

# Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Penambahan Bahan *Silica Fume* dan Limbah Gypsum

Isye Failsa Sufa<sup>1</sup>, Jihade Kufiita Ardalli<sup>2</sup>, Soedarsono<sup>3</sup>, Lisa Fitriyana<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Jl. Kaligawe Raya No. KM 4. Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112

[isyefailsa57@gmail.com](mailto:isyefailsa57@gmail.com)

**Abstrak** – Konstruksi jalan di daerah Sugihmanik, Tanggungharjo, Grobogan, Jawa Tengah seringkali mengalami kerusakan pada struktur jalan yang diakibatkan oleh meluapnya sungai pada saat musim hujan. Untuk mengatasinya, perlu dilaksanakan stabilisasi tanah. Di dalam penelitian ini, percobaan stabilisasi tanah dilakukan pembubuhan material berupa *silica fume* dan limbah gypsum. Dari kedua bahan ini, nantinya dapat diketahui pengaruhnya untuk stabilisasi tanah pada daerah tersebut. Material *silica fume* memiliki kandungan pozzolan yang bisa menyebabkan peningkatan besar kohesi dan besar kuat geser dalam tanah, selain itu *silica fume* dan limbah gypsum dapat menyerap air sehingga material tambahan ini dapat menggantikan air yang ada di pori-pori tanah. Dalam penelitian dilakukan pengujian index properties pada tanah di daerah tersebut. Dari hasil pengujian index properties diketahui klasifikasi jenis tanah di daerah Sugihmanik, Tanggungharjo, Grobogan, Jawa Tengah tergolong OH (lempung organik berplastisitas tinggi) dan juga merupakan tanah berlempung yang buruk. Selanjutnya dilakukan pengujian sifat fisik (*engineering properties*) pada tanah asli, tanah campuran *silica fume*, dan tanah campuran limbah gypsum dengan prosentase tiap-tiap pencampurannya sebanyak 4%, 8%, 12%, dan 15%. Dari pengujian *engineering properties* diketahui perubahan dari tanah asli mengalami peningkatan besarnya kuat geser dalam, besarnya kohesi, dan juga besarnya CBR dalam pencampuran *silica fume* dan limbah gypsum.

**Kata kunci:** Stabilisasi, *Silica Fume*, Limbah Gypsum, Kuat Geser, CBR

**Abstract** – Road construction in the Sugihmanik area, Tanggungharjo, Grobogan, Central Java often suffers damage to the road structure caused by overflowing rivers during the rainy season. To overcome this, soil stabilization is necessary. In this study, soil stabilization experiments were carried out by affixing materials in the form of *silica fume* and gypsum waste. From these two materials, it will be known their effect on soil stabilization in the area. *Silica fume* material contains pozzolans which can cause a large increase in cohesion and large shear strength in the soil, besides that *silica fume* and gypsum waste can absorb water so that this additional material can replace the water in the soil pores. In the study, the index properties were tested on the soil in the area. From the results of the index properties test, it is known that the classification of soil types in the areas of Sugihmanik, Responsibilityharjo, Grobogan, Central Java is classified as OH (high plasticity organic clay) and is also a poor loamy soil. Furthermore, the physical properties (*engineering properties*) were tested on the original soil, *silica fume* mixed soil, and gypsum waste mixed soil with the percentages of each mixing as much as 4%, 8%, 12%, and 15%. From *engineering properties* testing, it is known that changes from the original soil have increased the amount of internal shear strength, the amount of cohesion, and also the amount of CBR in mixing *silica fume* and gypsum waste.

**Key words:** Stabilization, *Silica Fume*, Gypsum Waste, Shear Strength, CBR

## I. PENDAHULUAN

Tanah adalah sekumpulan butir mineral alam yang tidak melekat erat, sehingga sangat mudah untuk dipisahkan. Tanah menjadi dasar untuk menunjang konstruksi-konstruksi di bidang sipil. Selain itu, tanah juga digunakan untuk melakukan berbagai aktivitas yang dapat menunjang kehidupan. Tanah terdiri dari beberapa jenis, jenis-jenis tanah ini ditentukan dari besar kecilnya ukuran partikel tanah. Yang mana ukuran partikel tanah tersebut sangat beraneka ragam dengan variasi yang berbeda-beda. Salah satu jenis tanah bermasalah dalam konstruksi sipil adalah tanah lempung ekspansif. Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang menimbulkan banyak masalah pada konstruksi sipil karena tanah lempung ekspansif memiliki tingkat plastisitas yang tinggi, daya dukung yang rendah, dan nilai kembang susut yang tinggi. Tanah lempung ekspansif ini dapat diatasi dengan cara stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah merupakan pencampuran tanah dengan tambahan material yang berfungsi untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar tanah dapat memenuhi suatu syarat teknis. Syarat teknis yang dibutuhkan dalam pengoptimalan kinerja konstruksi antara lain ; kapasitas daya dukung tanah, kuat geser tanah, penurunan (settlement), permeabilitas tanah, dan lain sebagainya.

Ada 2 macam stabilisasi tanah, yaitu ; perbaikan tanah dan perkuatan tanah. Pada penelitian ini, stabilisasi tanah lempung ekspansif dilakukan dengan cara perbaikan tanah. Perbaikan tanah merupakan suatu jenis stabilisasi tanah yang bertujuan untuk memperbaiki dan/atau menjaga kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan. Perbaikan tanah ini menggunakan metode kimiawi yang mana caranya adalah dengan menambahkan suatu bahan kimia ke dalam tanah. Sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dan material pencampurnya. Pencampuran itu akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik. Pada penelitian kali ini, digunakan alternatif bahan yang diharapkan dapat meningkatkan stabilisasi pada tanah lempung ekspansif. Bahan-bahan yang digunakan adalah silica fume dan limbah gypsum. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan daya dukung tanah yang lebih baik dibanding sebelum penambahan silica fume dan limbah gypsum.

## II. TINJAUAN PUSTAKA/ LANDASAN TEORI

### A. Stabilisasi

Suatu cara yang dipakai guna meningkatkan visibilitas daya dukung pada lapisan tanah, caranya adalah dengan melakukan perlakuan khusus kepada lapisan tanah itu. Dengan begitu bisa diketahui bahwa goal dari stabilisasi tanah adalah paling tidak dapat lolos dari syarat yaitu guna memperbaiki daya dukung pada tanah, guna memperkecil penurunan dalam lapisan tanah, guna menurunkan permeabilitas dan swelling potensial pada tanah, guna mempertahankan potensi pada tanah yang ada. Dari empat tujuan dari suatu perlakuan stabilisasi yang dipaparkan di atas, sangat tidak sering dapat mencapai keempat hal tersebut sekaligus. Dari perilaku pencampuran antara massa tanah bersama bahan stabilisator, jenis-jenis stabilisasi dalam tanah bisa diklasifikasikan yaitu stabilisasi kimia, stabilisasi fisik, stabilisasi mekanis, dan stabilisasi termal. Stabilisasi kimia merupakan stabilisasi yang memakai bahan kimia dapat menyebabkan reaksi kimia, selain itu output berupa kandungan baru yang bersifat stabil daripada kandungan yang mana ada pada massa tanah sebelum perlakuan stabilisasi dilaksanakan. Stabilisasi kimia bisa menghasilkan peningkatan kapasitas daya dukung, perbaikan penurunan dan sifat permeability dalam sub tanah. Namun dalam pemeliharannya harus berhati-hati, karena tidak semua tindakan stabilisasi kimia mampu memperbaiki secara bersamaan ketiga karakteristik tersebut di atas. Biasanya stabilisasi kimia bisa memperbaiki parameter tanah, melalui pembentukan senyawa baru dalam massa tanah yang merupakan produk dari reaksi kimia yang teralami dalam tanah dengan bahan pencampurnya, yang mana senyawa baru tersebut ikatan ioniknya lebih kuat. Untuk dapat memilih bahan stabilisasi kimia secara tepat, perencana harus memahami dengan baik kondisi tanah yang akan distabilisasi, terutama bahan-bahan kimia berasal dari mineral tanah.

