

## **PENGARUH CAMPURAN ABU TERBANG (*FLY ASH*) DAN ASAM FOSFAT TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH LEMPUNG**

Muhammad Reza Pratama<sup>1</sup>, Okrobianus Hendri<sup>2</sup>, M. Ikhwan Yani<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya*

*E-mail : [rezapratama3199@gmail.com](mailto:rezapratama3199@gmail.com)<sup>1</sup>, [m.ikhwanyani@eng.upr.ac.id](mailto:m.ikhwanyani@eng.upr.ac.id)<sup>2</sup>, [okrobianus@jts.upr.ac.id](mailto:okrobianus@jts.upr.ac.id)<sup>3</sup>*

### **ABSTRACT**

The village of Tanjung Sanggalang is dominated by clay soil, according to field observations. If construction on clay soil is not handled correctly, it can have an impact on the construction on clay and accelerate damage after it is finished. Soil stabilization with a mix of fly ash and phosphoric acid is another option for making clay soil more stable. Before adding fly ash (A.T.) with phosphoric acid (A.F) and after adding fly ash (A.T.) with phosphoric acid (A.F), this study examined the soil's physical properties and bearing capacity. Fly ash ash accounts for 7.5% of the mixture, while phosphoric acid accounts for 5%, 7.5%, and 10%. According to the findings of the study, the variation of the mixture that changes the bearing capacity of the highest soil is clay. A mixture of 7.5 percent and 10 percent yields of fly ash and phosphoric acid can increase the bearing capacity of clay soil.

Keywords: fly ash, phosphoric acid, clay soil, soil bearing capacity

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Secara struktural, tanah merupakan akumulasi mineral, bahan organik, dan sedimen batuan dasar yang relatif longgar. Karbonat dapat membuat ikatan yang relatif lemah yang menyatukan partikel. Oksida terendapkan antar partikel atau bahan organik (Hardiyatmo, 2002).

Tanah lempung adalah bahan plastik dengan kadar air sedang sampai tinggi yang tersusun dari partikel mikroskopis dan submikroskopis yang merupakan hasil dekomposisi kimia penyusun batuan. Tanah lempung amat keras saat kering dan sulit dihilangkan dengan jari. Selanjutnya kontaminasi kotoran amat rendah, sehingga pada tingkat kelembaban sedang bersifat plastis, tetapi pada kondisi kelembaban tinggi lumpur menjadi lengket dan amat halus (Terzaghi dan Peck, 1987). Oleh karena itu, pada saat menyambung ke suatu bangunan, bangunan tersebut akan mengalami kesalahan konstruksi. Untuk konstruksi. Ini karena tanah lempung tidak terlalu fleksibel. Daya dukung tanah lempung dalam hal ini amat rendah.

Menurut temuan penelitian yang dilakukan oleh Ibrahim, Hasan A., dan Yuniar (2013), penambahan bahan tambahan perendaman (perendaman) CBR selama empat hari pada tanah murni akan meningkatkan sifat mekanik tanah, khususnya kemampuannya untuk bekerja secara efektif dan meningkatkan kekuatannya dan pertumbuhannya (pembengkakan) melambat. Namun, ketika aditif ditambahkan, nilai CBR yang direndam dan CBR yang tidak direndam cenderung meningkat. Nilai CBR mencapai titik tertinggi ketika aditif ditambahkan sebesar 7,5 persen, tetapi ketika aditif ditambahkan 10 persen dan 12,5 persen cenderung menurun. Kenaikan nilai CBR menunjukkan bahwa asam fosfat dapat dimanfaatkan untuk menstabilkan lempung berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium.

Menurut hasil penelitian ini, menstabilkan tanah dengan menggabungkan tanah lempung dengan bahan lain merupakan metode alternatif untuk meningkatkan stabilitasnya. Abu terbang dan asam fosfat adalah dua bahan tambahan yang digunakan dalam penelitian ini untuk membuat campuran tanah lempung.

