

PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG MENGUNAKAN CAMPURAN KAPUR DAN DIFA SS

Agus Susanto, Renaningsih, Anto Budi Listyawan, Umi Nur Hidayati

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email: as240@ums.ac.id

Abstrak

Tanah lempung Desa Beluk, Bayat, Klaten ketika musim kemarau retak-retak karena penyusutan dan ketika musim penghujan lengket serta kuat dukungannya rendah. Hal ini menyebabkan kerusakan jalan yang dibangun di atasnya menjadi cepat rusak. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya perbaikan dengan stabilisasi tanah. Penelitian ini berupa stabilisasi tanah tersebut menggunakan kapur dan Difa SS dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% kapur dan 2,5% Difa SS. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisis dan kuat geser tanah sebelum dan sesudah di stabilisasi dengan kapur dan Difa SS. Hasil uji fisis tanah asli didapat ω 7,26%, Gs 2,61 gr/cm³, LL 62,41%, PL 34,01%, SL 17,69%, PI 28,40%. Klasifikasi tanah asli menurut AASHTO termasuk kelompok A-7-5 dan menurut USCS termasuk kelompok OH. Setelah distabilisasi nilai kadar air, berat jenis, LL, PL, PI, dan persentase lolos saringan No.200 mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase kapur. Klasifikasi tanah setelah distabilisasi 0–5% kapur + 2,5% Difa SS menurut AASHTO termasuk kelompok A-7-5 dan menurut USCS termasuk kelompok OH sedangkan pada 7,5–10% kapur + 2,5% Difa SS menurut AASHTO termasuk A-5 dan menurut USCS termasuk OL. Hasil uji pematatan tanah asli didapat $\gamma_{d_{maks}}$ 1,373 gr/cm³, ω_{opt} 28,2% seiring bertambahnya persentase kapur $\gamma_{d_{maks}}$ mengalami peningkatan dengan nilai terbesar 1,623 gr/cm³ dan ω_{opt} mengalami penurunan dengan nilai terkecil 16%. Hasil Direct Shear Test menunjukkan penambahan kapur dan Difa SS menyebabkan nilai kohesi, sudut gesek dan kuat geser mengalami peningkatan. Nilai kohesi terbesar adalah 1,891 kg/m², sudut gesek terbesar adalah 37,965° dan kuat geser terbesar adalah 4,897 kg/m².

Kata kunci: Difa SS; kapur; kohesi; kuat geser; sudut gesek dalam; tanah lempung

Pendahuluan

Tanah terdiri dari butiran mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk menjadi partikel padat disertai zat cair dan udara yang mengisi ruang antar partikel padat tersebut (Listyawan dkk, 2017). Dalam bidang Teknik Sipil, tanah merupakan tempat berdirinya struktur atau konstruksi dan juga merupakan material penting yang digunakan baik pada lapisan tanah dasar, pendukung pondasi, peresapan drainase, dan lain-lain. Struktur dan konstruksi yang dibangun di atas tanah diantaranya, gedung, jembatan, jalan, bendungan, dermaga, dan lain sebagainya. (Jafri, 2009)

Kuat geser tanah adalah kekuatan tanah untuk memikul beban-beban atau gaya yang dapat menyebabkan kelongsoran, keruntuhan, gelincir, dan pergeseran tanah. Kemampuan tanah dalam menahan tegangan yang mengakibatkan pergeseran pada tanah dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain adalah derajat kejenuhan, kandungan mineral yang terdapat pada tanah tersebut dan juga metode pengujian yang dilakukan. Jenis tanah yang sering bermasalah dalam pembangunan pekerjaan sipil adalah tanah lempung, karena plastisitasnya tinggi, daya dukung rendah, serta kembang susut tinggi. Untuk mengatasinya perlu dilakukan stabilisasi tanah. (Nurdian, S. dkk, 2015).

