 10%	52.5	5

Hasil pengujian *free swelling* menghasilkan penurunan swelling yang cukup tinggi. *Free swelling* tanah asli sebesar 85%, tetapi begitu tanah dicampur dengan kapur maka nilai dari *free swelling* mengalami penurunan seiring dengan penambahan prosentase kapur. Penurunan potensi pengembangan bebas yang terbesar terjadi pada prosentase kapur sebesar 10%, penurunan yang terjadi sebesar 5%

Dengan penambahan kapur dapat memperbaiki tanah asli karena memperkecil besarnya potensi pengembangan bebas (*swelling*).

4.3. Analisa Data

Nilai *heave* merupakan dasar dari perencanaan kolom *Deep Soil Mixing*, *heave* adalah gaya ekspansif atau gaya desakan keatas pada tanah. *heave* sendiri dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta H = \frac{C_s \text{ comp. } h}{1 + e_0} \log \frac{p_f'}{p_s' \text{ comp}}$$

Dimana $C_s \text{ comp}$ merupakan *Swelling Index* gabungan antara tanah asli dengan tanah campuran (Tanah dengan campuran zat aditif). Sedangkan $P_s \text{ comp}$ merupakan *Initial Pressure Swelling* gabungan tanah asli dengan tanah campuran (Tanah dengan campuran zat aditif). Nilai $C_s \text{ comp}$ dengan $P_s \text{ comp}$ didapatkan dari persamaan :

$$C_s \text{ comp} = (C_s \text{ Col} \times ar) + (C_s \text{ Soil} \times (1 - ar))$$

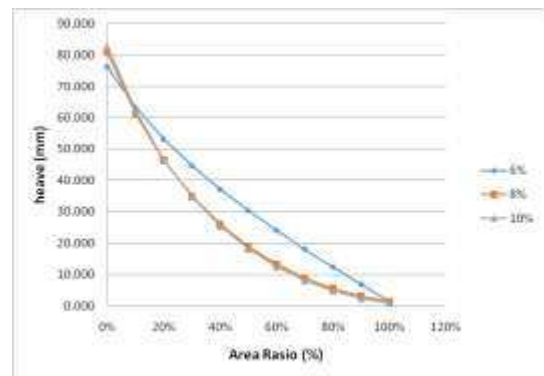
$$P_s \text{ comp} = (P_s \text{ Col} \times ar) + (P_s \text{ Soil} \times (1 - ar))$$

(Madhyannapu. 2014)

Dalam penelitian ini ar (*area rasio*) sebagai variable yang telah ditentukan, dimana ar adalah perbandingan area yang diperbaiki dengan area yang tidak diperbaiki, sehingga dapat diketahui $P_s \text{ comp}$ dan $C_s \text{ comp}$ pada masing-masing *area rasio* yang direncanakan. Untuk nilai P_f kita rencanakan sebagai beban sendiri dari perkerasan jalan kaku. Dari 2 persamaan diatas, maka bisa didapatkan hubungan antara *Area Rasio* (ar) dengan *Heave*.

Tabel 4.18. Perbandingan ΔH Campuran Kapur 6%;8%;10%

ar	6%	8%	10%
	ΔH (mm)	ΔH (mm)	ΔH (mm)
0%	76.264	80.947	82.729
10%	63.260	61.167	61.997
20%	53.136	46.403	46.574
30%	44.639	34.990	34.705
40%	37.159	26.011	25.421
50%	30.360	18.899	18.124
60%	24.035	13.281	12.419
70%	18.051	8.892	8.025
80%	12.318	5.540	4.739
90%	6.773	3.079	2.406
100%	1.368	1.394	0.903