### B. Silica Fume

American Concrete Institute mendefinisikan silica fume sebagai “silika non-kristal yang sangat halus yang diproduksi di wajan busur berlistrik untuk produk sampingan dari pembuatan silikon unsur ataupun arahan yang berisi silikon”. Silica fume biasanya dikategorikan sebagai bahan semen tambahan. Istilah ini mengacu pada material yang digunakan pada beton selain semen portland. Logam ini digunakan dalam banyak aplikasi industri untuk mencakup produksi aluminium dan baja, fabrikasi chip komputer, dan produksi silikon, yang banyak digunakan dalam pelumas dan sealant.

### C. Limbah Gypsum

Gypsum adalah satu jenis mineral non logam, Gypsum memiliki kandungan calcium sulphate dihydrate. Gypsum merupakan satu jenis mineral dari sekian mineral yang menguap. Pada kimia science, gypsum dinamai dengan Calcium Sulfat Hidrat  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , yang mana artinya adalah gypsum adalah sebuah material yang juga ikut kedalam mineral sulfat. Sifat fisis Gypsum diantaranya adalah biasanya berwarna putih, kuning, abu-abu, merah jingga, hitam bila tidak murni, memiliki massa jenis : 2,31-2,35 g/cm<sup>3</sup>, pada bagian permukaan teksturnya keras, berbentuk mineral berupa crystalline, fiber, dan massive, kilat seperti silk, dan mempunyai daya hantar yang kecil. Gypsum mempunyai segudang manfaat semenjak jaman prasejarah sampai sekarang, beberapa manfaat Gypsum adalah berguna pada pengentalan tofu, menambah kekerasan pada bahan bangunan, dipakai sebagai drywall, untuk bahan perekat, sebagai menyaring dan untuk pupuk tanah, sebagai bahan dasar pada kapur untuk tulisan, untuk campuran bahan pembuat portland cement.

### D. Kuat Geser

Keamanan dari konstruksi yang berdiri diatas tanah bergantung dari kekuatan tanah yang ada dibawahnya. Kalau tanah mengalami keruntuhan, maka konstruksi itu juga mengalami keruntuhan. Reruntuhan itu dapat mengambil nyawa korban dan juga dapat merugikan ekonomi. Kuat tanah yang dimaksudkan merupakan kuat geser tanah (shear strength). Kuat geser (shear strength) tanah adalah gaya tahanan dari dalam yang bekerja dari satu per satu luas berat tanah untuk menopang runtuh atau ketidak bisa sepanjang papan runtuh dalam berat tanah tersebut. Cara percobaan yang bisa digunakan guna menentukan ukuran kuat geser tanah antara lain adalah Unconfined Compression Test, Direct Shear Test, dan Triaxial Test. Pada pengujian kali ini pengujian menggunakan Direct Shear Test. Direct Shear Test yaitu percobaan pengukuran kekuatan geser tanah yang paling gampang dan simpel. Dimensi benda pengujian bisa berbentuk tabung solid (ring) maupun kubus (square). Pada pengujian kuat geser tanah disapatkan dari prosedur menggeser sampel tanah yang mana diberi beban normal (N). Kuat tanah yang didapatkan melalui pengujian itu merupakan tanah pada kondisi terkuras, dikarenakan air yang ada pada sekat tanah dapat keluar pada saat pembebanan. Ikatan dari gaya geser (T) dan beban normal (N) disajikan kedalam bentuk grafik guna menentukan ukuran nilai kohesi

(c) dan juga sudut geser - dalam tanah ( $\phi$ ). Diharapkan nantinya didapatkan hasil yang sesuai, maka percobaan dilaksanakan minimal 3x dari beban normal yang berbeda.