Berdasarkan penelitian Bahriansyah (2017) di Desa Beluk, Bayat, Klaten diperoleh hasil nilai ω 12,75%, Gs 2,611%, dan PI 43,93%. Dari nilai Indeks Plastisitas diketahui bahwa tanah ini termasuk tanah lempung plastisitas tinggi, sehingga berpengaruh negatif terhadap struktur di atasnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya perbaikan dengan stabilisasi tanah. Penelitian ini berupa stabilisasi tanah tersebut menggunakan kapur dan Difa SS dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% kapur dan 2,5% Difa SS ditinjau dari sifat fisis dan sifat mekanis (kuat geser)-nya.

Stabilisasi tanah yang diterapkan dalam penelitian ini adalah dengan menambahkan material Difa SS dan kapur sebagai bahan stabilisator. Difa merupakan bahan aditif yang berfungsi memadatkan (solidifikasi) dan menstabilkan (*stabilizer*). Prinsip kerja komponen Difa adalah dengan menyisihkan mineral yang ada pada permukaan partikel tanah. Sedangkan kapur adalah senyawa yang sangat cocok jika digabungkan dengan tanah lempung karena kapur

akan segera bereaksi membentuk suatu campuran yang stabil apabila diaplikasikan pada tanah yang mengandung lempung, hasil campurannya akan bersifat mudah dikerjakan dan dipadatkan. (PT. DIFA Mahakarya, 2012)

Menurut SNI 3420: 2016 Kuat geser merupakan gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Tujuan uji kuat geser langsung adalah untuk memperoleh parameter kuat geser dan sudut geser tanah tidak terganggu (*undisturb*) maupun tanah yang terganggu (*disturb*) dan untuk menjamin ketepatan prosedur pengujian. Hardiyatmo (2002) teori yang dipakai dalam menentukan kuat geser tanah adalah *Mohr-Coloumb* yang menyatakan bahwa kuat geser (τ) merupakan fungsi dari kohesi dan sudut geser dalam tanah. Kekuatan geser tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

Bahan dan Metode Penelitian

Tanah asli diambil dari Desa Beluk Kecamatan Bayat Kabupaten Klaten pada kedalaman > 40 cm dari permukaan tanah dengan kondisi terganggu (*disturbed*) kemudian dikondisikan kering udara. Bahan stabilisasi tanah yang digunakan adalah kapur dan Difa SS. Kapur yang digunakan merupakan jenis kapur padam atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan bahan pozolan. Difa SS merupakan bahan yang berfungsi untuk meningkatkan efektifitas ikatan antara butiran tanah dan semen pada pekerjaan stabilisasi tanah menggunakan semen. Bahan ini diperoleh dari produsennya yaitu PT. Difa SS Mahakarya, Sleman, Yogyakarta. Pengujian sifat fisis dan mekanis dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Tahap penelitian dimulai dengan studi literatur, menentukan lokasi pengambilan tanah, melakukan pengeringan tanah sampai tanah dalam kondisi kering udara, penyaringan lolos saringan No.4, menyediakan Difa SS dan kapur lolos saringan No. 40 serta mempersiapkan alat yang digunakan dalam penelitian.

Tahap selanjutnya adalah melakukan uji sifat fisis tanah yang meliputi pengujian kadar air, berat jenis tanah, batas-batas *atterberg*, analisa *hydrometer* dan analisa saringan terhadap tanah asli dan tanah campuran 2,5% Difa SS dan 0% ; 2,5% ; 5% ; 7,5% ; 10 % kapur. Kemudian melakukan uji pemadatan dengan *standard Proctor* untuk mendapatkan nilai kadar air optimum (ω_{opt}) dan kepadatan maksimum ($\gamma_{d_{maks}}$). Selanjutnya melakukan pengujian kuat geser tanah dengan alat uji *direct shear test* (DST). Kadar air untuk pembuatan benda uji DST tanah asli dan tanah campuran menggunakan kadar air optimum masing-masing variasi.

Tahap akhir penelitian berupa analisis data hasil pengujian dan menyusun pembahasan, diakhiri dengan membuat kesimpulan penelitian.

Hasil dan Pembahasan

A. Uji Sifat Fisis Kapur

Uji sifat fisis kapur terdiri dari uji kadar air dan berat jenis. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan kadar air kapur 0,00% dan berat jenis kapur sebesar 2,11.

Tabel 1. Hasil Uji Sifat Fisis Tanah Asli dan Campuran

Jenis Pengujian	Variasi Campuran					
	Tanah Asli	0% Kapur 2,5% Difa SS	2,5% Kapur 2,5% Difa SS	5% Kapur 2,5% Difa SS	7,5% Kapur 2,5% Difa SS	10% Kapur 2,5% Difa SS
Kadar Air (%)	7,26	6,92	6,64	6,10	5,85	5,29
Berat Jenis	2,61	2,59	2,56	2,46	2,22	2,19
Batas Cair (%)	62,41	64,36	55,45	51,94	49,10	47,58
Batas Plastis (%)	34,01	31,38	34,37	38,75	39,92	40,10
Batas Susut (%)	17,69	16,57	18,30	19,76	21,01	22,73
Indeks Plastisitas (%)	28,40	32,98	21,07	13,19	9,18	7,48
Lolos Saringan No.200 (%)	81,20	82,90	76,30	68,92	56,60	51,07
Klasifikasi Tanah						
USCS	OH	OH	OH	OH	OL	OL
AASHTO	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-5	A-5

B. Uji Sifat Fisis Difa SS SS

Pengujian sifat fisis Difa SS SS terdiri dari uji kadar air dan berat jenis. Dari hasil pengujian tersebut didapat kadar air Difa SS SS sebesar 1,95% dan berat jenis Difa SS SS sebesar 2,36.

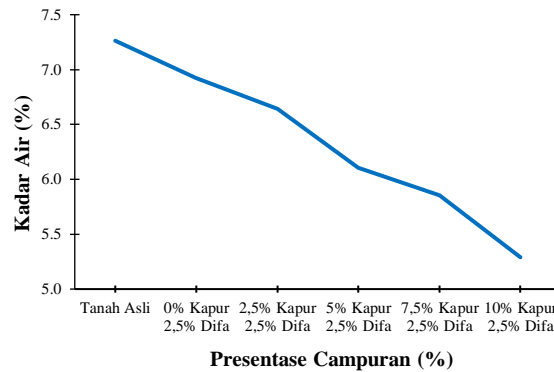
C. Uji Sifat Fisis Tanah Asli dan Tanah Campuran

Pengujian sifat fisis tanah meliputi uji kadar air, berat jenis, batas-batas *Atteberg*, dan gradasi butiran. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

1. Kadar Air

Dari hasil pengujian kadar air terhadap tanah asli dan tanah campuran didapatkan kadar air tanah asli sebesar 7,26% dan setelah distabilisasi kadar airnya menurun seiring dengan bertambahnya persentase kapur. Penurunan kadar air ini terjadi karena kadar air kapur dan Difa SS lebih rendah daripada tanah asli. Selain itu

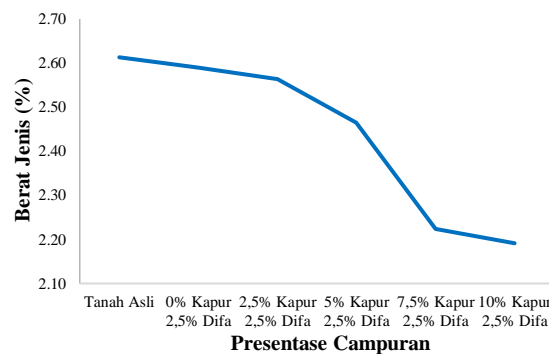
pada campuran tanah, kapur, Difa SS terjadi proses sementasi yang membutuhkan air sehingga kadar airnya menurun. Grafik hubungan antara kadar air dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Hubungan antara Kadar Air dan Presentase Campuran

2. Berat Jenis

Pengujian specific gravity terhadap tanah asli dan campuran menunjukkan bahwa berat jenis tanah asli sebesar 2,61 dan setelah distabilisasi berat jenisnya menurun seiring bertambahnya persentase kapur. Hal ini terjadi karena berat jenis kapur sebesar 2,11 dan Difa SS sebesar 2,36 lebih rendah dari pada berat jenis tanah asli. Grafik hubungan antara berat jenis dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 2.

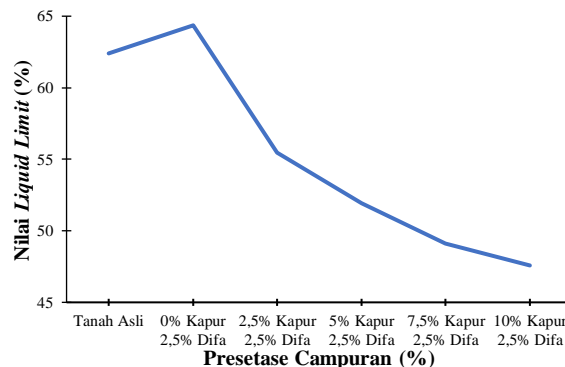


Gambar 2. Grafik Hubungan antara Berat Jenis dan Presentase Campuran

3. Batas Atteberg

a. Batas Cair (LL)

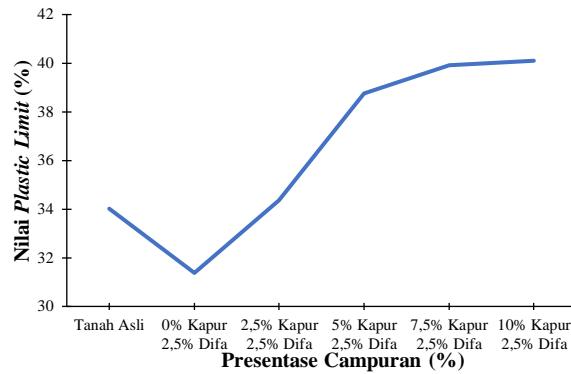
Pengujian *liquid limit* terhadap tanah asli dan campuran didapatkan nilai batas cair tanah asli sebesar 62,41% dan setelah tanah distabilisasi batas cairnya menurun seiring bertambahnya persentase kapur. Hal ini disebabkan oleh terjadinya sementasi butiran tanah oleh campuran Difa SS dan kapur sehingga butiran tanah membesar dan ikatan antar butirannya menurun. Grafik hubungan batas cair dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Batas dan Presentase Campuran

b. Batas Plastis (PL)

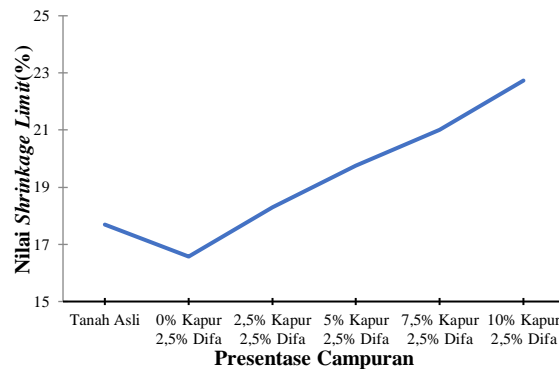
Dari hasil pengujian *plastic limit* terhadap tanah asli dan campuran didapatkan nilai batas plastis tanah asli sebesar 34,01% dan setelah distabilisasi nilai batas platisnya meningkat. Peningkatan batas plastis terjadi karena Difa SS dan kapur membuat kadar air yang dibutuhkan oleh tanah menjadi lebih banyak untuk merubah tanah dari kondisi semi padat menjadi plastis. Grafik hubungan antara batas plastis dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 4.



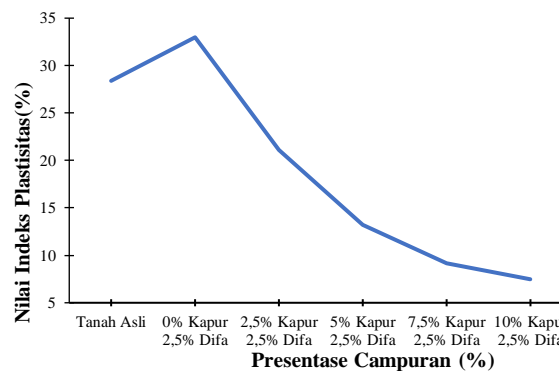
Gambar 4. Grafik Hubungan antara Batas Plastis dan Persentase Campuran

c. Batas Susut (SL)

