

PERUBAHAN PERILAKU TANAH EKSPANSIF AKIBAT STABILISASI DENGAN DSM BERPOLA TRIANGULAR MENGGUNAKAN KAPUR KADAR 8%

*Aditya Leo Dharmawan*¹⁾, *Arief Rachmansyah*²⁾, *Yulvi Zaika*³⁾

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya
Jl. Mayjen Haryono 167, Malang 65145 – Telp (0341) 580120
E-mail: darmawana20@gmail.com

ABSTRACT

Expansive clay has a high potential of shrinkage in case of changes in water contents. It can cause some damage to wall of building and cracks in the road. There are some methods of soil stabilisation that already known, such as Deep Soil Mixing. DSM is a method using coloumn which contain soil mixing with material, it use variety of configuration that includes space of coloumn (L) and depth of coloumn (Df). Purpose of this research is to increasing bearing capacity and reducing swelling potential with DSM method in Ngasem, Bojonegoro for purpose of pavement construction. This research using 8% lime with triangular configuration with diameter of coloumn (D) is 3,2 cm. It uses variety space of coloumn (L) which is 1D, 1,25D and 1,5D and uses variety depth of coloumn which is 10 cm, 15 cm and 20 cm. Some test are required to determine characteristic of soil sample, such as spesific gravity, atteberg limit, clasification of soil based on USCS and standar compaction. To determine bearing capacity of soil it use loading test, and for test to determine swelling potential is based on ASTM 4546-86. Sample of soil is clasified as CH (anorganic clay with high plastisity). Result of this research proved that 8% lime can improve bearing strength and reduce swelling. Ratio of stabilisation soil is a important factor that determine improvement of bearing strength and swelling. Changes of depth (Df) will slightly give a higher improvement of bearing strength than changes of spacing (L). Triangular configuration which using space of coloumn (L) 3,2 cm and depth of coloumn (Df) 20 cm will give the most high value of improvement with 243,077% and reducement of swelling with 94,098 %. This variety of configuration can be use for flexible pavement as subgrade layer.

Keywords: *Expansive Soil, Deep Soil Mixing, Soil Stabilisation, Bearing Capacity, Swelling*

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki sifat kembang susut yang besar dan perilakunya sangat dipengaruhi oleh air. Tanah ekspansif ini sering menimbulkan kerusakan pada bangunan seperti retaknya dinding, terangkatnya pondasi dan kerusakan pada perkerasan jalan raya. Stabilisasi/perbaikan tanah memiliki beberapa metode yang sudah digunakan, salah satunya adalah deep soil mixing (DSM). DSM merupakan perbaikan menggunakan serangkaian kolom yang diberikan campuran bahan dengan konfigurasi, jarak dan kedalaman tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku tanah yaitu daya dukung tanah dan pengembangan yang dilakukan perbaikan dengan DSM pada tanah ekspansif di daerah Ngasem, Bojonegoro untuk digunakan sebagai lapisan tanah pada struktur perkerasan jalan. Pada penelitian ini digunakan zat aditif berupa kapur (lime) dengan kadar 8%. Konfigurasi DSM yang digunakan adalah Triangular dengan diameter (D) 3,2 cm dan variasi jarak antar kolom (L) 1D, 1,25D dan 1,5D serta kedalaman kolom (Df) 10 cm, 15 cm dan 20 cm. Pengujian yang dilakukan antara lain untuk mengetahui sifat fisik tanah dengan pengujian spesific gravity, atteberg limit, klasifikasi tanah berdasarkan USCS dan pematatan standar. Untuk mengetahui nilai daya dukung dilakukan pengujian pembebanan serta untuk uji pengembangan dilakukan dengan mengacu ASTM 4546-86. Sampel tanah dikategorikan sebagai klasifikasi tanah CH (tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi). Berdasarkan hasil penelitian, metode DSM ini dapat meningkatkan nilai daya dukung dan menurunkan nilai pengembangan yang terjadi. Perubahan nilai daya dukung dan nilai pengembangan berbanding lurus dengan rasio volume tanah perbaikan. Pada variasi perubahan kedalaman kolom (Df) akan memberikan nilai peningkatan sedikit lebih besar daripada variasi jarak kolom (L). Konfigurasi triangular dengan jarak antar kolom (L) = 3,2 cm dan kedalaman kolom (Df) = 20 cm, memberikan peningkatan nilai daya dukung terbesar yaitu 243,077 % dan menurunkan nilai pengembangan sebanyak 94,098 %. Sehingga dengan konfigurasi tersebut dapat digunakan sebagai lapisan tanah dasar (subgrade) atau lapisan pondasi atas atau lapisan pondasi bawah untuk stuktur perkerasan lentur jalan.

Kata – kata kunci : *Lempung Ekspansif, Deep Soil Mixing, Stabilisasi Tanah, Daya Dukung, Pengembangan*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang memiliki sifat kembang susut yang besar dan perilakunya sangat dipengaruhi oleh air. Semua tanah lempung yang mengandung mineral ekspansif akan mempunyai sifat mengembang dan menyusut yang besar, apabila terjadi penambahan atau pengurangan kadar airnya. Tanah lempung ekspansif di Indonesia dapat ditemui di beberapa daerah, salah satunya yaitu di daerah Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur.