Gambar 4.17 Hubungan Rasio Luas dengan Heave, Tanah Prosentase Kapur 6%, 8%, 10%

Semakin kecil nilai *heave* rencana yang diizinkan pada kebutuhan tertentu (contohnya perkerasan jalan kaku $\Delta H < 25\text{mm}$) maka di butuhkan nilai *area rasio* perbaikan yang lebih besar pula, dimana akan dibutuhkan lebih banyak kolom DSM karena bertambahnya *area rasio* yang diperbaiki (Madhyannapu. 2014). Seperti hasil dari perhitungan diatas, maka jika digunakan *heave* rencana yang diizinkan dengan nilai $\Delta H < 25\text{mm}$, maka bentuk perbaikan tanah diatas sudah memenuhi syarat pada sebagian prosentase tanah serta *area rasio* nya. Karena nilai ΔH sudah sepenuhnya dilawan oleh nilai dari tegangan maksimum (P_f), sehingga mengalami perbaikan yang signifikan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah serta analisa data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin besar nilai campuran kapur pada percobaan konsolidasi, maka nilai C_s akan semakin kecil.
2. Semakin besar nilai campuran kapur pada percobaan konsolidasi, maka nilai P_s akan semakin kecil.
3. Nilai pengembangan pada *free swelling test*, didapatkan potensi pengembangan berbanding terbalik dengan prosentase tanah campuran, yaitu semakin besar prosentase campuran, semakin kecil nilai pengembangan bebasnya.
4. Dari analisa data yang dilakukan nilai *heave komposit* pada masing-masing campuran pada *area rasio* 10%-40% didapatkan selisih yang sangat kecil, baru pada *area rasio* 50%-100% nilai *heave komposit* mempunyai selisih yang cukup besar pada prosentase campuran 6% dan 8%. Dari hasil tersebut maka *area rasio* yang paling efektif dan efisien untuk dilakukannya DSM yaitu pada *area rasio* 60% pada campuran kapur 10%.

5. Nilai *heave komposit* pada masing-masing prosentase campuran kapur mampu mengurangi nilai *heave* pada tanah asli secara signifikan.

5.2 Saran

Setelah melakukan analisa dan pembahasan, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut. Saran-saran yang dapat diberikan adalah:

1. Perlu dilakukan pengulangan pengujian pada masing-masing prosentase kapur dan tanah asli untuk mendapatkan nilai *Initial Pressure Swelling*, dan *Swelling index* yang lebih akurat.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan bahan limbah yang lebih bervariasi untuk mengurangi masalah lingkungan, efektif dan efisien.
3. Perlu diadakan perulangan dari setiap perlakuan agar hasil yang didapat lebih maksimal.

6. DAFTAR PUSTAKA

Ariyani, Ninik. 2009. Pengaruh Penambahan Kapur Pada Tanah Lempung Ekspansif Dari Dusun Bodrorejo Klaten. Yogyakarta: Teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM

- Bowles, Joseph E. 1986. *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, Joseph E. 1991. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Bruce, Marry Ellen C. 2013. "Deep Mixing for Embankment and Foundation Support" dalam *Federal Highway Administration Design Manual*. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Bruce, Donald A. 2000. Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Application. *Report Document No. FHWA-RD-99-138*. Virginia: U.S. Department of commerce
- Chen, F. H. 1975. *Foundation on Expansive Soil*. Amsterdam: Elsevier Scientific
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- SK SNI S-01-1994-03. 1996. Spesifikasi Kapur Untuk Stabilisasi Tanah. Departemen PU.
- Sutikno, Budi Damianto. 2009. Stabilisasi Tanah Ekspansif dengan Penambahan Kapur (*Lime*) : Aplikasi pada Pekerjaan Timbunan. *Jurnal Volume 2 Nomor 11*. Depok: Politeknik Negeri.
- Warsiti. 2009. Meningkatkan CBR dan Memperkecil Swelling Tanah Sub Grade dengan Metode Stabilisasi Tanah dan Kapur. *Jurnal Volume 14 Nomor 1*. Semarang: Politeknik Negeri.
- Madhyannapu. Raja S, Ph.D.,P.E.,M.ASCE. Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils.