

ANALISA STABILISASI TANAH LUNAK DENGAN CAMPURAN *PORTLAND CEMENT* DAN *FLY ASH* UNTUK DIAPLIKASIKAN PADA BANGUNAN RUMAH TINGGAL 2 LANTAI

Yohanes Febrian Onggara¹, Daniel Tjandra², Johanes Indrojono Suwono³

ABSTRAK: Tanah lunak merupakan jenis tanah kohesif yang terdiri dari butiran-butiran kecil seperti lempung dan lanau. Tanah lunak memiliki sifat gaya geser rendah, permeabilitas rendah, pemampatan tinggi, dan daya dukung tanah rendah sehingga memerlukan stabilisasi tanah. Stabilisasi dilakukan dengan menggunakan material semen dan *fly ash*. Pengujian dilakukan menggunakan tanah lunak yang diambil dari PT. Endo Surabaya dengan nilai kuat tekan bebas tanah asli 0.48 kg/cm². Pengujian yang dilakukan meliputi karakteristik tanah asli, UCT dan CBR *unsoaked*. Benda uji yang dibuat berjumlah 3 untuk pengujian masing-masing karakteristik tanah asli dan masing-masing 2 benda uji dibuat untuk tiap variasi campuran pengujian UCT dan CBR *unsoaked*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui campuran optimum semen dan *fly ash* dan dampak pemeraman (2 hari dan 4 hari) pada daya dukung dan sifat fisik tanah lunak agar bisa diaplikasikan kepada pembangunan rumah tinggal 2 lantai. Dari hasil penelitian UCT dan CBR terjadi kenaikan kekuatan tekan bebas tanah *undisturbed* sebesar 273% dan tanah asli sebesar 190% jika dibandingkan dengan daya dukung tanah yang sudah distabilisasi. Pada aplikasi perhitungan daya dukung pondasi lajur rumah tinggal 2 lantai didapati daya dukung minimum tanah stabilisasi mampu menopang rumah tinggal 2 lantai dengan berat 22 ton menggunakan dimensi pondasi lajur sebesar 400 x 80 cm.

KATA KUNCI: tanah lunak, *portland cement*, *fly ash*, kuat tekan bebas, CBR

1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia yang tergolong sebagai negara berkembang dan termasuk negara ke-4 dengan jumlah penduduk terbanyak di dunia. Semakin banyaknya populasi di Indonesia semakin sedikit pula lahan untuk pembangunan rumah tinggal. Lahan yang bagus untuk membangun rumah tinggal pun semakin lama semakin sedikit dan yang tersisa hanyalah lahan yang memiliki daya dukung tanah rendah. Pondasi yang kuat perlu didukung dan dipasang di tanah yang memiliki mutu dan daya dukung yang baik pula. Tanah dasar yang tidak memiliki kekuatan yang cukup untuk menopang beban di atasnya memerlukan perbaikan tanah yang disebut stabilitas tanah yang dimana ada 3 metode, secara biologis, kimiawi dan mekanik. Stabilitas tanah merupakan usaha yang digunakan yang diharapkan dapat memperbaiki atau merubah sifat dari tanah dasar yang bertujuan untuk meningkatkan mutu dan kemampuan daya dukungnya sehingga tanah dasar tersebut aman dan dapat digunakan sesuai tujuannya. Secara kimiawi stabilitas tanah dapat ditingkatkan dengan cara mencampurkan bahan *inorganic admixture*, salah satunya adalah semen dan *fly ash*.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, 21416229@john.petra.ac.id

²Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, danieljt@petra.ac.id

³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, jsuwono@petra.ac.id

Salah satu tanah yang kurang baik dan memerlukan peningkatan mutu tanah menggunakan stabilitas tanah merupakan tanah lunak. Menurut Chen (1975), mineral lempung terdiri dari tiga komponen penting yaitu *montmorillonite*, *illite* dan *kaolinite*. Tanah lunak sendiri digolongkan sebagai tanah ekspansif, dimana tanah tersebut memiliki karakteristik kembang susut pada bagian lempungnya tergantung oleh cuaca baik itu kemarau ataupun hujan. Karakteristik tanah lunak ini menyebabkan ketidak konsistenan pada kadar air tanah yang menyebabkan perubahan volume tanah dimana hal ini dapat menyebabkan penurunan atau *settlement* pada bangunan di atasnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Lunak

Craig (1989) mengatakan bahwa, tanah dapat didefinisikan sebagai akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Dalam pengertian dalam bidang teknik, umumnya tanah merupakan bahan padat yang terletak dipermukaan bumi, yang terus mengalami perubahan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor bahan induk, iklim, organism, topografi, dan waktu. Umumnya lapisan tanah yang disebut lapisan tanah lunak merupakan lanau (*silt*) dan lempung (*clay*). Berdasarkan USCS, butiran tanah pada lapisan ini memiliki ukuran butir $< 0,0075$ mm. Lapisan ini mempunyai nilai pengujian penetrasi standar N-SPT < 3 , tekanan penetrasi bebas (q_u) yang rendah yaitu $< 0,5$ kg/cm², kadar air tanah (w_n) tinggi, dan tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. ET Utami et al (2019) mengatakan bahwa, tanah lunak memiliki sifat mekanik yang kurang baik. Selain itu, tanah lunak memiliki kadar air yang tinggi, kompresibilitas tinggi, daya dukung rendah, stabilitas rendah, serta koefisien permeabilitas kecil yang akan mengakibatkan proses konsolidasi akan berlangsung dalam jangka waktu yang lama.

PENGUJIAN SIFAT FISIK TANAH

Specific Gravity (Gs)

Berat spesifik tanah (G_s) merupakan perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w). G_s dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w \quad (1)$$

keterangan:

G_s = Berat spesifik

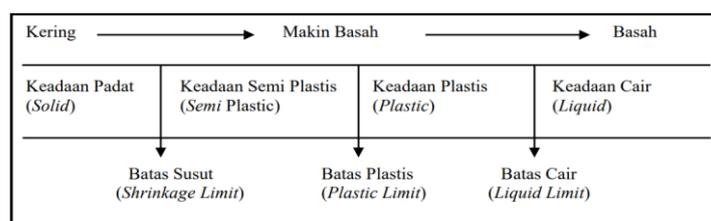
γ_s = Berat volume butiran padat (g/cm³)

γ_w = Berat volume air (g/cm³)

Batas-Batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Batas-batas atterberg merupakan cara untuk mengklasifikasi jenis tanah berbutir halus untuk mengetahui *engineering properties* dan *engineering behavior* dari tanah tersebut. Sering kali yang perlu dilihat pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas pada tanah disebabkan oleh adanya partikel dari mineral lempung dalam tanah yang mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa menyebabkan keretakan. Atterberg memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas ini secara konsisten dari tanah yang berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya. Cara yang diberikan Atterberg antara lain batas cair (*Liquid Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*) dan batas susut (*Shrinkage Limit*).

Gambar 1. *Atterberg Limit*



PENGUJIAN SIFAT MEKANIS TANAH

Uji Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan atau *compaction* merupakan proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi dari volume udara pada dalam tanah. Pada umumnya cara pemadatan ini diharapkan dapat meningkatkan kepadatan tanah dengan menggunakan energi mekanis untuk pemadatan partikel. Energi mekanis ini jika dilihat dilapangan dapat dihasilkan dari mesin gilas, alat-alat pemadatan dan dari benda-benda berat yang dijatuhkan ke permukaan tanah. Untuk energi mekanis di laboratorium dapat dihasilkan dengan menggunakan alat laboratorium antara lain *compression machine*. Nilai kepadatan pada tanah tanah tergantung atas 3 faktor yaitu, kadar air selama pemadatan, volume dari tanah itu sendiri dan jenis tanah dan jenis beban pemadat yang digunakan (Krebs dan Walker, 1998). Ada 2 macam pengujian yang bertujuan untuk mencari kadar air optimum dari suatu tanah (W_c optimum) dan berat isi kering maksimum tanah (γ_d). Percobaan tersebut antara lain percobaan pemadatan standar (*Standard Compaction Test*) dan percobaan pemadatan modifikasi (*Modified Compaction Test*).

California Bearing Ratio (CBR)

Sukirman, S (1995) mengatakan bahwa, pengujian *California bearing ratio* merupakan perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0.1'' (1 inch) atau 0.2'' (2 inch) dengan beban yang ditahan oleh batu pecah standar pada penetrasi 0.1'' (1 inch) atau 0.2'' (2 inch). Ada 2 macam pengukuran CBR yang digunakan yaitu:

1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0.254 cm atau 1 inch (0.1'') terhadap penetrasi standar sebesar 70.37 kg/cm² (1000 psi).
2. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0.508 cm atau 2 inch (0.2'') terhadap penetrasi standar sebesar 105.56 kg/cm² (1500 psi).

CBR laboratorium sendiri bisa dibedakan menjadi 2 macam percobaan yaitu:

- a. CBR laboratorium rendaman (*Soaked CBR*)
- b. CBR laboratorium tanpa rendaman (*Unsoaked CBR*)

Unconfined Compression Test (UCT)

Pada **Tabel 1** ditunjukkan hubungan antara jenis tanah lempung dengan nilai kuat tekan bebas yang didapatkan dari pengujian UCT. Pengujian UCT atau uji tekan bebas merupakan pengujian yang bertujuan untuk menentukan besarnya kekuatan tekan bebas contoh tanah dan batuan yang bersifat kohesif dalam keadaan asli maupun buatan (*remoulded*). Yang dimaksud dengan kekuatan tekan bebas merupakan beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan pada saat renggangan aksialnya mencapai 20%.

Tabel 1. Hubungan antara Jenis Tanah Lempung dengan Nilai Kuat Tekan Bebas-nya

Konsistensi	q_u (kN/m ²)
Lempung Keras	> 400
Lempung Sangat Kaku	200 - 400
Lempung Kaku	100 - 200
Lempung Sedang	50 - 100
Lempung Lunak	25 - 50
Lempung Sangat Lunak	< 25

Stabilisasi Tanah

SoilIndo (2017) mengatakan bahwa, stabilitas tanah merupakan usaha untuk memperbaiki sifat tanah secara teknis dengan menggunakan bahan-bahan tertentu. Stabilitas bertujuan untuk mengubah sifat tanah itu sendiri, seperti sifat kompresibilitas, daya dukung tanah, permeabilitas, sensitifitas terhadap

kadar air, serta potensi pengembangannya. Salah satu stabilisasi dan material yang dapat digunakan adalah campuran dengan semen dan *fly ash* untuk meningkatkan daya dukung tanah.

Portland Cement

Semen *Portland* merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan terak yang mengandung senyawa-senyawa kalsium silikat dan biasanya juga mengandung satu atau lebih senyawa-senyawa kalsium sulfat yang pada akhirnya ditambahkan pada penggilingan akhir. Pada pengertian umumnya semen merupakan bahan yang mempunyai sifat *adhesive* dan *cohesive*, yang dimana material semen ini digunakan untuk bahan pengikat yang bersama-sama digunakan dengan material lainnya seperti batu kerikil dan pasir. Kezdi, A (1979) mengatakan bahwa, proses sementasi pada tanah akan menyebabkan penggumpalan yang merekat antar partikel, rongga-rongga pori yang ada sebagian akan dikelilingi bahan sementasi yang lebih keras dan lebih sulit ditembus air. Semen juga mengandung *Silica* (SiO_2) dan *Alumina* (Al_2O_3) yang jika dicampurkan dengan air akan membentuk pasta yang bekerja sebagai pengikat partikel lempung dan menutupi pori-pori tanah.

Fly Ash

Fly ash merupakan material halus serta mempunyai gradasi seragam yang berasal dari limbah pembakaran besi baja atau batu bara. Ditemukan bahwa 80% *fly ash* terbentuk setelah pembakaran besi baja atau batu bara selesai, sisanya merupakan material kasar yang disebut *bottom ash*. Tjokrodimuljo (1992) mengatakan bahwa, *fly ash* sendiri tergolong sebagai material *pozzolanic* atau bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina, yang tidak mempunyai sifat semen, akan tetapi dalam bentuk halus dan dengan adanya air dapat menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air. Bahan yang terkandung dalam *fly ash* yang membuat disebut sebagai *pozzolanic material* adalah *Silica* (SiO_2), *Besi Oksida* (Fe_2O_3), *Aluminium Oksida* (Al_2O_3), *Calcium Oksida* (CaO), *Magnesium Oksida* (MgO) dan *Sulfat* (SO_4).

METODOLOGI PENELITIAN

Proses Sampling

Proses pengambilan sampel tanah dilakukan dengan dua cara yang berbeda. Adapun cara atau proses pengambilan sample tanah *undisturbed* yang diperoleh di lapangan adalah dengan menggunakan tabung sepanjang 70 cm yang dipukul kedalam tanah dengan kedalaman tanah yang sudah digali sedalam ± 200 cm menggunakan palu hingga tabung tersebut terisi penuh dengan tanah dan kemudian ditarik keluar menggunakan tiang yang dipasangkan pada lubang di sisi tabung. Adapun cara atau proses pengambilan sample tanah *disturbed* yang diperoleh di lapangan adalah dengan menggunakan cangkul dan sekop yang digunakan untuk mengambil tanah pada kedalaman ± 200 cm di dalam tanah yang kemudian dimasukkan kedalam karung dan bak mandi.

Jenis Pengujian

Spesific Gravity

Specific Gravity (Gs) merupakan perbandingan densitas suatu fluida terhadap fluida standar. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 3 benda uji dengan tujuan untuk mencari berat spesifik tanah asli. Tanah sample yang digunakan merupakan tanah yang sudah lolos ayakan no.200. Alat yang digunakan untuk pengujian ini menggunakan piknometer.

Atterberg Limit

Batas cair merupakan pengujian untuk mencari kadar air yang terkandung dalam tanah pada perbatasan antara fase cair dan fase plastis. Pengujian ini mengacu pada ASTM D423-66 (1972). Tanah yang digunakan merupakan tanah yang lolos ayakan no. 200. Batas plastis merupakan pengujian yang bertujuan untuk menentukan kadar air pada contoh tanah pada saat perpindahan dari bentuk plastis ke bentuk semi padat. Pengujian ini mengacu pada ASTM D424-74 (1971). Tanah yang digunakan merupakan tanah yang lolos ayakan no. 200.

Proctor Test

Proctor Test merupakan pengujian yang bertujuan untuk menemukan kepadatan tanah maksimum dengan cara memberikan tanah tersebut dengan kadar air optimum. Kepadatan yang dimaksud disini adalah ketika volume udara dalam tanah mencapai nilai minimum.

Unconfined Compression Test (UCT)

Pengujian UCT mengacu pada (ASTM) D2166-85 dan dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan bebas tanah dan kuat geser dari tanah lempung serta pengaruh penambahan *portland cement* dan *fly ash* dan juga efek pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas dan kuat geser dari tanah lempung. Pada pengujian ini tanah yang digunakan merupakan campuran tanah lunak yang sudah kering dan sudah di tumbuk hingga halus dengan kadar air optimum serta *portland cement* dan *fly ash* sebagai bahan campurannya.