Penelitian yang telah dilakukan Anisa (2015) mengenai *deep soil mixing* konfigurasi *triangular* tanah lempung ekspansif di lokasi yang sama dengan kolom stabilisasi kapur berdiameter 3 cm, variasi jarak antar kolom (L) 3 cm; 3,75 cm; 4,5 cm dan variasi panjang kolom (Df) 5 cm; 10 cm; 15 cm. Kolom dilakukan penambahan 10% kapur. Hasil penelitian ini, peningkatan daya dukung paling maksimum terdapat pada variasi L = 3 cm dan Df = 20 cm mampu meningkatkan daya dukung sebesar 281%. Pada prosentasi stabilisasi terdapat penurunan *swelling* sebesar 3,36% dari tanah asli.

Penelitian Ranggaesa, R.A. (2016) tentang pengujian sifat fisik dan mekanis campuran tanah lempung berkadar kapur 0%, 6%, 8%, 9%, 10% dan lama pemeraman 3 hari, dihasilkan kadar kapur 8% merupakan kadar paling baik untuk stabilisasi.

Perilaku yang ditinjau dalam penelitian ini adalah daya dukung dan pengembangan.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui perilaku tanah asli dan tanah stabilisasi kapur.
2. Untuk mengetahui perbandingan antara tanah perbaikan dengan tanah yang diperbaiki dengan metode *deep soil mixing* (DSM) berpola *triangular* dengan variasi jarak dan kolom.
3. Mengetahui perubahan perilaku pengembangan (*swelling*) pada tanah yang telah dilakukan stabilisasi dengan metode *deep soil mixing* berpola *triangular* akibat beban perkerasan jalan.
4. Mengetahui jarak dan panjang kolom *deep soil mixing* (DSM) tipe *triangular* yang memberi daya dukung untuk struktur

perkerasan jalan pada lokasi Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur.

5. Mengetahui jarak dan panjang kolom yang lebih efisien untuk digunakan sebagai konfigurasi stabilisasi kolom metode *deep soil mixing* (DSM) berpola *triangular* berdasarkan pengembangan untuk struktur perkerasan jalan.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Lempung Ekspansif

Tanah ekspansif merupakan tanah yang volumenya akan berubah sesuai dengan perubahan kadar air. Perubahan volume pada tanah ekspansif sangat bergantung pada kadar airnya, semakin banyak kadar air yang diserap oleh tanah maka akan semakin besar penambahan pada volume tanah ekspansif tersebut, yang berarti tanah tersebut akan mengembang jika terjadi penambahan kadar air dan akan menyusut ketika kering.

Tanah ekspansif merupakan suatu permasalahan yang sudah tidak asing di dunia teknik sipil karena sudah banyak kasus kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh tanah ekspansif.

Deep Soil Mixing (DSM)

DSM merupakan suatu metode perbaikan tanah dengan mencampurkan zat aditif seperti kapur (*lime*), *fly ash*, ataupun semen ke tanah yang akan diperbaiki. Pencampuran dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu pencampuran kering (*dry mixing*) atau pencampuran basah (*slurry mixing*). Untuk metode pelaksanaan di Indonesia, salah satunya telah diatur oleh Departemen Pekerjaan Umum pada Penanganan Tanah Ekspansif Untuk Konstruksi Jalan.

Peraturan Daya Dukung

Persyaratan yang digunakan berdasarkan peraturan Departemen Pekerjaan Umum mengenai Pekerjaan Tanah Dasar pada Sub Bab 10.3.8 mengenai karakteristik yang terkait dengan jalan raya dan lapang terbang disyaratkan nilai tipikal CBR untuk tanah dasar.

Peraturan Pengembangan (*Swelling*)

Untuk batas pengembangan (*swelling*), berdasarkan Madhyannapu dan Puppala (2014), menjelaskan bahwa batas pengembangan untuk struktur perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah 12 mm dan

untuk struktur perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah 18 mm.

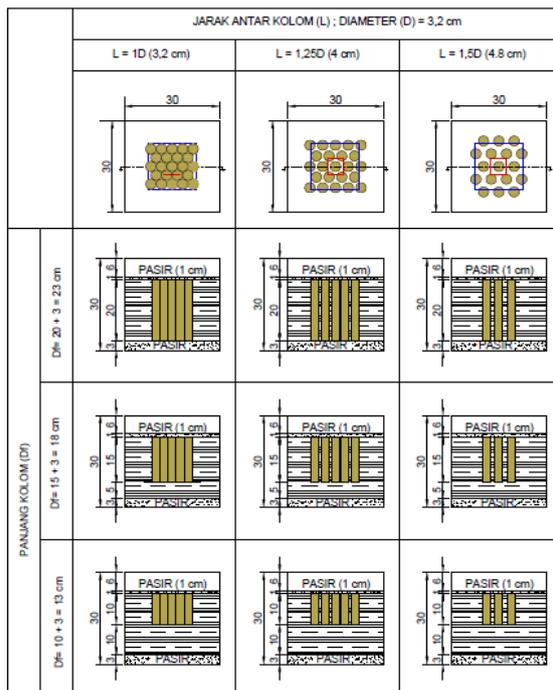
METODOLOGI PENELITIAN

Sampel tanah yang akan diteliti diambil dari Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan metode sampel terganggu. Selanjutnya sampel dijemur atau dioven sampai kondisi mendekati kering.

Untuk mengetahui sifat fisik dari sampel tanah maka dilakukan penelitian pendahuluan, yaitu : *Spesific Gravity*, *Atteberg Limit*, *Ayakan & Hidrometer*, dan *Pemadatan Standar*.

Konfigurasi Kolom DSM

Benda uji dalam penelitian ini menggunakan konfigurasi *triangular* dengan diameter kolom 3,2 cm. Benda uji akan dibuat dengan variasi jarak antar kolom (L) dan kedalaman (Df) untuk mengetahui variasi mana yang lebih berpengaruh pada peningkatan nilai daya dukung.



Gambar 1. Konfigurasi Kolom DSM

Uji Pembebanan

Untuk uji pembebanan sampel tanah akan dibuat benda uji dalam box berukuran 30x30x30 cm dengan volume tanah 30x30x20 cm. Tanah yang akan dibuat benda uji merupakan tanah yang lolos saringan no.4 dan dalam keadaan OMC.

Benda uji dengan stabilisasi kolom DSM dengan akan dibuat dengan variasi jarak dan kedalaman sesuai dengan

rancangan penelitian. Benda uji yang memiliki campuran kapur dilakukan perawatan (curing) selama 3 hari. Pengujian pembebanan dilakukan dengan dongkrak hidrolik.

Tabel 1. Rancangan Uji Pembebanan

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Kedalaman Kolom (Df)	Pu	qu
	(cm)	(cm)	kg	kg/cm ²
Tanah Asli	-	-	x	y
Tanah Asli + Campuran Kapur 8%	1D (3,2)	Df = 20	x	y
		0,75 Df = 15	x	y
		0,5 Df = 10	x	y
	1,25D (4)	Df = 20	x	y
		0,75 Df = 15	x	y
		0,5 Df = 10	x	y
1,5D (4,8)	Df = 20	x	y	
	0,75 Df = 15	x	y	
		0,5 Df = 10	x	y

Uji pengembangan

Untuk uji pengembangan tanah akan dicetak pada mold standar ASTM D-698 tipe B pada kondisi OMC. Pemberian kolom DSM akan disesuaikan dengan rasio persentase perbaikan tanah. Sampel akan diberikan beban 4,5 kg dan dilakukan pembacaan selama 3 hari.

Tabel 2. Rancangan Uji Pengembangan

Jenis Sampel	Pengembangan (%)
Tanah Asli	x
DSM 7 kolom 3,2 cm	x
DSM 6 kolom 4 cm	x
DSM 5 kolom 4,8 cm	x
DSM 7 kolom 4,8 cm	x
Stabilisasi Kapur 100 %	x

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Sifat Fisik Tanah

Berdasarkan pengujian untuk mengetahui sifat fisik tanah didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Penelitian Sifat Fisik Tanah

Jenis Percobaan	Satuan	Nilai
Specific Gravity (Gs)		2,524
Berat Volume	gr/cm ³	1,69
Batas Cair (LL)	%	77,35
Batas Plastis (PL)	%	29,84
Batas Susut (SL)	%	8,3
Indeks Plastisitas (PI)	%	47,52
Fraksi Lempung (C)	%	43

Dari hasil penelitian sifat fisik tanah tersebut, berdasarkan klasifikasi USCS tanah dapat diklasifikasikan sebagai tanah CH (lempung anorganik dengan plastisitas tinggi).

Analisa Gradasi dan Butrian Tanah

Berdasarkan hasil pengujian dengan ayakan dan hydrometer didapatkan hasil gradasi untuk sampel tanah. Sampel tanah

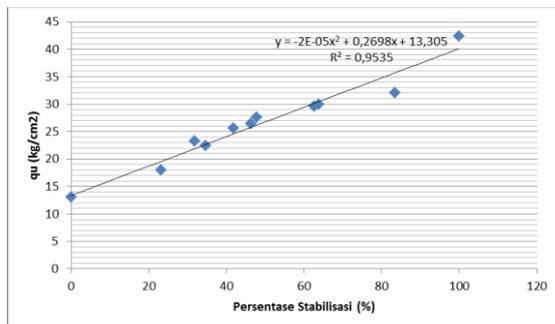
yang lolos saringan no.200 sebesar 96,24%. Berdasarkan klasifikasi USCS jika tanah lebih dari 50% lolos saringan no.200, maka tanah termasuk tanah berbutir halus.

Pemadatan Standar Tanah Asli

Penelitian pemadatan berdasarkan pada metode ASTM D-698 (Metode B) dengan menggunakan mold dengan berat 6000 gram, diameter 15,5 cm dan tinggi mold 11 cm. Berdasarkan hasil analisa hasil pengujian pemadatan maka didapatkan nilai OMC sebesar 21,8 % dengan berat isi maksimum 1,43 gr/cm³. Untuk pembuatan benda uji semua sampel dibuat dengan kadar OMC.

Hubungan Daya Dukung terhadap Persentase Stabilisasi Tanah

Untuk mengetahui besarnya nilai persentase tanah yang dilakukan stabilisasi dengan metode DSM adalah dengan mengetahui volume total kolom stabilisasi DSM dan dengan mengetahui volume area pengaruh akibat beban yaitu sebesar 15x15x20 cm.



Gambar 2. Hubungan Nilai Tegangan terhadap Persentase Stabilisasi

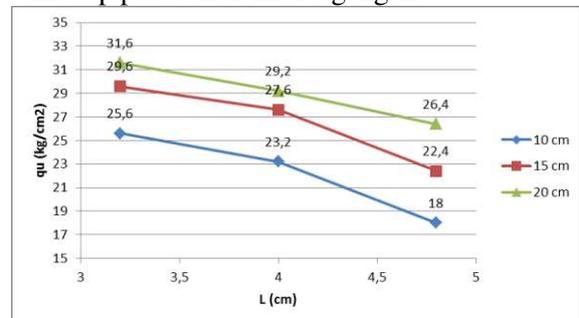
Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya area yang dilakukan perbaikan maka akan semakin meningkatkan nilai daya dukung tanah. Selanjutnya hasil analisa ini dapat digunakan untuk menganalisa nilai potensi mengembang (*swelling potential*).

