

## PEMANFAATAN KAPUR DAN *FLY ASH* UNTUK PENINGKATAN NILAI PARAMETER GESER TANAH LEMPUNG DENGAN VARIASAI LAMA PERAWATAN

Qunik Wiqoyah<sup>1</sup>, Renaningsih<sup>2</sup>, Bayu Aris Indrawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl.Ahmad Yani, Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura, Surakarta

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl.Ahmad Yani, Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura, Surakarta

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl.Ahmad Yani, Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura, Surakarta

E-mail: qunik\_w@yahoo.co.id

### Abstrak

Hasil uji triaksial yang telah dilakukan terhadap tanah lempung Jono Tanon Sragen, menunjukkan bahwa nilai kohesi ( $c$ ) tanah =  $19,97 \text{ kg/cm}^2$ , dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) =  $2,14^\circ$ . Kecilnya nilai sudut gesek tanah ini menyebabkan kecilnya kuat geser tanah tersebut. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan pencampuran tanah dengan kapur dan fly ash, dengan harapan akan menyebabkan peningkatan nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah tersebut. Penelitian diawali dengan pengambilan sampel tanah, pengeringan dan penyaringan, selanjutnya dilakukan pencampuran tanah dengan kapur dan fly ash dengan persentase masing-masing 2%, 4% dan 6% terhadap berat kering tanah., kemudian dilakukan uji sifat fisis dan mekanis (uji Direct Shear Test) campuran tanah kapur dan fly ash dengan masa perawatan 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Selanjutnya analisa hasil, dan penarikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan penambahan kapur dan fly ash, dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah diantaranya dapat menurunkan plastisitas tanah dan meningkatkan nilai sudut gesek dalam serta nilai kohesi. Nilai indeks plastis terjadi penurunan maksimum pada kapur 2% dan fly ash 6% sebesar 32,24% terhadap nilai PI tanah asli. Nilai berat isi kering terjadi penurunan maksimum pada kapur 2% dan fly ash 2% sebesar  $0,063 \text{ gr/cm}^3$ . Nilai kohesi dan sudut gesek dalam pada variasi lama perawatan menunjukkan bahwa waktu perawatan semakin lama nilai kohesi maupun sudut gesek semakin meningkat. Penambahan 4 % kapur dan 4% fly ash dengan lama perawatan 3 hari nilai kohesi dan sudut gesek masing-masing sebesar  $0,2274 \text{ kg/cm}^2$  dan  $38,2628^\circ$ , meningkat menjadi  $0,3065 \text{ kg/cm}^2$  dan  $52,5938^\circ$  pada lama perawatan 28 hari. Bertambahnya persentase kapur, fly ash serta lama perawatan memberikan kontribusi yang baik terhadap peningkatan nilai parameter geser tanah dan kuat geser tanah.

**Kata kunci :** tanah lempung; kapur; fly ash; lama perawatan; kuat geser tanah

### Pendahuluan

Hasil uji triaksial yang telah dilakukan terhadap tanah lempung Jono Tanon Sragen, menunjukkan bahwa nilai kohesi ( $c$ ) tanah =  $19,97 \text{ kg/cm}^2$ , dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) =  $2,14^\circ$ . Kecilnya nilai sudut gesek tanah ini menyebabkan kecilnya kuat geser tanah tersebut. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan pencampuran tanah dengan kapur dan fly ash, dengan harapan akan menyebabkan peningkatan nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah tersebut.

### Kapur

Bahan dasar kapur ialah batu kapur. Batu kapur mengandung unsur kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Pemanasan (kira-kira  $980^\circ\text{C}$ ), karbon dioksidanya keluar, dan tinggal kapur saja ( $\text{CaO}$ ) (Tjokrodiluljo, 1995). Kapur diperoleh dari kalsium oksida (kapur hidup atau *quick lime*) dan kalsium hidroksida (kapur mati atau *slake lime*). Kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) adalah hasil pembakaran karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan pemanasan kira-kira  $80^\circ\text{C}$  sampai karbon dioksidanya keluar. Kalsium hidroksida adalah hasil dari hidrasi kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) atau dengan menambahkan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) pada partikel  $\text{CaO}$ . (Tjokrodiluljo, 1995).