Pengujian *Shrinkage Limit* terhadap tanah asli dan tanah campuran didapatkan nilai batas susut tanah asli sebesar 17,69% dan setelah distabilisasi nilai batas susutnya meningkat seiring bertambahnya persentase kapur. Peningkatan terjadi karena butiran tanahnya membesar sehingga menjadi semakin tidak sensitif terhadap penambahan air. Grafik hubungan batas susut dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Batas Susut dan Persentase Campuran



Gambar 6. Grafik Hubungan antara Indeks Plastisitas dan Persentase Campuran

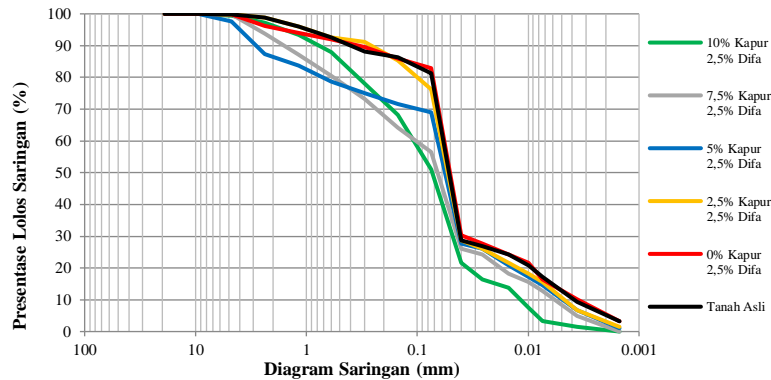
d. Indeks Plastisitas (PI)

Tanah asli memiliki nilai indeks plastisitas sebesar 28,40%, sehingga termasuk tanah lempung dengan plastisitas tinggi. Setelah distabilisasi nilai PI menurun karena nilai batas cair (LL) menurun dan batas

plastis (PL) seiring bertambahnya persentase kapur. Penurunan nilai PI ini menunjukkan semakin berkurangnya sifat plastis tanah. Grafik hubungan indeks plastis dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 6.

4. Gradasi Butiran

Hasil pengujian gradasi butiran tanah menunjukkan bahwa untuk asli butiran lolos saringan No. 200 sebesar 81,20% dan setelah distabilisasi semakin menurun seiring bertambahnya persentase kapur. Hal ini terjadi karena proses sementasi pada campuran tanah, kapur, dan Difa SS yang menyebabkan butiran tanah menggumpal dan butirannya membesar sehingga persen lolos saringan No.200 semakin berkurang. Hubungan antara persentase lolos saringan dan diameter saringan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hubungan antara Persentase Lolos Saringan dan Diameter Saringan

5. Klasifikasi Tanah

Hasil klasifikasi tanah menurut USCS tanah asli dan tanah yang distabilisasi dengan 0-5% kapur + 2,5% Difa SS termasuk kelompok OH yaitu lempung organik dengan nilai plastisitas tinggi. Sedangkan tanah yang distabilisasi dengan 7,5-10% kapur +2,5% Difa SS termasuk kelompok OL yaitu lempung organik dengan nilai plastisitas rendah. Menurut klasifikasi AASHTO tanah asli dan tanah yang distabilisasi dengan 0-5% kapur + 2,5% Difa SS termasuk kelompok A-7-5 yaitu tanah berlempung dengan penilaian umum sebagai tanah dasar sedang sampai buruk. Sedangkan tanah yang distabilisasi dengan 7,5-10% kapur + 2,5% Difa SS termasuk kelompok A-5 yaitu tanah berlanau dengan penilaian umum sebagai tanah dasar sedang sampai buruk. Klasifikasi tanah setelah distabilisasi mengalami perubahan yang disebabkan oleh semakin baiknya sifat fisis seiring bertambahnya persentase kapur.

D. Uji Sifat Mekanis Tanah

Pengujian sifat mekanis tanah yang dilakukan meliputi uji pemadatan (*Standard Proctor*) dan uji DST (*Direct Shear Test*).