Analisa Daya Dukung Batas Tanah

Metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya dukung batas tanah adalah dari hasil uji pembebanan, dimana dari hasil uji pembebanan hanya didapat nilai beban dan penurunan. Untuk mendapatkan nilai daya dukung batas tanah, benda uji diberikan beban hingga mencapai keadaan runtuh. Keadaan runtuh dapat dilihat dari grafik dimana ketika penurunan yang terjadi

sangat besar namun penambahan beban yang terjadi sangat kecil.

Analisa daya dukung berdasarkan variasi jarak antar kolom (L) dan kedalaman kolom (Df) dilakukan untuk mengetahui variasi mana yang lebih berpengaruh terhadap perubahan nilai tegangan.

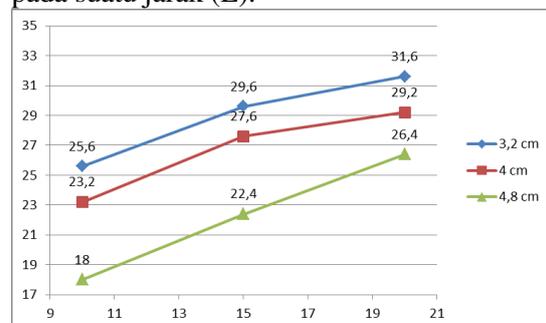


Gambar 3. Perbandingan Nilai Tegangan pada Variasi Jarak (L) terhadap Kedalaman (Df)

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan tanah asli memiliki nilai tegangan 13 kg/cm². Maka selanjutnya dilakukan analisa sesuai variasi jarak dan kedalaman.

Variasi jarak (L) terhadap Kedalaman (Df) menunjukkan perubahan nilai tegangan pada suatu kedalaman (Df) yang diakibatkan perubahan nilai jarak (L). Dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa akibat perubahan jarak kolom (L) dapat berpengaruh terhadap nilai daya dukung. Semakin rapat jarak antar kolom maka akan semakin besar nilai qu yang terjadi. Pada setiap kedalaman nilai qu terbesar terjadi pada jarak antar kolom (L) = 3,2 cm. Hal ini dikarenakan luasan tanah stabilisasi yang menerima plat beban akan menjadi lebih besar.

Variasi kedalaman (Df) terhadap Jarak (L) dapat menunjukkan perubahan yang diakibatkan perubahan nilai kedalaman (Df) pada suatu jarak (L).



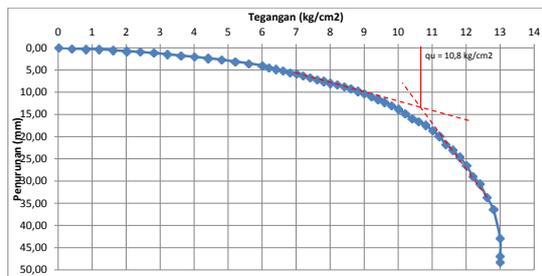
Gambar 4. Perbandingan Nilai Tegangan pada Variasi Kedalaman (Df) terhadap Jarak (Df)

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa perubahan nilai kedalaman berpengaruh pada perubahan nilai tegangan. Semakin besar nilai kedalaman maka akan semakin besar nilai tegangan. Kedalaman kolom berpengaruh pada persentase stabilisasi, dimana semakin dalam kolom maka akan semakin besar nilai volume perbaikan. Hal ini seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa semakin besar persentase rasio perbaikan maka semakin besar nilai tegangan yang terjadi. Berdasarkan ketentuan tersebut dapat dilihat pada masing-masing jarak kolom bahwa pada kedalaman (D_f) = 20 cm didapat nilai tegangan yang paling tinggi.

Analisa Daya Dukung Batas Tanah menggunakan Metode *Tangent Intersection*

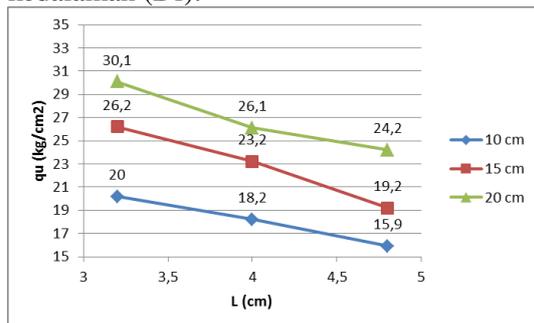
Untuk mendapatkan nilai daya dukung batas tanah dapat digunakan beberapa metode, salah satunya adalah metode *tangent intersection*. Metode ini digunakan pada grafik hasil uji pembebanan dengan menarik garis tangensial dari sisi atas dan sisi bawah grafik dimana garis perpotongannya merupakan nilai daya dukung batas tanah.

Berdasarkan metode ini didapatkan nilai daya dukung tanah asli sebesar 10,8 kg/cm^2 .



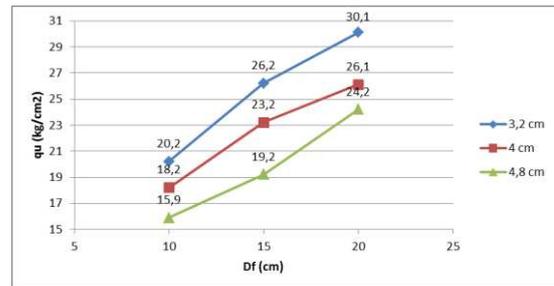
Gambar 5. Nilai Daya Dukung Tanah Asli berdasarkan Metode *Tangent Intersection*

Selanjutnya dilakukan pula analisa berdasarkan variasi jarak (L) terhadap kedalaman (D_f).