### Fly Ash

*Fly ash* didefinisikan sebagai sisa pembakaran dari serbuk batu bara yang sangat halus pada pabrik pembangkit panas yang dikeluarkan dari ruang perapian suatu ketel uap gas buang. *Fly ash* yang dihasilkan merupakan partikel halus yang berukuran  $< 1 \mu\text{m}$ . Kehalusan dan komposisi *fly ash* tersebut merupakan karakteristik sebagai bahan *pozzolan* (*Pozzolan Enterprises Pty, Ltd* dalam Iskandar, 1989).

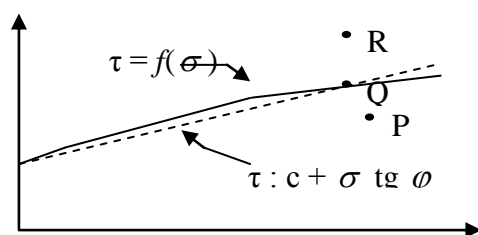
*Pozzolan* merupakan bahan tambah mineral yang mengandung silika (SiO<sub>2</sub>) dan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Bahan *pozzolan* tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dengan adanya air, maka senyawa tersebut akan bereaksi dengan *Calcium Hidroksida* Ca(OH)<sub>2</sub> pada suhu biasa membentuk *calcium hidrat* yang bersifat hidrolis. *Fly ash* merupakan salah satu dari *pozzolan* buatan yang digunakan sebagai bahan tambahan baik pada stabilisasi tanah, pembuatan beton, konstruksi jalan, dan lain-lain. *Fly ash* merupakan bagian terbesar dari abu sisa pembakaran batubara (lebih dari 80 %).

**Kekuatan Geser Tanah**

Teori Mohr (1910) dalam Hardiyatmo (1992) mengungkapkan bahwa keruntuhan suatu bahan dapat terjadi oleh akibat adanya kombinasi bahan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan menurut persamaan :

$$\tau = f(\sigma) \tag{1}$$

Dengan  $\tau$  adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan dan  $\sigma$  adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut. Garis kegagalan yang didefinisikan dalam persamaan diatas, adalah kurva yang ditunjukkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Kriteria Kegagalan Mohr dan Coulumb (Hardiyatmo, 1992)

(Coulomb 1773 dalam Bowles, 1989 dalam Hardiyatmo, 1992) mendefinisikan hubungan fungsi antara tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ) sebagai berikut :

$$\tau : c + \sigma \text{ tg } \varphi \tag{2}$$

dengan :

- τ : kekuatan geser tanah (kg/cm<sup>2</sup>),
- σ : tegangan normal tanah (kg/cm<sup>2</sup>),
- φ : sudut geser dalam (°),
- c : kohesi tanah (kg/cm<sup>2</sup>).

Nilai c dan φ didapatkan dengan melakukan pengujian geser langsung (*Direct Shear Test* ) di Laboratorium Mekanika Tanah.

**Metode Penelitian**

Metode penelitian, dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, dengan melakukan berbagai macam percobaan sehubungan dengan data-data yang diperlukan. Pelaksanaan percobaan atau pengujian sampel tanah tersebut dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, dengan sampel tanah diambil dari daerah Tanon Kabupaten Sragen. Persentase penambahan kapur dan *fly ash* masing-masing 2%, 4% dan 6% terhadap berat kering tanah. Keseluruhan sampel diuji dengan metode *drying* yaitu tanah dikeringkan di bawah terik matahari sebelum dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan meliputi analisis butiran tanah ( *Sieve analisys dan Hydrometer*), *Liquid Limit (LL)*, *Plastic Limit (PL)*, *Shrinkage Limit (SL)*, *Water content (W)*, *Specific gravity (Gs)*, *Standard Proctor*, dan uji *Direct Shear Test* dengan masa perawatan 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Pengujian dilakukan terhadap sampel tanah asli maupun campuran tanah dengan kapur dan *fly ash* dengan mengacu pada standar ASTM (*Annual Book of ASTM Standards*. Hasil uji disajikan dalam bentuk tabel dan grafik selanjutnya dilakukan analisis dan diambil keputusan.