1. Uji Pemadatan (*Standard Proctor*)

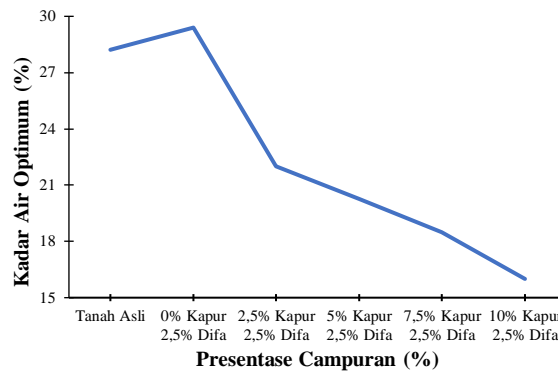
Hasil pengujian pemadatan Standar Proctor terhadap tanah asli dan campuran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Pemadatan Tanah Asli dan Campuran

Variasi Campuran	ω_{opt} (%)	$\gamma_d maks$ (gr/cm ³)
Tanah Asli	28,20	1,373
0% Kapur + 2,5% Difa SS	29,40	1,334
2,5% Kapur + 2,5% Difa SS	22,00	1,425
5% Kapur + 2,5% Difa SS	20,25	1,559
7,5% Kapur + 2,5% Difa SS	18,50	1,582
10% Kapur + 2,5% Difa SS	16,00	1,623

a. Kadar Air Optimum (ω_{opt})

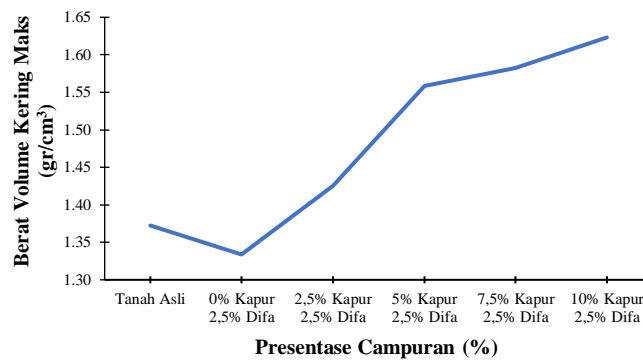
Nilai kadar air optimum tanah asli sebesar 28,20%, kemudian setelah distabilisasi menggunakan kapur dan Difa SS mengalami penurunan hingga 16%. Penurunan ini terjadi karena proses sementasi pada campuran tanah, kapur, dan Difa SS membutuhkan air sehingga kadar air dalam tanah menurun yang menyebabkan kadar air optimum semakin menurun seiring bertambahnya persentase kapur. Hubungan kadar air optimum dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hubungan antara Kadar Air Optimum dan Presentase Campuran

b. Berat Volume Kering Maksimum ($\gamma_{d_{maks}}$)

Nilai berat volume kering maksimum tanah asli sebesar 1,373 gr/cm³ dan setelah distabilisasi meningkat hingga 1,623 gr/cm³. Peningkatan ini terjadi karena setelah distabilisasi tanah mengalami proses sementasi yang menyebabkan ukuran butiran tanah bertambah besar, *interlocking*-nya semakin tinggi dan lebih padat sehingga nilai berat volume tanah kering maksimum meningkat. Grafik hubungan berat volume kering maksimum dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Hubungan antara Kadar Air Optimum dan Presentase Campuran

2. Uji Kuat Geser Tanah (Direct Shear Test)

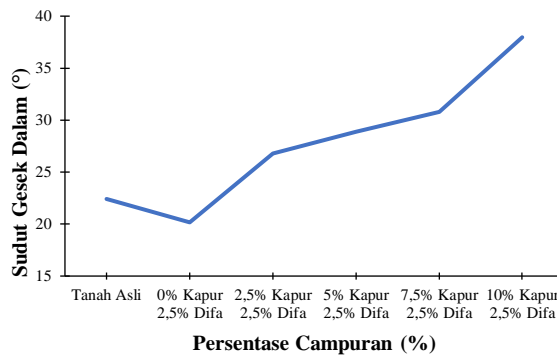
Pengujian DST bertujuan untuk mendapat nilai sudut gesek (ϕ), kohesi (c), dan kuat geser (τ). Hasil pengujian kuat geser tanah asli dan tanah campuran disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Geser Tanah