Gambar 6. Perbandingan Nilai Daya Dukung pada Variasi Jarak antar Kolom (L) menggunakan Metode *Tangent Intersection*

Dapat dilihat dari Gambar 6 bahwa dengan metode ini pun nilai daya dukung dapat mengalami perubahan saat terjadi perubahan pada jarak antar kolom (L). Semakin kecil jarak antar kolom (L) maka akan semakin besar nilai tegangan yang terjadi.

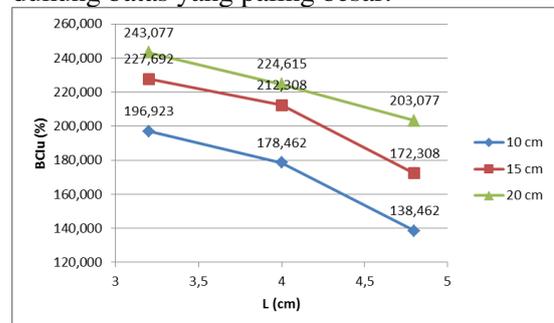


Gambar 7. Perbandingan Nilai Daya Dukung pada Variasi Kedalaman (D_f) pada menggunakan Metode *Tangent Intersection*

Pada variasi kedalaman (D_f) terhadap jarak (L) dapat dilihat pada Gambar 7, perubahan pada kedalaman dapat berpengaruh pada perubahan nilai tegangan. Semakin dalam kolom perbaikan maka akan memberikan nilai tegangan yang paling besar.

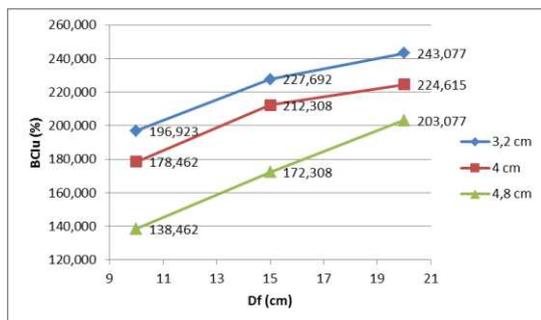
Analisis Bearing Capacity Improvement (BCI_u)

Analisa Bearing Capacity Improvement (BCI_u) merupakan analisa untuk mengetahui peningkatan daya dukung batas antara tanah asli dengan tanah yang diperbaiki dengan metode DSM. Dari hasil analisa ini dapat diketahui variasi jarak kolom (L) dan kedalaman kolom (D_f) yang dapat memberikan peningkatan nilai daya dukung batas yang paling besar.



Gambar 8. Perbandingan Nilai BCI_u pada Variasi Jarak Antar Kolom (L)

Analisa BCI_u pada variasi jarak (L) terhadap kedalaman (Df) dapat dilihat pada Gambar 8. Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa semakin rapat kolom akan memberikan peningkatan nilai BCI_u . Peningkatan yang paling signifikan terlihat dari perubahan diameter 4,8 cm (1,5D) menjadi diameter 4 cm (1,25D) dengan rata-rata mengalami kenaikan nilai BCI_u sebesar 35,8 %. Peningkatan juga terjadi pada perubahan dari diameter 4 cm (1,25D) menjadi diameter 3,2 cm (1D) namun tidak terlalu signifikan dengan rata-rata kenaikan nilai BCI_u yang terjadi sebesar 16,1 %.



Gambar 9. Perbandingan Nilai BCI_u pada Variasi Kedalaman Kolom (Df)

Pada variasi kedalaman kolom (Df) dapat dilihat pada Gambar 9, bahwa besar nilai kedalaman kolom maka akan memberikan peningkatan nilai BCI_u . Peningkatan yang paling signifikan terlihat dari perubahan kedalaman 10 cm menjadi kedalaman 15 cm dengan rata-rata mengalami kenaikan nilai BCI_u sebesar 32,81 %. Peningkatan juga terjadi pada perubahan dari kedalaman 15 cm menjadi kedalaman 20 cm namun tidak terlalu signifikan dengan rata-rata kenaikan nilai BCI_u yang terjadi sebesar 22,56 %.

Berdasarkan analisa BCI_u maka didapatkan nilai peningkatan yang paling besar terjadi pada kedalaman kolom (Df) = 20 cm dengan jarak antar kolom (L) = 3,2 cm dengan nilai BCI_u sebesar 243,007%

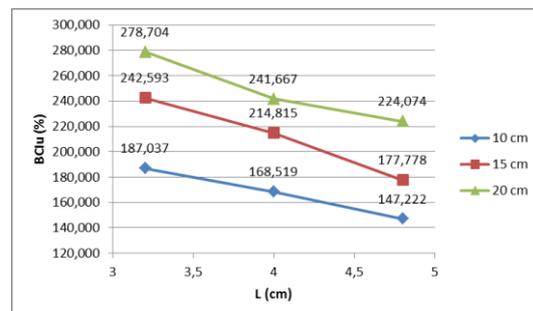
Pengaruh Variasi Jarak (L) dan Kedalaman (Df) terhadap BCI_u

Perubahan jarak antar kolom (L) dan kedalaman kolom (Df) akan berpengaruh terhadap rasio tanah yang diperbaiki. Berdasarkan hasil analisa didapatkan variasi jarak antar kolom (L) secara rata-rata akan memberikan kenaikan daya dukung 51,282% sementara perubahan kedalaman (Df) akan memberikan kenaikan daya dukung rata-rata

sebesar 52,307%. Pada variasi kedalaman (Df) akan memberikan nilai peningkatan sedikit lebih besar dari pada variasi jarak (L) hal ini dikarenakan setiap perubahan kedalaman akan memberikan perubahan rasio tanah yang diperbaiki lebih besar dari pada perubahan jarak antar kolom.