California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan kekokohan permukaan lapisan tanah yang pada umumnya digunakan sebagai *sub-base* (tanah urugan) atau *sub-grade* (lapisan dasar tanah) pada konstruksi jalan atau bangunan ringan seperti rumah. Pengujian ini menggunakan campuran tanah lempung yang sudah kering dan ditumbuk halus dengan kadar air optimum serta *portland cement* dan *fly ash* sebagai *mix design*.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah Tanpa Stabilisasi

Dari **Tabel 2** didapatkan bahwa nilai *specific gravity* dari tanah tersebut bernilai 2.64. Menurut Hardiyatmo (2002), nilai *specific gravity* antara 2.58-2.65 termasuk jenis tanah lempung organik. Nilai q_u (kg/cm^2) untuk pengujian UCT tanah asli juga menunjukkan nilai 0.69 kg/cm^2 dimana menurut Hardiyatmo (2002), nilai q_u (kg/cm^2) antara 50-100 kN/m^2 termasuk kedalam lempung sedang.

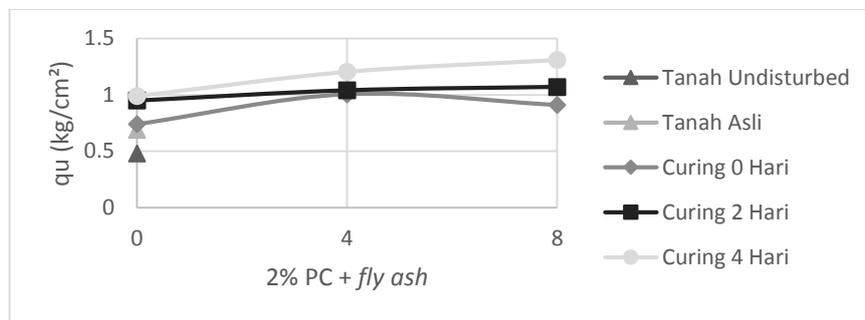
Tabel 2. Hasil Pengujian Tanah tanpa Stabilisasi

Percobaan	Hasil
<i>Liquid Limit</i> (Batas Cair) (%)	75
<i>Plastic Limit</i> (Batas Plastis) (%)	43
Indeks Plastisitas (%)	39
Indeks Liquiditas	1
<i>Specific Gravity</i>	2.64
Berat Volume Kering Tanah (t/m^3)	1.55
Kadar Air Optimum (%)	22.7
CBR (%)	2.04
UCT <i>remoulded</i> (kg/cm^2)	0.69

Hasil Pengujian *Unconfined Compression Test*

Tabel 3. Data Hasil Uji Kuat Tekan Bebas

SAMPEL	qu (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	q _{all} (kg/cm ²)
Tanah Undisturbed	0.48	0.24	0.41
Tanah Asli	0.69	0.345	0.59
2% PC	0.74	0.37	0.63
2% PC Curing 2H	0.96	0.48	0.82
2% PC Curing 4H	0.99	0.495	0.85
2%PC + 4% FA	1.05	0.525	0.90
2% PC + 4% FA Curing 2H	1.04	0.52	0.89
2% PC + 4% FA Curing 4H	1.205	0.6025	1.03
2% PC + 8% FA	0.91	0.455	0.78
2% PC + 8% FA Curing 2H	1.07	0.535	0.92
2% PC + 8% FA Curing 4H	1.31	0.655	1.12