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh asam fosfat dan abu terbang terhadap tanah dan daya dukungnya, penelitian ini melakukan percobaan pada tanah lempung dengan penambahan asam fosfat sebagai bahan tambahan campuran dan abu terbang sebagai bahan tambahan campuran.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah berapa besar nilai daya dukung tanah lempung murni setelah penambahan abu terbang dan asam fosfat?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Maksud yang diharapkan pada penelitian ini adalah mengetahui nilai daya dukung tanah lempung murni setelah penambahan abu terbang dan asam fosfat.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Tanah Lempung**

Tanah lempung, produk sampingan dari dekomposisi kimia penyusun batuan, adalah bahan plastis dengan kadar air sedang hingga tinggi yang terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis. Tanah lempung dalam keadaan kering amat keras, sehingga amat sulit untuk menghilangkannya dengan jari. Juga, tanah dengan

kontaminan rendah bersifat plastis pada tingkat kelembaban sedang, sedangkan lumpur basah amat halus dan lengket (permanen) (Terzaghi dan Peck, 1987).

## 2.2 Abu terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang, atau *fly ash* berbutir halus dan pozzolanic, adalah produk sampingan dari pembakaran batubara di tungku pembangkit listrik. Silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan oksida besi ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) adalah komponen utamanya. Oksida-oksida ini dapat bergabung dengan kapur bebas yang dilepaskan ketika semen bereaksi dengan air.

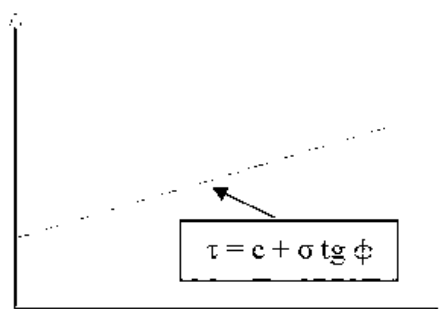
## 2.3 Asam Fosfat

P205 membentuk sebagian besar asam fosfat industri, cairan kental bening, tidak berwarna hingga hitam yang digunakan dalam industri. Fosfat anhidrida dilarutkan dalam air untuk menghasilkan asam fosfat. Tanah mengandung fosfat organik dan anorganik. Senyawa Ca, Fe, Al dan F membentuk bentuk anorganik. Organofosfat tersusun atas asam nukleat, fosfolipid, fitin, dan mengandung senyawa yang berasal dari tumbuhan dan mikroba (Rao, 1994).

## 2.4. Kuat Geser Langsung

Gaya tahanan yang diberikan partikel tanah terhadap tekanan atau tegangan dikenal sebagai kekuatan geser langsung tanah. Menurut pengertian ini, tanah akan tertahan jika dibebani (Hardiyatmo, 2002):

1. Kohesi tanah, yang tidak dipengaruhi oleh tegangan normal yang bekerja pada bidang geser tetapi ditentukan oleh jenis tanah dan kerapatannya,
2. Tegangan normal pada bidang geser berbanding lurus dengan besarnya gesekan antar butir tanah. Metode yang dikemukakan oleh Coulomb pada tahun (1776):



Gambar 1. Grafik Coulomb dan Mohr

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \dots\dots\dots (1)$$

- Keterangan: c: kohesi tanah  
 $\varphi$ : sudut gesekan tanah ataupun sudut gesekan intern (derajat)  
 $\tau$ : kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)  
 $\sigma$ : tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m<sup>2</sup>)

**2.5 Kuat Tekan Bebas**

Ketika melihat sifat-sifat stabilisasi tanah, pemeriksaan yang dikenal sebagai kuat tekan bebas sering digunakan. Kerapatan maksimum yang ditentukan melalui percobaan pemadatan berfungsi sebagai dasar untuk pembuatan benda uji. Tekanan aksial benda uji ketika itu runtuh atau ketika regangan aksial mencapai 20% adalah kekuatan tekan bebas. Untuk uji triaksial, spesimen mengalami peningkatan tegangan aksial bertahap sampai runtuh. Pada lempung jenuh, pemeriksaan tekan bebas umumnya menghasilkan nilai  $c_u$  yang sedikit lebih rendah dari nilai yang diperoleh dari pemeriksaan uu.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u \dots\dots\dots (2)$$