#### E. CBR (*California Bearing Ratio*)

Tanah yang akan digunakan sebagai lapisan dasar atau permukaan suatu konstruksi jalan pada biasanya membutuhkan proses pemadatan guna dapat menyangga beban sesuai dengan yang sudah direncanakan. Caranya mengukur kekuatan kokoh (bearing) pada suatu lapisan tanah uji yaitu dengan dilakukan pengujian California Bearing Ratio (CBR). California Bearing Ratio (CBR) adalah rasio dari gaya perlawanan masuk (penetration resistance) dari tanah ke tekanan sebuah benda yang ditekan dengan cara menerus dengan gaya yang berlawanan dengan tekanan yang sama. Gaya perlawanan tekanan merupakan gaya yang dibutuhkan untuk menahan tekanan yang menerus dari suatu benda ke dalam tanah. Tujuan dari pengujian CBR adalah untuk membantu menilai kekuatan tanah dasar yang dikompaksi di laboratorium yang akan digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan. Hasil pengujian dikatakan nilai akhir CBR (dalam %) yang pada akhirnya digunakan guna menentukan tebal perkerasan. Tebal perkerasan jalan tergantung dari kekuatan tanah dasar, kekuatan perkerasan, beban roda, dan banyaknya lalu lintas. Untuk menentukan tebal perkerasan secara umum, biasanya tahanan pondasi dari tanah biasanya dinyatakan dalam nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dimana nilai CBR merupakan perbandingan kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang dipakai guna membuat perkerasan terhadap nilai CBR didapatkan melalui uji baik, untuk sampel tanah asli (*undisturbed sample*) maupun sampel tanah yang dipadatkan (*compacted sample*). Tes CBR-pun dapat dilaksanakan secara langsung di lapangan. Dalam perencanaan jalan yang baru, tebal perkerasan biasanya dipastikan melalui nilai CBR subgrade yang dikompaksi. Nilai CBR yang dipakai dalam perencanaan dinamai CBR design. Design CBR diperoleh melalui pengujian dalam laboratorium dengan memperhitungkan dua faktor kadar air tanah dan berat isi kering saat dikompaksi, pengujian pada kadar air yang dapat terjadi seusa perkerasan selesai dilakukan. Percobaan CBR sekarang hanya disambungkan dengan kebutuhan perancangan tebal perkerasan. Agar hasil yang didapatkan sesuai, protokol yang biasanya dipakai harus tetap digunakan. CBR adalah ukuran tidak berdimensi dan tak bersambungan langsung dengan sifat tanah yang lain. Beban standar merupakan berat yang digunakan dalam mendapatkan suatu angka tekanan.

### III. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Metode penelitian tugas akhir digunakan pada penelitian ini digunakan dengan cara percobaan (*research*) dalam Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Islamic University of Sultan Agung dengan memperbaiki sampel tanah yang dikumpulkan dari lapangan (Tanah asli) menggunakan material yang stabil secara kimiawi dengan menggunakan silica fume dan limbah gypsum. Penelitian dimulai dengan pengambilan sampel tanah di lapangan dikirim ke laboratorium untuk dilakukan pengujian CBR dan kuat geser. Pertama-tama yaitu tanah asli ditambah campuran silica fume dengan berbagai presentase, dan sebagai pembandingnya tanah asli ditambahkan limbah gypsum dengan berbagai presentase agar menemukan presentase perbaikan yang memiliki peningkatan kualitas yang terbaik. Pengujian Tanah Asli proyek perbaikan dan peningkatan jalan Daplang-Sugihmanik, Tanggunharjo, Grobogan, Jawa Tengah untuk mengetahui bahwa tanah tersebut merupakan tanah lempung ekspansif dengan Uji Kadar Air, Uji Berat Jenis Tanah, Uji Berat Isi Tanah, Uji Atterberg Limit, Uji Analisa Hidrometer, Analisa Saringan. Campuran Tanah Asli + silica fume dengan kadar 4%, 8%, 12%, 15%, dan Tanah Asli + limbah gypsum dengan prosentase 4%, 8%, 12%, 15%.



Gambar 3.1. Bagan Alur Penelitian

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

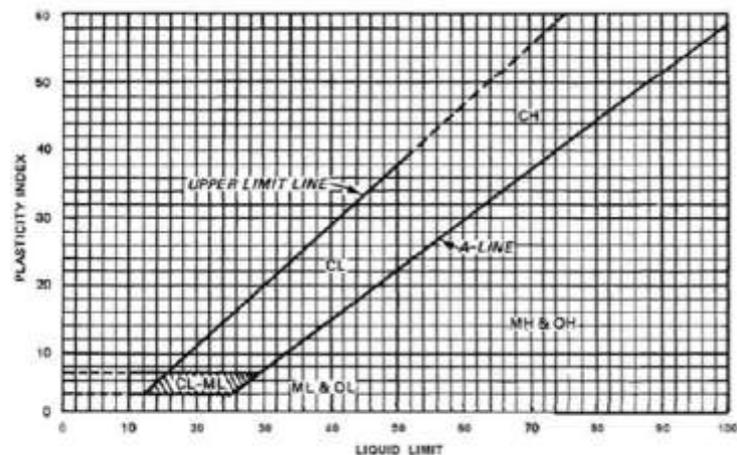
Hasil penelitian stabilisasi tanah pada jalan Sugihmanik, Grobogan, Jawa Tengah dengan pencampuran silica fume dan limbah gypsum. Pada bab ini dijelaskan nilai index properties tanah asli terdiri dari kadar air (w), berat jenis tanah (Gs), analisa ayakan dan *Atterberg Limit* dan selanjutnya dijelaskan perbandingan nilai direct shear, perbandingan nilai CBR Unsoaked, dan perbandingan nilai CBR Soaked.

##### 1) *Index Properties*

Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil nilai index properties tanah asli yaitu terdiri dari kadar air sebesar 27,73%, berat jenis tanah sebesar 2,383, pada uji analisa ayakan didapat nilai gravel sebesar 1,95%, Sand sebesar 10,80%, Silt & Clay sebesar 87,25%, dan pada uji atterberg limit sebesar batas cair 71,337%, batas plastis sebesar 32,25%, indeks plastisitas 39,087%.

**Tabel 1.** Data Index Properties

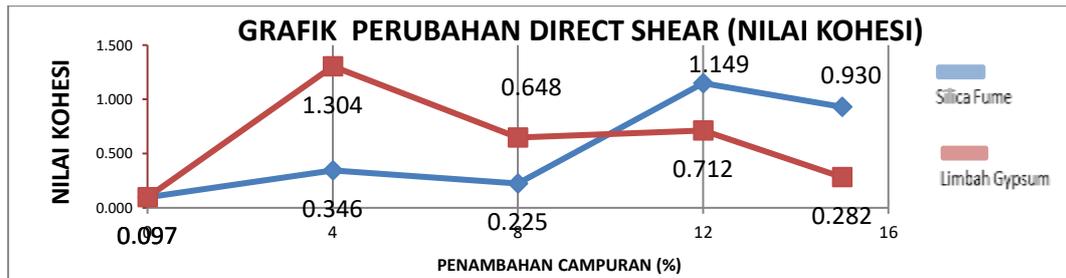
<i>Index Properties</i>	
<b>Kadar Air</b>	27,73%
<b>Berat Jenis Tanah (Gs)</b>	2,383
	<i>Gravel</i>
	1,95%
<b>Analisa Ayakan</b>	<i>Sand</i>
	10,80%
	<i>Silt &amp; Clay</i>
	87,25%
	Batas Cair (LL)
	71,337%
<b>Atterberg Limit</b>	Batas Plastis (PL)
	32,25%
	Indeks Plastisitas (PI)
	39,087%