Gambar 2. Nilai Kuat Tekan Bebas Untuk Seluruh Benda Uji UCT

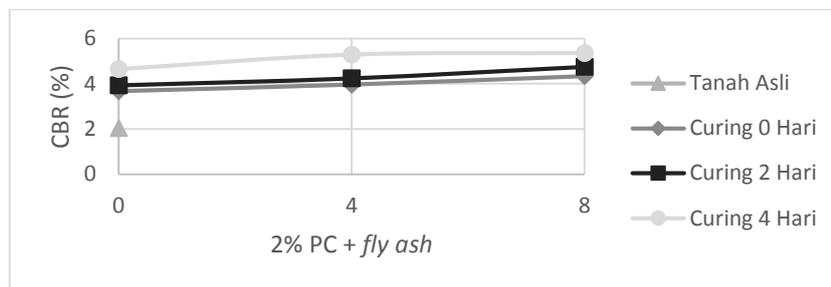
Dari **Tabel 3** dan **Gambar 2** ditemukan bahwa nilai kuat tekan bebas tanah asli bernilai 0.69 kg/cm². Nilai kuat tekan bebas tanah *undisturbed* didapat dari laporan penyelidikan tanah PT. Endo dengan nilai N-SPT sebesar 4, hasil penyelidikan tanah PT. Endo dapat dilihat pada lampiran 7 halaman 64. Dari nilai N-SPT bisa dikonversi menjadi nilai gaya geser (*cu*) sebesar 0.24 kg/cm² dan nilai kuat tekan bebas 0.48 kg/cm². Ditunjukkan juga bahwa nilai kuat tekan bebas terbesar (*qu_{max}*) didapatkan pada campuran 2% PC + 8% FA dengan waktu pemeraman selama 4 hari sebesar 1.31 kg/cm² dan nilai terkecil didapatkan pada tanah *undisturbed* sebesar 0.48 kg/cm². Jika daya dukung tanah *undisturbed* dibandingkan dengan daya dukung tanah yang sudah distabilisasi menggunakan semen 2% dan *fly ash* 8% serta diberi waktu pemeraman terjadi kenaikan nilai kuat tekan sebesar 273%. Jika dibandingkan dengan tanah asli terjadi kenaikan sebesar 190%.

Hasil Percobaan *California Bearing Ratio*

Dari **Tabel 4** dan **Gambar 3** ditunjukkan nilai CBR mengalami kenaikan akibat campuran bahan stabilisator semen dan *fly ash*. Kenaikkan nilai CBR yang ditunjukkan tidak begitu signifikan diakibatkan kemungkinan pencampuran tanah dengan bahan stabilisator yang kurang merata dikarenakan benda uji CBR menggunakan volume tanah yang lebih banyak dibandingkan pengujian UCT. Kemungkinan lainnya adalah terlalu kecilnya kadar semen dan *fly ash* yang dicampurkan dengan tanah lunak sehingga proses sementasi dan sifat *pozzolan* yang seharusnya membuat gradasi tanah menjadi lebih baik dan membuat partikel lempung dalam tanah menggumpal tidak bereaksi seperti yang diharapkan.

Tabel 4. Data Hasil Uji CBR

SAMPEL	CBR (%)
Tanah Asli	2.04
2% PC	3.68
2% PC Curing 2H	3.93
2% PC Curing 4H	4.65
2%PC + 4% FA	3.97
2% PC + 4% FA Curing 2H	4.24
2% PC + 4% FA Curing 4H	5.29
2% PC + 8% FA	4.34
2% PC + 8% FA Curing 2H	4.75
2% PC + 8% FA Curing 4H	5.36



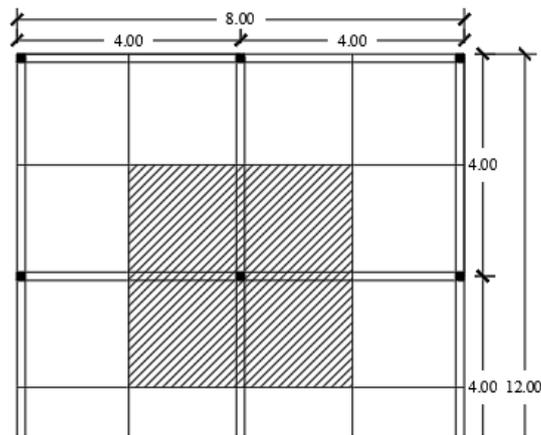
Gambar 3. Nilai CBR untuk Seluruh Benda Uji