**Hasil dan Pembahasan**

**Uji sifat fisis**

Hasil uji sifat fisis tanah asli dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Hasil uji sifat fisis tanah asli

|   |                |                   |                 |                    |                            |
|---|----------------|-------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|
| <i>Specific Gravity</i> (gr/cm <sup>3</sup> ) | Batas Cair (%) | Batas Plastis (%) | Batas Susut (%) | Indeks Plastis (%) | Lolos Saringan No. 200 (%) |
| 2,407   | 79,00          | 40,481            | 18,416          | 38,519             | 87,550                     |

Berdasarkan hasil perhitungan GI sebesar 41,447 dapat diketahui klasifikasi tanah berdasarkan metode *Association of State Highway And Transportation Officials* (AASHTO), tanah Tanon Sragen termasuk dalam kelompok A-7-5, merupakan tanah berlempung yang tidak baik atau buruk apabila digunakan sebagai dasar pondasi jalan raya. Berdasarkan fraksi lolos saringan No.200 sebesar 87,55% dan nilai batas cair sebesar 79,00%, maka menurut metode *United Soil Classification System* (USCS), tanah Tanon Sragen termasuk dalam kelompok tanah CH yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

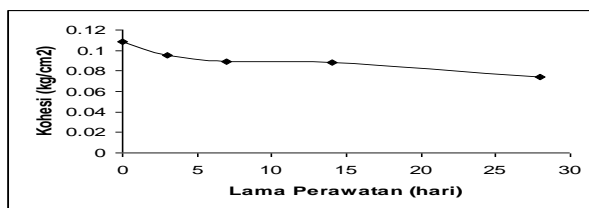
**Uji sifat mekanis**

Hasil perhitungan *standard Proctor* dan uji geser langsung dapat dilihat pada Tabel 2.

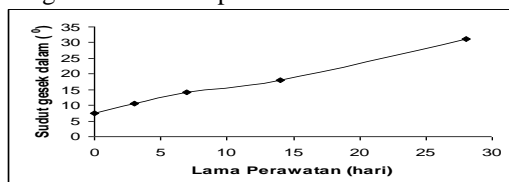
Tabel 2. Hasil uji sifat mekanis tanah asli

| Berat isi kering optimum (gr/cm <sup>3</sup> ) | Kadar air optimum (%) | <i>Direct Shear test</i> |         |         |         |         | Keterangan                     |
|--|-----------------------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|--------------------------------|
|  |                       | Lama Perawatan (hari)    |         |         |         |         |                                |
|  |                       | 0                        | 3       | 7       | 14      | 28      |                                |
| 1,31   | 30,50                 | 0,1087                   | 0,0953  | 0,0889  | 0,0881  | 0,0745  | kohesi (c)                     |
|  |                       | 7,3675                   | 10,5754 | 14,2678 | 18,0404 | 31,0732 | sudut gesek dalam ( $\theta$ ) |

Grafik hubungan antara lama perawatan dan nilai *direct shear test* dengan lama perawatan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2



Gambar 1. Hubungan antara lama perawatan dan nilai kohesi (c) terhadap tanah asli

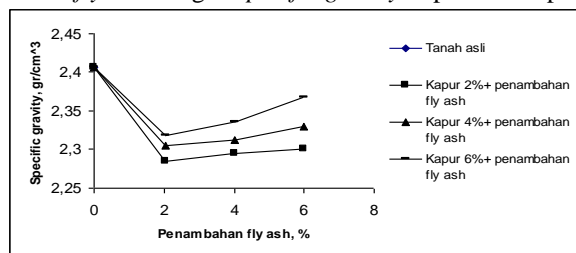


Gambar 2. Hubungan antara lama perawatan dan nilai sudut gesek dalam( $\theta$ ) terhadap tanah asli

**Uji Tanah dengan Penambahan Kapur dan Fly Ash**

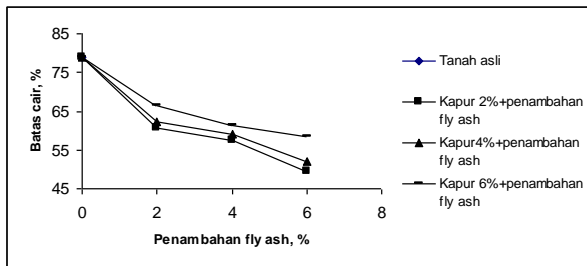
**Uji sifat fisis**

Uji *specific gravity* pada tanah asli didapatkan sebesar 2,407 gr/cm<sup>3</sup>. Penurunan berat jenis maksimum terjadi pada tanah campuran dengan kapur 2% dan *fly ash* 2% sebesar 0,1224% terhadap tanah asli. Grafik hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan *specific gravity* dapat dilihat pada Gambar 3



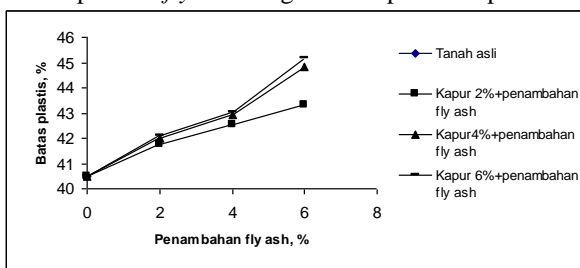
Gambar 3. Hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan *specific gravity*

Uji *Atterberg limit* pada tanah asli menghasilkan nilai batas cair sebesar 79,00%. Penurunan terbesar nilai batas cair terjadi pada kapur 2% dan *fly ash* 6% sebesar 29,5% terhadap nilai batas cair tanah asli. Grafik hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan batas cair dapat dilihat pada Gambar 4.



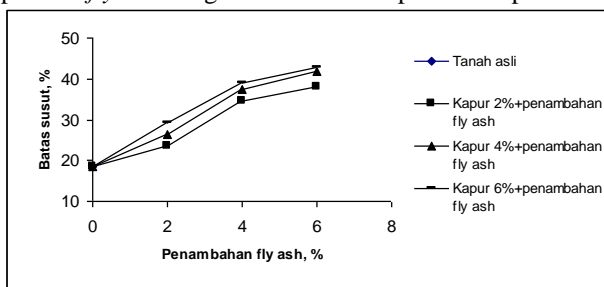
Gambar 4. Hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan batas cair

Uji *Atterberg limit* pada tanah asli menghasilkan nilai batas plastis sebesar 40,481%. Peningkatan nilai batas plastis terbesar terjadi pada kapur 6% dan *fly ash* 6% sebesar 4,70% terhadap nilai batas plastis tanah asli. Grafik hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan batas plastis dapat dilihat pada Gambar 5.



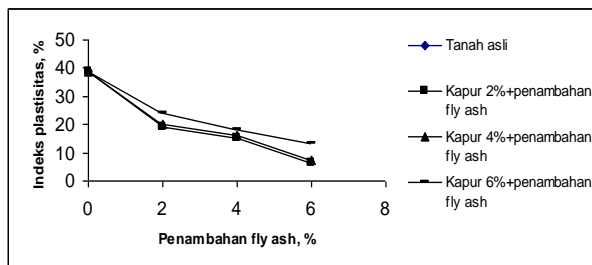
Gambar 5. Hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan batas plastis

Uji *Atterberg limit* pada tanah asli menghasilkan nilai batas susut sebesar 18,416%. Peningkatan terbesar nilai batas susut terjadi pada kapur 6% dan *fly ash* 6% sebesar 24,44% terhadap batas susut tanah asli. Grafik hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan batas susut dapat dilihat pada Gambar 6.