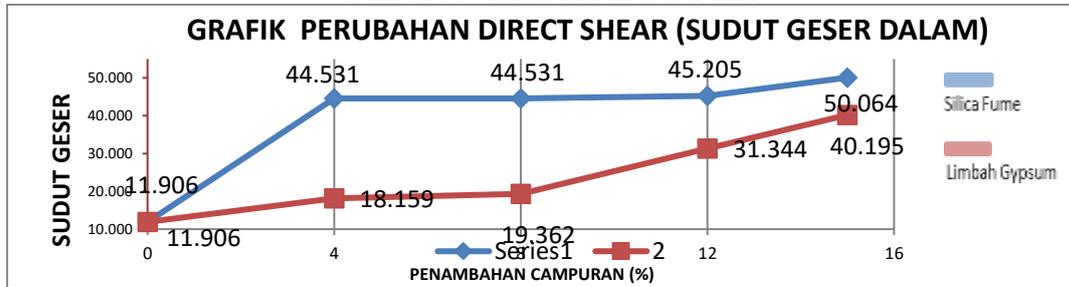
**Gambar 2.** Grafik Plastisitas

##### 2) Direct Shear

Grafik 4.2 menunjukkan nilai kohesi dan sudut geser dalam sampel tanah campuran silica fume dan tanah campuran limbah gypsum, prosentase kohesi paling optimum pada tanah campuran limbah gypsum 12% yaitu 1,304 kg/cm<sup>2</sup> dan kohesi terendah pada tanah asli yaitu 0,097 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada nilai sudut geser dalam mengalami kenaikan dari prosentase 4%, 8%, 12%, 15%, sudut geser paling optimum terjadi pada silica fume prosentase 15% yaitu 50,064°. Jadi semakin banyak campuran yang ditambah maka nilai sudut geser semakin besar sehingga tanah lebih tahan akan tegangan luar yang dikenakan padanya



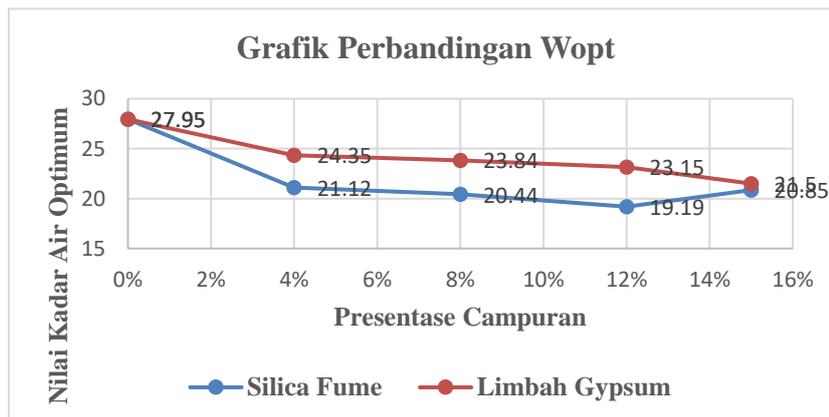
Gambar 3. Grafik Nilai Kohesi Tanah



Gambar 4. Grafik Nilai Sudut Geser Dalam

3) Proctor Modified

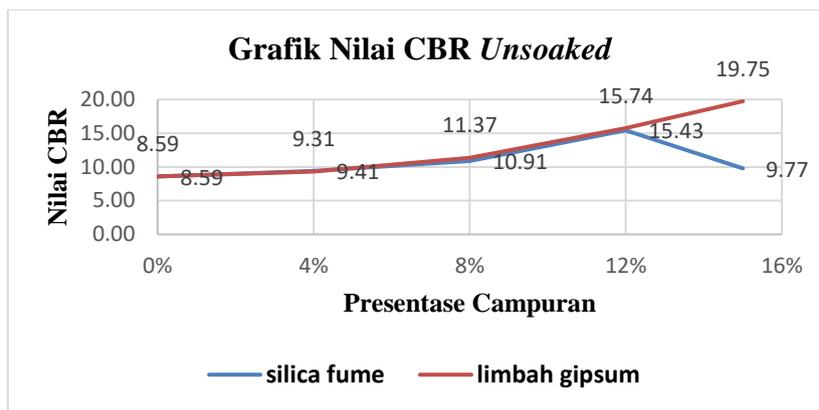
Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa kadar air optimum paling optimum pada tanah asli yaitu 27,95%. Dikarenakan material campuran silica fume maupun campuran limbah gypsum menggantikan air untuk mengisi pori-pori dalam tanah.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Wopt Tanah Campuran *Silica Fume* dan Tanah Campuran *Limbah Gypsum*