Aplikasi Daya Dukung Tanah Pada Bangunan Rumah Tinggal

Dari **Tabel 5** dapat dilihat dengan beban total 1 kolom pada *tributary area* sebesar 20000 kg atau 22 ton dengan dimensi pondasi plat lajur 400 x 80 dibutuhkan daya dukung pondasi ($q_{pondasi}$) sebesar 0.625 kg/cm². Dari hasil perhitungan dan pengujian daya dukung tanah bisa dilihat bahwa daya dukung minimum tanah campuran dengan varian semen 2% tanpa diberi pemeraman dengan nilai daya dukung (q_{all}) sebesar 0.63 kg/cm² mampu menopang beban *tributary area* 1 kolom bangunan 2 lantai dengan dimensi pondasi 400 x 80 cm. Denah *tributary area* yang digunakan bisa dilihat pada **Gambar 4**.

Tabel 5. Perbandingan $q_{pondasi}$ dimensi 400x80 dengan q_{all}

SAMPEL	q_{all} (kg/cm ²)	$q_{pondasi}$ (kg/cm ²) 400 x 80	Berat Total <i>tributary area</i> 1 kolom
Tanah Undisturbed	0.41	1	32000 kg
Tanah Asli	0.59		
2% PC	0.63		
2% PC Curing 2H	0.82		
2% PC Curing 4H	0.85		
2%PC + 4% FA	0.90		
2% PC + 4% FA Curing 2H	0.89		
2% PC + 4% FA Curing 4H	1.03		
2% PC + 8% FA	0.78		
2% PC + 8% FA Curing 2H	0.92		
2% PC + 8% FA Curing 4H	1.12		



Gambar 4. Denah Tributary Area Lantai 2

KESIMPULAN

1. Nilai daya dukung tanah (q_{all}) terbesar didapatkan dari campuran *portland cement* 2% dan *fly ash* 8% dengan waktu pemeraman 4 hari sebesar 1.12 kg/cm^2 .
2. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa penambahan waktu pemeraman mempengaruhi kekuatan dari sampel tanah sesuai dengan yang diharapkan. Pada percobaan UCT dan CBR, semakin lama waktu pemeraman yang diberikan maka kekuatan sampel tanah semakin meningkat.
3. Dari hasil penelitian di laboratorium dan perhitungan ditemukan bahwa daya dukung tanah minimum untuk menopang daya dukung pondasi sebesar 0.625 kg/cm^2 ada pada campuran semen 2% tanpa diberikan waktu pemeraman

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. (1971). *Standard Test Method of Test for Plastic Limit of Soil*, (ASTM) D 424-74.
- American Society for Testing and Materials. (1972). *Method of Test for Liquid Limit of Soils*, (ASTM) D 423-66.
- American Society for Testing and Materials. (1985). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*, (ASTM) D2166-85.
- Chen, F.H. (1975). *Foundations on Expansive soil*. Elsevier Science Publishing Company, New York.
- Craig, R.F. (1994). *Mekanika Tanah*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Erdina, T.U., Indra, N.H, & Kabul, S. (2019). Analisis Stabilitas pada Perbaikan Tanah Lunak Metode Preloading dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Sipil I tenas*, Vol 5 (No.3)
- Hardiyatmo, H.C. (2002). *“Mekanika Tanah I”* Edisi 3. PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta
- Krebs, R.D. and Walker. (1971). *Highway Materials*, McGraw-Hill Book Company. New York, N.Y.
- Kezdi, A. (1979). *“Stabilization Earth Roads”*. Elvesier Scientific Publishing Company. New York
- SoilIndo. (2017). *Stabilisasi Tanah Menggunakan Material Semen*. Jakarta
- Sukirman, S. (1995). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova, Bandung
- Tjokrodimuljo, K. (1992). *Bahan Bangunan. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjaja Mada*. Yogyakarta
- Tjokrodimuljo, K. (1992). *Teknologi Beton. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjaja Mada*. Yogyakarta