Variasi Campuran	Sudut Gesek (ϕ) (°)	Kohesi (C) (kg/m ²)	Kuat Geser (τ) (kg/m ²)
Tanah Asli	22,443	0,541	0,588
0% Kapur + 2,5% Difa SS	20,165	0,570	0,605
2,5% Kapur + 2,5% Difa SS	26,792	0,860	0,909
5% Kapur + 2,5% Difa SS	28,865	1,350	1,416
7,5% Kapur + 2,5% Difa SS	30,820	1,553	1,611
10% Kapur + 2,5% Difa SS	37,965	1,891	1,917

a. Sudut Gesek (ϕ)

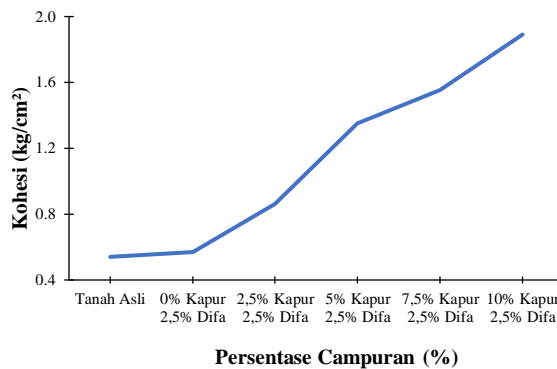
Hasil pengujian DST menunjukkan bahwa nilai sudut gesek tanah asli sebesar 22,443° dan setelah distabilisasi dengan kapur dan Difa SS sudut geseknya meningkat. Peningkatan ini terjadi karena bertambahnya persentase kapur membuat butiran tanah menjadi lebih besar dan kontak antar butirannya meningkat sehingga sudut gesek dalamnya meningkat. Grafik hubungan antara sudut gesek dalam dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hubungan antara Sudut Gesek Dalam dan Persentase Campuran

b. Kohesi (c)

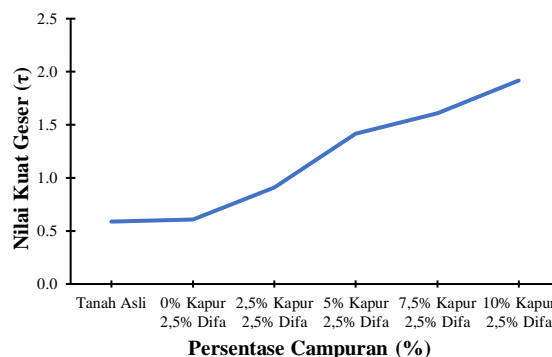
Hasil pengujian DST diperoleh nilai kohesi tanah asli sebesar 0,541 kg/m² dan setelah distabilisasi cenderung semakin meningkat. Hal ini terjadi karena adanya kohesi semu, yaitu lekatan antara butiran selama tanah tersebut kondisinya basah tetapi belum jenuh dan akan hilang ketika tanah sudah benar-benar jenuh. Grafik hubungan antara kohesi dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hubungan antara Kohesi dan Persentase Campuran

c. Kuat Geser (τ)

Nilai kuat geser tanah asli sebesar 0,588 kg/m², kemudian setelah distabilisasi nilai kuat gesernya meningkat seiring dengan bertambahnya persentase kapur. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya butiran tanah menyebabkan sudut gesek dalamnya semakin besar dan berat volume kering atau kepadatannya meningkat sehingga kuat gesernya meningkat pula. Hubungan antara nilai kuat geser dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Hubungan antara Nilai Kuat Geser dan Persentase Campuran

Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil pengujian, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO, tanah termasuk kedalam kelompok A-7-5, sedangkan menurut sistem klasifikasi USCS tanah termasuk OH dengan nilai kohesi (c) sebesar $0,541 \text{ kg/m}^2$ dan nilai sudut gesek dalam sebesar $22,443^\circ$.
2. Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO tanah campuran 0-5% kapur + 2,5% Difa SS termasuk kedalam kelompok A-7-5, sedangkan tanah campuran 7,5-10% kapur + 2,5% Difa SS termasuk kedalam kelompok A-5. Berdasarkan sistem klasifikasi USCS tanah campuran 0-5% kapur + 2,5% Difa SS termasuk OH, sedangkan tanah campuran 7,5-10% kapur + 2,5% Difa SS termasuk OL.
3. Seiring dengan bertambahnya variasi kapur + 2,5% Difa SS nilai berat volume kering ($\gamma_{d_{maks}}$) mengalami peningkatan dan nilai kadar air optimum (ω_{opt}) mengalami penurunan. Sedangkan nilai kohesi (c), sudut gesek (ϕ) dan kuat geser mengalami peningkatan. Nilai kohesi, sudut gesek dan kuat geser terbesar terjadi pada variasi 10% kapur + 2,5% Difa SS yaitu $1,891 \text{ kg/m}^2$, $37,965^\circ$ dan $4,897 \text{ kg/m}^2$.
4. Pada variasi penambahan 0% kapur + 2,5% Difa SS nilai kuat geser tidak berubah maka dapat dikatakan bahwa Difa SS tidak dapat bekerja sendiri namun harus dikolaborasi dengan unsur lain, dalam penelitian ini adalah kapur.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada PT. Difa SS Mahakarya atas dukungan bahan stabilisasi Difa SS dan semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian.

Daftar Notasi

τ	= tegangan geser, kg/cm^2
c	= kohesi, kg/cm^2
σ	= tegangan normal, kg/cm^2
ϕ	= sudut gesek dalam, $^\circ$

Daftar Pustaka

- Bahriansyah, M. (2017), "*Tinjauan Penurunan Konsolidasi Tanah Lempung Bayat, Klaten Yang Distabilisasi Dengan Tras*", Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Haras, M, dkk., (2017), "*Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung*", 15(67)
- Hardiyatmo, H.C., (2002), "*Mekanika Tanah*", Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.
- Jafri, M., (2009), "*Metoda Perbaikan Tanah Lunak Pada Ruas Jalan Sekincau-Suoh di Kabupaten Lampung Barat*". Jurusan Sipil dan Perencanaan, Bandar Lampung, Universitas Lampung
- Listyawan, A.B., dkk., (2017), "*Mekanika Tanah dan Rekayasa Pondasi*", Muhammadiyah University Press. Surakarta.
- Mehikawati, N., (2010), "*Tinjauan Penurunan Konsolidasi Dan Tekanan Pengembangan Tanah Beluk Bayat Klaten*", Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Mufti D.N., dkk, (2017), "*Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Bahan Tambah Abu Sekam Padi Dan Kapur Pada Subgrade Perkerasan Jalan*", Jurnal Teknisia , Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Nurdian, S., dkk., (2015), "*Korelasi Parameter Kekuatan Geser Tanah Dengan Menggunakan Uji Triaksial Dan Uji Kuat Geser Langsung Pada Tanah Lempung Substitusi Pasir*", Teknik Sipil. FT, Universitas Lampung.
- Nobriantik, L.S., (2021), "*Pemanfaatan Limbah Slag Baja Sebagai Bahan Tambah Tanah Lempung Bayat-Klaten Ditinjau Terhadap Parameter Geser*, Tugas Akhir, Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- SNI 2813, (2008), "*Cara Uji Kuat Geser Langsung Tanah Terkonsolidasi dan Terdrainase*".
- Srihandayani, dkk., (2019), "*Stabilisasi Berbasis Ion Exchange Untuk Meningkatkan Daya Dukung Subgrade Di Kota Dumai*", Jurnal Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Dumai.
- Suciari, L.E., (2019), "*Penggunaan Abu Sekam Padi dan Difa SS Soil Stabilizer Sebagai Bahan Campuran Stabilisasi Tanah Lempung Lunak*", Jurusan Teknik Sipil, FT. Universitas Jember.
- Lutfian, E. Z, (2021), "*Analisis Daya Dukung Tanah Lempung Yang Terkontaminasi Limbah Oli*", Tugas Akhir Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- Risma, Y., (2018), “*Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Kapur Untuk Lapisan Tanah Dasar Konstruksi*“, Jurnal Teknik Sipil, Universitas Tamansiswa Palembang.
- Wiqoyah, Q., (2006), “*Pengaruh Kadar Kapur, Waktu Perawatan dan Perendaman Terhadap Kuat Dukung Tanah Lempung*”, Jurnal Dinamika Teknik Sipil, 6(1), 16-24, Universitas Muhamadiyah Surakarta.