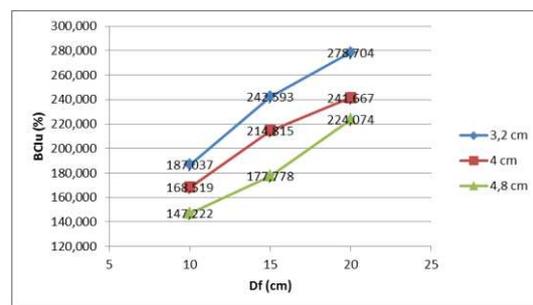
Analisis Bearing Capacity Improvement (BCI_s) menggunakan metode *Tangent Intersection*

Pada analisa BCI_s ini akan digunakan nilai daya dukung yang didapatkan dengan metode *Tangent Intersection*.



Gambar 10. Perbandingan Nilai BCI_s pada Variasi Jarak antar Kolom (L)

Berdasarkan Gambar 10 perubahan jarak antar kolom (L) akan berpengaruh terhadap kenaikan nilai tegangan. Peningkatan yang paling signifikan terlihat dari perubahan diameter 4 cm (1,25D) menjadi diameter 3,2 cm (1D) dengan rata-rata mengalami kenaikan nilai BCI_s sebesar 27,78%. Peningkatan juga terjadi pada perubahan dari diameter 4,8 cm (1,5D) menjadi diameter 4 cm (1,25D) namun tidak terlalu signifikan dengan rata-rata kenaikan nilai BCI_s yang terjadi sebesar 25,31 %.



Gambar 11. Perbandingan Nilai BCI_s pada Variasi Kedalaman Kolom (Df)

Dapat dilihat pada Gambar 11, perubahan pada kedalaman kolom dapat berpengaruh terhadap nilai BCI_s . Peningkatan yang paling signifikan terlihat dari perubahan kedalaman 10 cm menjadi kedalaman 15 cm

dengan rata-rata mengalami kenaikan nilai BCI_s sebesar 44,14 %. Peningkatan juga terjadi pada perubahan dari kedalaman 15 cm menjadi kedalaman 20 cm namun tidak terlalu signifikan dengan rata-rata kenaikan nilai BCI_s yang terjadi sebesar 36,42 %.

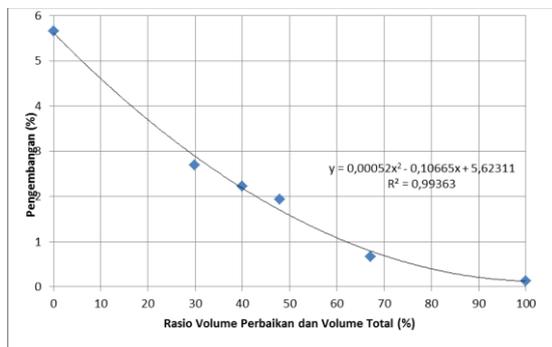
Berdasarkan analisa BCI_s maka didapatkan nilai peningkatan yang paling besar terjadi pada kedalaman kolom (Df) = 20 cm dengan jarak antar kolom (L) = 3,2 cm dengan nilai BCI_u sebesar 278,704%

Pengaruh Variasi Jarak (L) dan Kedalaman (Df) terhadap BCI_s

Perubahan jarak antar kolom (L) dan kedalaman kolom (Df) akan berpengaruh terhadap rasio tanah yang diperbaiki. Berdasarkan hasil analisa didapatkan variasi jarak antar kolom (L) secara rata-rata akan memberikan kenaikan daya dukung 53,086% sementara perubahan kedalaman (Df) akan memberikan kenaikan daya dukung rata-rata sebesar 80,556%. Pada variasi kedalaman (Df) akan memberikan nilai peningkatan lebih besar dari pada variasi jarak (L) hal ini dikarenakan setiap perubahan kedalaman akan memberikan perubahan rasio tanah yang diperbaiki lebih besar dari pada perubahan jarak antar kolom.

Pengujian Pengembangan (Swelling)

Uji pengembangan dilakukan pada kondisi kadar air optimum (OMC) dengan memberikan variasi kolom DSM, dimana kolom DSM tersebut akan dihitung nilai rasio perbaikan tanahnya. Sehingga akan didapatkan hasil perbandingan rasio tanah perbaikan dengan nilai pengembangan.



Gambar 12. Perbandingan Rasio Perbaikan Tanah dengan Persentase Pengembangan

Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa kolom DSM dengan campuran kapur 8% dapat mengurangi nilai pengembangan. Dengan penambahan kolom DSM pengembangan akan tetap terjadi, namun

besarnya nilai pengembangan dapat dikurangi secara signifikan dari sifat pengembangan tanah asli.

Grafik tersebut menghasilkan persamaan yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai pengembangan pada beda uji yang dibuat dalam model *box*. Nilai pengembangan pada benda uji *box* dapat diketahui dengan membandingkan nilai persentase perbaikan tanah dalam *box* dengan nilai pengembangannya.