Dimana hasil kali kuat tekan bebas adalah  $q_u$ . Nilai dalam lempung jenuh seharusnya sama dengan pada pemeriksaan triaksial dengan menggunakan benda uji yang sama, menurut teori. Jadi, dapatkan:

$$S_U = C_u = \dots\dots\dots (3)$$

**2.6 Daya Dukung**

Kapasitas tanah guna menahan beban tanpa mengalami keruntuhan geser, baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan yang dibangun di atasnya, dikenal dengan daya dukungnya. Karakteristik tanah dasar yang ditentukan, seperti faktor keamanan terhadap keruntuhan, menentukan daya dukung tanah. Kita menyadari bahwa, secara umum, metode empiris dapat digunakan untuk menghitung daya dukung tanah, yang dihitung dengan cara membagi daya dukung ultimit dengan faktor keamanan yang sesuai.

Menurut Terzaghi (1943) dalam Hardiyatmo (2007), persamaan umum daya dukung ultimit berdasarkan keruntuhan geser umum untuk pondasi menerus sebagai berikut:

$$q_u = cN_c + p_o N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots (4)$$

Sebab  $p_o = D_f \gamma$ , hingga:

$$q_u = cN_c + D_f \gamma N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots (5)$$

dengan:  $N_q$  = daya dukung tanah akibat beban merata

$p_o$  = tekanan *overburden* pada pondasi dasar (kN/m<sup>2</sup>)

$D_f$  = kedalaman pondasi yang terkubur pada tanah (meter)

$c$  = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$N_\gamma$  = daya dukung tanah akibat berat tanah

$N_c$  = daya dukung tanah akibat kohesi

$\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$q_u$  = daya dukung ultimit pondasi memanjang (kN/m<sup>2</sup>)

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental dalam skala laboratorium dengan menggunakan sampel tanah sebagai benda uji.

#### 3.2 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah



Gambar 2. Lokasi pengambilan sampel penelitian

Tanah lempung yang berasal dari Desa Tanjung Sanggalang, Kec. Kahayan Tengah, Kabupaten Pulang Pisau, Provinsi Kalimantan Tengah, akan dijadikan sebagai sampel tanah untuk penelitian ini.

### **3.3 Lokasi Penelitian**

Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya jadi tempat riset ini.

### **3.4 Pengumpulan Data**

Pengambilan contoh tanah dari lokasi penelitian untuk pengambilan data. Pada kedalaman 0,5 m diambil contoh tanah lempung. Contoh yang digunakan yaitu tanah tidak terganggu (*undisturbed*).

Contoh tanah tak terganggu menunjukkan bahwa sifat mekanik tanah tidak berubah. Pengambilan contoh tanah tidak terganggu dengan menggunakan tabung silinder yang ditentukan diameternya. Setelah tabung diisi sampai penuh dengan tanah, bagian atas dan bawah dilapisi dengan lilin cair, dan lilin menjadi padat. Maksudnya adalah untuk memastikan bahwa sampel tanah lempung tidak mengubah sifat mekaniknya saat tiba di laboratorium.

### **3.5 Pengujian Sifat Fisik Tanah Lempung**

Pemeriksaan sifat fisik tanah lempung pada penelitian ini, yaitu:

1. Berat isi volume (ASTM D-2216-71)
2. Analisis saringan (ASTM D-421)
3. Hidrometer (ASTM D-442-63)
4. Batas-batas atterberg (ASTM D-43-66, ASTM D-424-74, AASHTO T-39-74)
5. Berat jenis (ASTM D-854-92)
6. Kadar air (ASTM D-2216-71)

### **3.6 Pengujian Sifat Mekanik Tanah Lempung**

Pemeriksaan sifat mekanik tanah lempung pada penelitian ini, yaitu:

1. Pemeriksaan kuat geser langsung (ASTM D-3080)

### **3.7 Perencanaan Campuran**

Campuran yang direncanakan untuk pemeriksaan kuat geser langsung yaitu sampel tanah lempung murni dicampur dengan presentase penambahan Abu terbang tetap

sebesar 7,5% dan Asam Fosfat sebesar 5%; 10%; 15%; dari berat contoh tanah pada umur pemeraman 3 hari.

### 3.7 Proses Pencampuran Sampel Tanah Lempung

Setelah dibentuk menjadi cincin, tanah lempung dikeluarkan dan ditimbang. Dengan memanfaatkan berat cetakan tanah lempung yang telah dikalikan dengan persentase variasi campuran, untuk menentukan berat abu terbang dan asam fosfat. Berat abu terbang dan asam fosfat ditentukan, dan tanah lempung murni dilapisi di bagian luar sampel tanah lempung untuk mencampurnya dengan abu terbang dan asam fosfat. Tanah campuran kemudian dibiarkan matang hingga tiga hari. Lapisan abu terbang dan asam fosfat di bagian luar perlu diawetkan agar campuran meresap ke dalam tanah lempung.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Uji Sifat Fisik pada Tanah Lempung Asli

Tabel 1. Hasil uji sifat fisik tanah lempung asli

No	Jenis Pengujian	Satuan	Nilai
1	Berat jenis		2,68
2	Berat volume	g/cm <sup>3</sup>	1,59
3	Kadar Air	%	44,31
4	Persentase Lolos Saringan No.200	%	56,25
	Tertahan di Saringan No.200	%	47,10
5	Batas Atterberg		
	-Indeks Plastis (PI)	%	18,32
	-Batas Susut (SL)	%	12,91
	-Batas Cair (LL)	%	40,97
	-Batas Plastis (PL)	%	22,65
6	Hidrometer		
	-C <sub>C</sub>		0,8935466
	-C <sub>U</sub>		25,9459

Sumber: Pengujian Laboratorium (2022)

Berikut hasil pemeriksaan sifat fisik tanah: pemeriksaan kadar air, berat jenis, analisis ayakan, batas Atterberg, dan hidrometer semuanya terdapat pada Tabel 1.

Klasifikasi tanah menurut *American Association of State Highway and Transport Official* (AASHTO) Berdasarkan persentase tanah yang lolos saringan nomor analisis 200 (56,25 persen), batas cair (40,97 persen), dan Indeks Plastisitas (IP) (18,32 persen), tanah tersebut tergolong lempung kondisi sedang hingga buruk, termasuk dalam kelompok A-7-6(8).

#### **4.2 Hasil Sifat Mekanik pada Tanah Lempung dengan Variasi Campuran Abu terbang (*Fly Ash*) (A.T.) dan ASAM FOSFAT (A.F.)**

Sifat mekanik tanah liat murni diuji di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangkaraya. Pemeriksaan sifat mekanik tanah merupakan pemeriksaan kuat geser langsung.

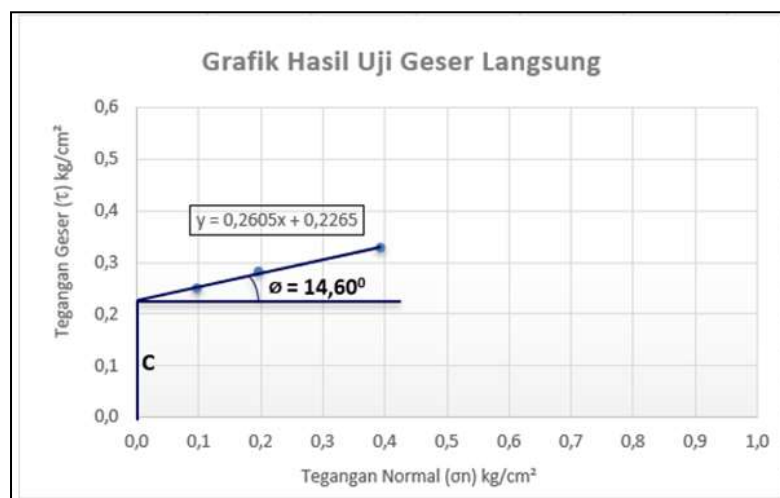


*Gambar 3. Proses Uji Kuat Geser Langsung*

Variasi campuran yang digunakan untuk pemeriksaan kuat geser langsung adalah abu terbang sebesar 7,5% dan asam fosfat sebesar 5%; 7,5%; 10% dari berat sampel tanah dengan masa pemeraman (*curing*) 3 hari.