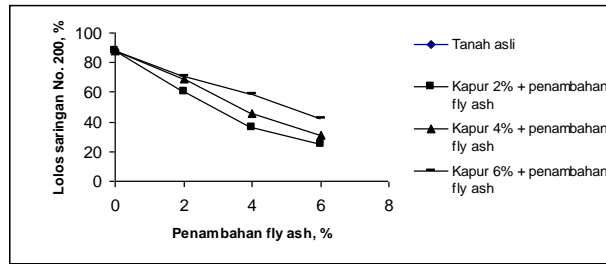
Gambar 6. Hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan batas susut

Nilai indeks plastisitas (PI) pada tanah asli sebesar 38,519%. Penurunan terbesar nilai PI terjadi pada kapur 2% dan *fly ash* 6% sebesar 32,24% terhadap nilai PI tanah asli. Grafik hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 7. Hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan indeks plastisitas

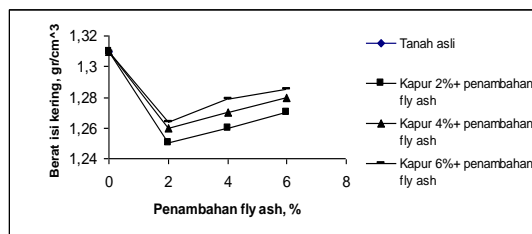
Hasil uji gradasi pada tanah asli, butiran yang lolos saringan No. 200 sebesar 87,55%. Penurunan terbesar nilai persentase lolos saringan No. 200 terjadi pada kapur 2% dan *fly ash* 6% sebesar 62,55% terhadap persentase lolos saringan No. 200 tanah asli. Grafik hubungan antara persentase lolos saringan No. 200 dan penambahan kapur dan *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan antara penambahan kapur dan fly ash dengan persentase lolos saringan No. 200

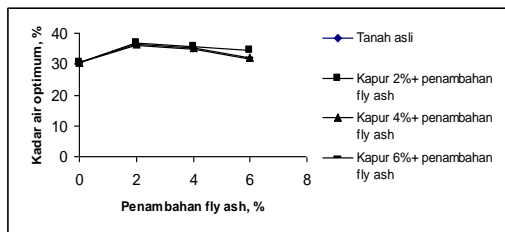
**Uji sifat mekanis**

Uji sifat mekanis tanah campuran dengan penambahan kapur dan fly ash yang dilakukan pada penelitian ini meliputi uji *standard Proctor* dan uji *direct shear* (uji geser) dilakukan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dengan variasi lama perawatan. Uji *standard Proctor* pada tanah asli menghasilkan nilai berat isi kering maksimum sebesar 1,31 gr/cm<sup>3</sup> dan kadar air optimum sebesar 30,50%. Penurunan terbesar berat isi kering optimum terjadi pada kapur 2% dan fly ash 2% sebesar 0,06% terhadap berat isi kering optimum tanah asli. Grafik hubungan antara berat isi kering optimum dan penambahan kapur dan fly ash dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hubungan antara penambahan kapur dan fly ash dengan berat isi kering optimum

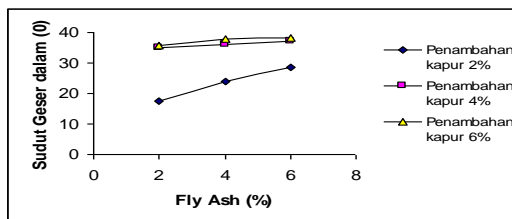
Peningkatan terbesar kadar air optimum terjadi pada kapur 2% dan fly ash 2% sebesar 6,5% terhadap kadar air optimum tanah asli. Grafik hubungan antara penambahan kapur dan fly ash dengan kadar air optimum dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Hubungan antara penambahan kapur dan fly ash dengan kadar air optimum