Tabel 4. Nilai Pengembangan terhadap Persentase Stabilisasi

Jenis	Variabel	Persentase Stabilisasi (%)	Swelling (%)	Penurunan Swelling (%)
Tanah Asli	-	0	5,659	0
Tanah Asli + Kolom Stabilisasi DSM dengan 8% Kapur	L = 3,2 cm ; Df = 10 cm	42	2,061	63,581
	L = 4 cm ; Df = 10 cm	32	2,743	51,529
	L = 4,8 cm ; Df = 10 cm	23	3,445	39,124
	L = 3,2 cm ; Df = 15 cm	63	0,968	82,895
	L = 4 cm ; Df = 15 cm	48	1,702	69,924
	L = 4,8 cm ; Df = 15 cm	35	2,527	55,346
	L = 3,2 cm ; Df = 20 cm	84	0,334	94,098
	L = 4 cm ; Df = 20 cm	64	0,927	83,619
	L = 4,8 cm ; Df = 20 cm	46	1,818	67,875

Dari Tabel 4 diketahui bahwa tanah yang distabilisasi menggunakan kolom DSM dengan variasi jarak kolom (L) = 3,2 cm dengan kedalaman (Df) = 20 cm mengalami pengembangan yang paling kecil sebesar 0,334 %. Variasi tersebut memberikan penurunan sebesar 94,098 % dari pada kondisi tanah aslinya. Dari hasil tersebut, nilai pengembangan akan berkurang dengan bertambahnya persentase stabilisasi tanah yang diperbaiki dengan kolom DSM.

Daya dukung Izin berdasarkan Beban Kendaraan & Perkerasan Jalan

Konstruksi struktur jalan yang akan dibuat adalah jalan kelas 1 dengan beban yang bekerja sebesar 2,5215 kg/cm².

Berdasarkan peraturan Departemen Pekerjaan Umum tentang Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstuksi Jalan, pada Sub Bab 7.5 untuk kelas jalan 1 menggunakan faktor keamanan (FS) = 1,4

Tabel 5. Daya Dukung Izin berdasarkan Beban Kendaraan & Perkerasan Jalan

Jenis	Variabel	q_u (kg/cm ²)	q (qu/FS)	Daya Dukung Izin
Tanah Asli	-	13,0	9,286	Memenuhi
Tanah Asli + Kolom Stabilisasi DSM dengan 8% Kapur	L = 3,2 cm ; Df = 10 cm	25,6	18,286	Memenuhi
	L = 4 cm ; Df = 10 cm	23,2	16,571	Memenuhi
	L = 4,8 cm ; Df = 10 cm	18,0	12,857	Memenuhi
	L = 3,2 cm ; Df = 15 cm	29,6	21,143	Memenuhi
	L = 4 cm ; Df = 15 cm	27,6	19,714	Memenuhi
	L = 4,8 cm ; Df = 15 cm	22,4	16,000	Memenuhi
	L = 3,2 cm ; Df = 20 cm	31,6	22,571	Memenuhi
	L = 4 cm ; Df = 20 cm	29,2	20,857	Memenuhi
	L = 4,8 cm ; Df = 20 cm	26,4	18,857	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5 tanah asli dan tanah stabilisasi dengan kolom DSM memenuhi daya dukung izin berdasarkan beban kendaraan dan beban perkerasan jalan.

Daya dukung Izin untuk Lapisan Tanah Dasar (Subgrade)

Jika pada penelitian ini tanah digunakan sebagai lapisan tanah dasar maka akan dianalisa apakah tanah memenuhi daya dukung izin. Kriteria desain untuk nilai CBR dengan klasifikasi tanah CH memiliki nilai $\leq 15\%$. Pada analisa ini diambil nilai CBR tanah sebesar 5% . Nilai CBR tersebut akan di konversi menjadi kg/cm^2 , sehingga menghasilkan nilai daya dukung izin sebesar $2,319 \text{ kg/cm}^2$

Tabel 6. Daya Dukung Izin untuk Lapisan Tanah Dasar (subgrade)

Jenis	Variabel	qu (kg/cm^2)	q (qu/FS)	Daya Dukung Izi Lapisan Subgrad
Tanah Asli	-	13,0	9,286	Memenuhi
Tanah Asli + Kolom Stabilisasi DSM dengan 8% Kapur	L = 3,2 cm ; Df = 10 cm	25,6	18,286	Memenuhi
	L = 4 cm ; Df = 10 cm	23,2	16,571	Memenuhi
	L = 4,8 cm ; Df = 10 cm	18,0	12,857	Memenuhi
	L = 3,2 cm ; Df = 15 cm	29,6	21,143	Memenuhi
	L = 4 cm ; Df = 15 cm	27,6	19,714	Memenuhi
	L = 4,8 cm ; Df = 15 cm	22,4	16,000	Memenuhi
	L = 3,2 cm ; Df = 20 cm	31,6	22,571	Memenuhi
	L = 4 cm ; Df = 20 cm	29,2	20,857	Memenuhi
	L = 4,8 cm ; Df = 20 cm	26,4	18,857	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 6 tanah asli dan tanah stabilisasi dengan kolom DSM memenuhi daya dukung izin untuk digunakan sebagai lapisan tanah dasar (subgrade).

Nilai Pengembangan (swelling) Izin untuk Konstruksi Perkerasan Jalan

Berdasarkan persyaratan, untuk nilai pengembangan maksimum sebesar $0,8\%$, persentase perbaikan yang harus dilakukan adalah sebesar $67,32\%$. Dengan persyaratan persentase perbaikan sebagai berikut maka variasi berdasarkan Tabel 4 adalah dengan jarak antar kolom (L) = 3,2 cm dan kedalaman kolom (Df) = 20 cm adalah variasi yang dapat digunakan sesuai dengan persyaratan tersebut.