Nilai yang diperoleh dari pemeriksaan kuat geser langsung adalah nilai tegangan normal ( $\sigma_1$ ), ( $\sigma_2$ ), ( $\sigma_3$ ) dan nilai tegangan geser maksimum ( $\tau$ ) untuk setiap beban. Nilai tegangan normal yang ditentukan ( $\sigma$ ) dan nilai tegangan geser ( $\tau$ ) dimasukkan ke dalam persamaan regresi linier sederhana menggunakan program Microsoft Excel. Contoh plot tegangan geser ( $\tau$ ) dan tegangan normal ( $\sigma$ ) ditunjukkan pada Gambar 4.



Sumber: *Pengujian Laboratorium* (2022)

Gambar 4. Grafik antar tegangan geser dan tegangan normal (sampel tanah lempung murni)

Berdasarkan Gambar 3, pada sampel tanah lempung murni didapatkan sudut geser dalam ( $\phi$ ) =  $14,60^\circ$  dan juga nilai kohesi ( $c$ ) =  $0,2265 \text{ kg/cm}^2$ . Rekapitulasi pemeriksaan kuat geser langsung semua sampel dapat dilihat pada table 2 dibawah ini.

Tabel 2. Rekapitulasi uji kuat geser langsung campuran abu terbang + asam fosfat

Variasi Campuran	Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )	Kohesi (c) $\text{kg/cm}^2$
A.T. 0% + A.F. 0%	14,6	0,2265
A.T. 7,5% + A.F. 5%	17,59	0,2187
A.T. 7,5% + A.F. 7,5%	22,74	0,2109
A.F.A. 7,5% + A.F. 10%	27,52	0,2030

Sumber: *Pengujian Laboratorium* (2022)

Nilai parameter pada Tabel 2, dapat digunakan untuk perhitungan daya dukung tanah.

#### 4.3. Daya Dukung pada Tanah Lempung dengan Variasi Campuran Abu Terbang (*Fly Ash*) (A.T.) dan Asam Fosfat

Setelah pemeriksaan kuat geser langsung, didapat parameter tanah yaitu: kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Dari parameter ini, daya dukung tanah bisa diperhitungkan.

Tabel 3. Nilai faktor kapasitas daya dukung tanah *Terzaghi*

<b>Keruntuhan Geser Umum</b>			
$\phi$	$N_\gamma$	$N_c$	$N_q$
0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	17,7	7,4	5,0
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
34	52,6	36,5	35,0
35	57,8	41,4	42,4
40	95,7	81,3	100,4
45	172,3	173,3	297,5
48	258,3	287,9	780,1
50	347,6	415,1	1153,2

Sumber: *Hardiyatmo (2007)*

Berdasarkan hasil pemeriksaan kuat geser langsung sampel tanah lempung murni, diperoleh kohesi ( $c$ ) = 0,2265 kg/cm<sup>2</sup> dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) = 14,6°.  $N_c$ ,  $N_q$  dan  $N_\gamma$  diperoleh dari Tabel 3, untuk mendapatkan Nilai  $N_c$ ,  $N_q$  dan  $N_\gamma$  dari sudut geser dalam dengan ( $\phi$ ) = 14,6° maka, dicari dengan menggunakan rumus interpolasi dari Tabel 3, sehingga diperoleh nilai  $N_c$ ,  $N_q$  dan  $N_\gamma$ .

$$N_c = 4,264 \quad N_q = 2,396 \quad N_\gamma = 12,636$$

Sehingga didapatkan nilai daya dukung tanah  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  pada sampel tanah lempung murni menurut nilai faktor daya dukung tanah *Terzaghi*.

Berdasarkan hasil pemeriksaan di laboratorium diperoleh:

$$N_c = 4,264 \quad \phi = 14,6^\circ \quad c = 0,2265 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_q = 2,396 \quad B = 50 \text{ cm} \quad \gamma = 0,00159$$

$$N_\gamma = 12,636 \quad D_f = 50 \text{ cm}$$

Menurut Hardiyatmo (2007), menyatakan bahwa “kondisi jika tanah sangat tidak padat atau lunak, penurunan yang terjadi sebelum keruntuhan amat besar. Ini menunjukkan kondisi keruntuhan geser umum (*Generall Shear Failure*)”.

Perhitungan daya dukung pondasi menerus diasumsikan keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser umum:

$$q_{ult} = cN_c + D_f \gamma N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- B = lebar pondasi (meter)
- $\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>),
- D<sub>f</sub> = kedalaman pondasi (meter)
- c = kohesi (kN/m<sup>2</sup>)
- N<sub>γ</sub>, N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub> = faktor daya dukung tanah (fungsi  $\phi$ )

Berikut adalah perhitungan daya dukung tanah untuk sampel tanah lempung murni:

$$q_{ult} = (0,2265 \times 4,264) + (50 \times 0,00159 \times 2,396) + (0,5 \times 0,00158 \times 50 \times 12,636)$$

$$q_{ult} = 1,6586 \text{ Kg/cm}^2$$

Jadi, daya dukung tanah untuk sampel tanah lempung murni adalah 1,6586 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabel 4. Rekapitulasi nilai daya dukung tanah lempung dengan campuran abu terbang dan asam fosfat pada semua sampel

Variasi Campursan (%)	Daya Dukung (Q <sub>ult</sub> ) (kg/cm <sup>2</sup> )		Persentase Perubahan (%)
	Tanah Lempung Asli	Sesudah Campuran	
A.T. 7,5% + A.F. 5%		1,7814	9,38
A.T. 7,5% + A.F. 7,5%	1,6585	2,9158	77
A.F.A. 7,5% + A.F. 10%		4,7991	192

Sumber: Pengujian Laboratorium (2021)

Dari Tabel 4 dapat dilihat, campuran dengan perubahan daya dukung tanah tertinggi yaitu pada campuran abu terbang 7,5% dan asam fosfat 10% dengan persentase perubahan daya dukung tanah adalah 192%.

## 5. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sifat fisik tanah di kawasan Desa Tanjung Sanggalang Kecamatan Kahayan Tengah, Kabupaten Pulang Pisau, Provinsi Kalimantan Tengah Hasil klasifikasi tanah berdasarkan klasifikasi AASHTO adalah tanah lempung dengan kondisi yang sedang sampai dengan buruk yang termasuk dalam Golongan A-7-6 (8).

Dari hasil sifat mekanik tanah, tanah lempung asli dengan campuran perubahan daya dukung tanah tertinggi yaitu pada campuran abu terbang 7,5% dan Asam Fosfat 10% dengan persentase perubahan daya dukung tanah adalah 192%. Abu terbang yang tetap dan campuran asam fosfat dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung.

### DAFTAR PUSTAKA

- Amania , Sarie, F. & Hendri, O., 2021. **“Pengaruh Penambahan Pasir Sirkon, Abu Kayu dan Fly Ash pada Tanah Lempung Terhadap Daya Dukung dan Kuat Geser Tanah”**. *Proteksi*, III(2), pp. 63-70.
- ASTM International, 2015. **“Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Rubber Balloon Methode (ASTM D2167).”** United State: ASTM International.
- ASTM International, 2016. **“Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils (Withdrawn 2016) (ASTM- D422-63).”** United State: ASTM International.
- ASTM International, 2017. **“Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer (ASTM D854-02).”** United State: ASTM International.
- ASTM International, 2017. **“Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer(ASTM D854-02).”** United State: ASTM International.
- Hardiyatmo, H. C., 2002. **“Mekanika Tanah. I”** ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ibrahim, Hasan A, Yuniar., 2013. **“Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Bahan Kimia Asam Fosfat Sebagai Lapisan Fondasi Jalan.”** *Jurnal PILAR*.

- Sreelatha, S., Rao, T. P., Narayanan, C. S., & Damodaran, A. D. (1994). **“Extraction equilibria of rare earths by a new reagent (2-ethylhexyl-3-pentadecylphenyl) phosphoric acid.”** *Talanta*, 41(3), 433-438.
- Terzaghi, K. & Peck, R. B., 1987. **“Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa.”** Jakarta: Erlangga.

Halaman ini sengaja dikosongkan