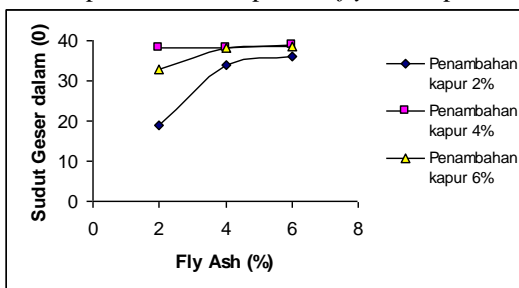
Pengujian *direct shear* dilakukan terhadap sampel tanah lempung dengan variasi penambahan kapur dan fly ash serta lama perawatan dengan menggunakan kadar air optimum yang diperoleh dari uji *standard Proctor*.

Uji *direct shear* menghasilkan nilai kohesi (c) tanah asli tanpa masa perawatan sebesar 0,1087 kg/cm<sup>2</sup>, sedang nilai Sudut Gesek dalam ( $\phi$ ) sebesar 7,3675°. Peningkatan terbesar nilai sudut gesek dalam ( $\phi$ ) terjadi pada kapur 6% dan fly ash 6% sebesar 38,1744° terhadap nilai sudut gesek dalam tanah asli tanpa masa perawatan. Grafik hubungan antara nilai sudut gesek dalam tanpa lama perawatan dan penambahan kapur dan fly ash dapat dilihat pada Gambar 11.



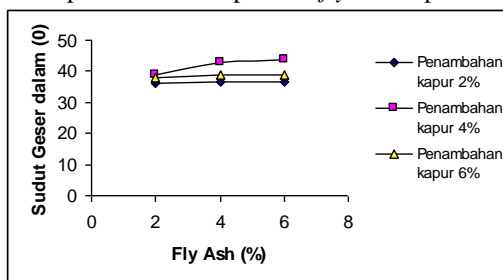
Gambar 11. Hubungan antara penambahan kapur dan fly ash dengan nilai sudut gesek dalam tanpa lama perawatan

Uji geser langsung menghasilkan nilai sudut gesek dalam tanah asli dengan masa perawatan 3 hari sebesar  $10,7082^\circ$ . Peningkatan terbesar nilai sudut gesek dalam terjadi pada kapur 6% dan *fly ash* 6% sebesar  $38,6074^\circ$  terhadap nilai sudut gesek dalam tanah asli dengan masa perawatan 3 hari. Grafik hubungan antara nilai sudut gesek dalam dengan lama perawatan 3 hari serta penambahan kapur dan *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 12.



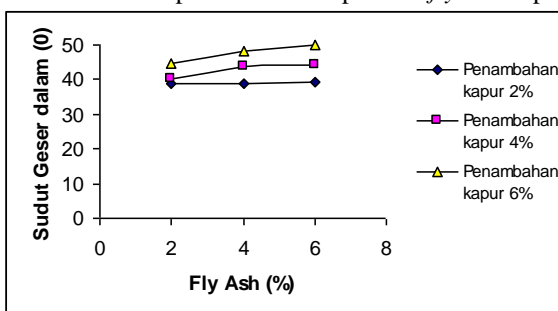
Gambar 12. Hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan nilai sudut gesek dalam dan lama perawatan 3 hari

Uji geser langsung menghasilkan nilai sudut gesek dalam tanah asli dengan masa perawatan 7 hari sebesar  $10,7082^\circ$ . Peningkatan terbesar nilai sudut gesek dalam terjadi pada kapur 6% dan *fly ash* 6% sebesar  $38,7645^\circ$  terhadap nilai sudut gesek dalam tanah asli dengan masa perawatan 7 hari. Grafik hubungan antara nilai sudut gesek dalam dengan lama perawatan 7 hari serta penambahan kapur dan *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 13.