Variasi Jarak (L) dan Kedalaman (Df) sesuai dengan Persyaratan Daya Dukung dan Pengembangan (Swelling)

Dari hasil pembahasan mengenai persyaratan nilai daya dukung izin dan nilai pengembangan (swelling) maka konfigurasi yang dapat digunakan adalah konfigurasi dengan jarak antar kolom (L) = 3,2 cm dan kedalaman kolom (Df) = 20 cm, dengan nilai daya dukung izin sebesar $31,6 \text{ kg/cm}^2$ dan

nilai pengembangan sebesar $0,334\%$. Konfigurasi tersebut dapat digunakan sebagai lapisan tanah dasar, lapisan pondai bawah dan lapisan pondasi atas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pembahasan pada penelitian stabilisasi tanah ekspansif di Bojonegoro menggunakan Kolom DSM dengan diameter kolom 3,2 cm, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sampel tanah yang dilakukan stabilisasi menggunakan kapur 8% dapat meningkatkan nilai tegangan yang terjadi. Tanah asli memiliki nilai tegangan sebesar 13 kg/cm^2 . Setelah dilakukan stabilisasi pada area pengaruh, tegangan meningkat menjadi $42,4 \text{ kg/cm}^2$. Peningkatan nilai tegangan akibat kadar kapur terjadi sebesar $326,15\%$ dibandingkan dari tanah asli.
2. Peningkatan nilai tegangan dengan stabilisasi kolom DSM berbanding lurus dengan rasio volume perbaikan. Peningkatan paling besar terjadi pada jarak antar kolom (L) = 3,2 cm dan kedalaman (Df) = 20 cm. Variasi jarak dan kedalaman tersebut mampu memberikan peningkatan nilai tegangan sebesar $243,077\%$ dibandingkan dari tanah asli, dengan rasio volume perbaikan sebesar 84% .
3. Stabilisasi dengan kolom DSM juga dapat memperkecil nilai pengembangan (swelling) yang terjadi. Pada tanah asli nilai pengembangan (swelling) yang terjadi sebesar $5,659\%$. Dengan jarak antar kolom (L) = 3,2 cm dan kedalaman (Df) = 20 cm mampu menurunkan nilai pengembangan (swelling) sebesar $94,098\%$ dimana nilai pengembangan (swelling) menjadi $0,334\%$.
4. Berdasarkan hasil analisa untuk struktur perkerasan jalan, konfigurasi dengan jarak kolom (L) = 3,2 cm dan kedalaman (Df) = 20 cm memenuhi persyaratan daya dukung izin dan pengembangan untuk digunakan sebagai lapisan tanah dasar (subgrade) untuk perkerasan lentur (flexible pavement).

Setelah melakukan penelitian, ada beberapa saran yang dapat diberikan jika nantinya akan diadakan penelitian dengan topik yang sama agar penelitian selanjutnya dapat terus berkembang kedepannya. Saran yang diberikan antara lain :

1. Tanah lempung ekspansif sangat bergantung dari density dan kadar air, sehingga perlu diperhatikan kondisi tanah dan perlu variasi lain yang dapat dikembangkan berkaitan dengan density dan kadar air.
2. Perlunya dilakukan penelitian dengan skala yang lebih besar agar bisa lebih mendekati kondisi yang ideal dengan yang terjadi di lapangan.
3. Perlunya dilakukan pengujian lainnya sesuai dengan peraturan Departemen Pekerjaan Umum untuk Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan, seperti pengujian geser langsung, triaxial, dan California Bearing Ratio (CBR).
4. Jika akan dilakukan penelitian yang sama dengan zat aditif yang berbeda diharapkan tanah diambil dari lokasi yang sama dengan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bouassida, M. dan Porbaha, A. (2004). Ultimate Bearing Capacity of Soft Clays Reinforced by a Group of Columns – Application to a Deep Mixing Technique. *Article in Soil and Foundations*. Tokyo: Japanese Geotechnical Society.
- Das, B. M. 1993. *Mekanika Tanah, Jilid II*. Cetakan I. Terjemahan Noor E. & Indrasurya, B. M. Surabaya: Institut Teknologi 10 November.
- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah, Jilid I*. Terjemahan Noor E. & Indrasurya, B. M. Jakarta: Erlangga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Pedoman Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Hardiyatmo, H. C. 2006. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- Ismail, A. 2016. Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Kapur Metode Deep Soil Mixing tipe Panels Berdiameter 4,5 cm Terhadap Nilai Daya Dukung Tanah. *Naskah Terpublikasi Teknik Sipil FT-UB*. Malang: Universitas Brawijaya
- Laras, A. W. 2016. Pengaruh Penambahan Kapur dengan Lamanya Waktu Perawatan (curing) Terhadap Kekuatan dan Pengembangan (swelling) Tanah Lempung Ekspansif. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Madhyannapu, R. S. dan Puppala, A. J. 2014. Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils. *Journal of Geotechnical*
- Muntohar, A. S. 2010. Uji Model Kuat Dukung dan Karakteristik Beban Penurunan Tanah Lunak dengan Perkuatan Kolom di Laboratorium. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*. 10 (3):202-207. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Ranggaesa, R.A. 2014. Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Kekuatan dan Pengembangan (swelling) pada Tanah Lempung Ekspansif Bojonegoro. *Naskah Terpublikasi Teknik Sipil FT-UB*. Malang: Universitas Brawijaya