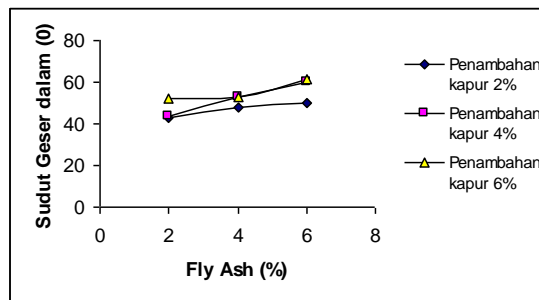
Gambar 13. Hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan nilai sudut gesek dalam dan lama perawatan 7 hari

Uji geser langsung menghasilkan nilai sudut gesek dalam tanah asli dengan masa perawatan 14 hari sebesar  $10,7082^\circ$ . Peningkatan terbesar nilai sudut gesek dalam terjadi pada kapur 6% dan *fly ash* 6% sebesar  $49,9608^\circ$  terhadap nilai sudut gesek dalam tanah asli dengan masa perawatan 14 hari. Grafik hubungan antara nilai sudut gesek dalam dengan lama perawatan 14 hari serta penambahan kapur dan *fly ash* dapat dilihat pada Gambar V.14.



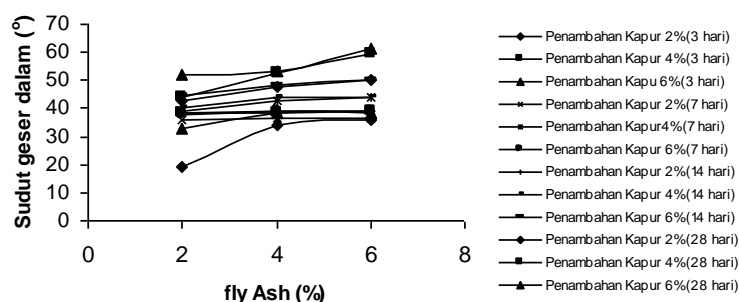
Gambar 14. Hubungan antara penambahan kapur dan *fly ash* dengan nilai sudut gesek dalam dan lama perawatan 14 hari

Uji geser langsung menghasilkan nilai sudut gesek dalam tanah asli dengan masa perawatan 28 hari sebesar  $31,0732^\circ$ . Peningkatan terbesar nilai sudut gesek dalam terjadi pada kapur 6% dan *fly ash* 6% sebesar  $61,6056^\circ$  terhadap nilai sudut gesek dalam tanah asli dengan masa perawatan 28 hari. Grafik hubungan antara nilai sudut gesek dalam dengan lama perawatan 28 hari serta penambahan kapur dan *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Hubungan antara penambahan kapur dan fly ash dengan nilai sudut geser dalam dan lama perawatan 28 hari

Grafik hubungan antara lama perawatan, penambahan kapur dan fly ash dengan nilai sudut gesek dalam dapat dilihat pada Gambar 15



Gambar 15. Hubungan antara lama perawatan, penambahan kapur dan fly ash dengan nilai sudut geser dalam

Hasil uji geser langsung dengan perawatan 3 hari, 7 hari, 14 hari, serta 28 hari menunjukkan kecenderungan hasil yang lebih baik dibanding dengan nilai uji geser langsung tanpa perawatan. Nilai uji geser langsung maksimum campuran tanah dengan penambahan kapur dan fly ash terjadi pada masa perawatan 28 hari dan penambahan kapur 6% dan fly ash 6% sebesar 61,6056° dibandingkan nilai uji geser langsung tanah asli tanpa perawatan sebesar 7,3675°. Peningkatan nilai uji geser langsung disebabkan oleh penurunan nilai batas cair, peningkatan batas plastis serta peningkatan nilai batas susut yang disebabkan karena sementasi akibat penambahan dua bahan additives yang berbeda dan berfungsi memperbaiki nilai kuat dukung tanah. Pengaruh kadar air dan kepadatan serta lama perawatan juga memperbaiki nilai uji geser langsung karena dengan adanya perawatan maka akan menyebabkan tanah dengan bahan additives dapat bereaksi lebih baik dengan terjaganya kadar air yang tetap.

**Kesimpulan**

- Berdasarkan hasil uji sifat fisis tanah asli, menurut *United Soil Classification System*, tanah lempung Tanon Sragen termasuk dalam kelompok CH yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, sedangkan menurut *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* tanah tersebut termasuk kelompok A-7-5, merupakan tanah yang buruk apabila digunakan sebagai lapis pondasi jalan raya. Uji geser langsung tanah asli didapatkan nilai sudut gesek dalam ( $\phi$ ) sebesar 7,3675° dan nilai kohesi (c) sebesar 0,1087 kg/cm<sup>2</sup> tanpa variasi lama perawatan
- Hasil uji batas *Atterberg* campuran tanah dan penambahan kapur dan fly ash menunjukkan penurunan plastisitas tanah. Besarnya nilai batas cair mengalami penurunan maksimum pada penambahan kapur 2% dan fly ash 6% sebesar 29,5%, nilai batas plastis mengalami peningkatan maksimum sebesar 4,70% pada penambahan kapur 6% dan fly ash 6%, nilai batas susut mengalami peningkatan maksimum pada penambahan kapur 6% dan fly ash 6% sebesar 24,44% dan nilai indeks plastisitas mengalami penurunan maksimum pada penambahan kapur 2% dan fly ash 6% sebesar 32,24%.
- Persentase lolos saringan No.200 sebesar 87,55%. Penambahan kapur dan fly ash menyebabkan berkurangnya jumlah fraksi lolos saringan No. 200. Besarnya penurunan maksimum fraksi lolos saringan No. 200 (0,075 mm) terjadi pada penambahan kapur 2% dan fly ash 6% sebesar 62,55% dan dapat pula menurunkan nilai *specific gravity* maksimum pada tanah campuran dengan penambahan kapur 2% dan fly ash 2% sebesar 0,1224 gr/cm<sup>3</sup>. Berat isi kering maksimum terjadi penurunan terbesar pada penambahan kapur 2% dan fly ash 2% sebesar 0,063% dan terjadi peningkatan terbesar kadar air optimum pada penambahan kapur 2% dan fly ash 2% sebesar 6,5 %.

4. Nilai uji geser langsung maksimum terjadi pada masa perawatan 28 hari dengan penambahan kapur 6% dan *fly ash* 6% sebesar 61,6056.
5. Penambahan kapur dan *fly ash* pada tanah lempung Tanon Sragen dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah lempung serta lama perawatan pada uji *Direct Shear* (uji geser langsung) dapat meningkatkan nilai kuat dukung dari tanah Tanon Sragen.
6. Dapat dipertimbangkan mengenai alternatif bahan stabilisasi lain untuk tanah berbutir halus, khususnya lempung, sehingga dihasilkan kepadatan dan daya dukung tanah yang lebih baik untuk suatu konstruksi bangunan maupun fondasi jalan raya.

**Daftar Pustaka**

- Anonim, 1996, *Annual Book of ASTM Standards*, Race Street, Philadelphia, PA 19103- 1187 USA.
- Anonim, 1990, *Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia (SK-SNI)*, Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Hardiyatmo H. Cristady, 1992, *Mekanika Tanah I*, P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Tjokrodimulyo, K, 1995, *Bahan Bangunan*, Buku Ajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wiqoyah Q., 2003, *Campuran Kapur dan Trass Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung untuk Lapisan Dasar Jalan*. Tesis, Universitas Gajah Mada Yogyakarta, Yogyakarta.