4) CBR Unsoaked

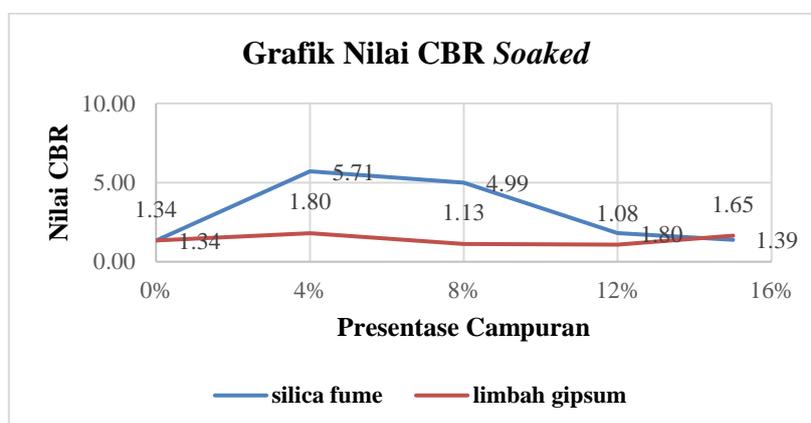
Gambar 4.5. menunjukkan nilai CBR unsoaked mengalami kenaikan, jadi semakin banyak campuran limbah gypsum semakin baik dikarenakan bahan gypsum dapat menimbulkan daya ikat antar butiran, sehingga butiran satu dengan yang lain tidak mudah hancur atau berubah bentuk. Sedangkan pada tanah campuran silica fume 15% mengalami penurunan, hal ini dikarenakan pada kondisi basah atupun kering, tanah tidak dapat bereaksi secara optimal dengan silica fume.



Gambar 6. Grafik harga CBR Unsoaked

## 5) CBR Soaked

Gambar 4.6. menunjukkan nilai CBR Soaked mengalami kenaikan dan penurunan yang disebabkan tanah yang cenderung lebih basah tidak dapat bereaksi secara optimal dengan silica fume maupun limbah gypsum. Nilai optimal CBR Soaked yaitu pada tanah campuran silica fume 4% dengan nilai 5,71%.



Gambar 7. Grafik harga CBR Soaked

## V. SIMPULAN

Setelah semua pengujian selesai dilaksanakan, jadi bisa diambil kesimpulan seperti dibawah ini :

1. Pengujian sifat fisis (*index properties*) pada sampel tanah yang diambil dari daerah Sugihmanik, Tanggunharjo, Grobogan, Jawa Tengah ini mengandung kadar air sebanyak 27,73%, berat jenis tanah (Gs) sebanyak 2,383, jumlah *silt* dan *clay* sebesar 87,25%, *liquid limit* (LL) sebanyak 71,337%, *plastic limit* (PL) sebanyak 32,25%, dan *plasticity index* (PI) sebesar 39,087%. Dari pengujian *index properties*, tanah yang diuji termasuk dalam ciri-ciri tanah lempung ekspansif dan memiliki tingkat pengembangan lumayan tinggi. Itu terjadi dari besaran *liquid limit* (LL) dengan presentase 71,337% dan dalam *plasticity index* (PI) sebesar 39,087% , sehingga dapat diklasifikasi menurut USCS (*Unified Soil Classification System*) merupakan jenis tanah masuk ke dalam golongan OH adalah tanah berlempung yang organik yang mempunyai tingkat plastis sedang sampai dengan tinggi (*High-plasticity*) dan klasifikasi menurut AASHTO (*American Association Of State Highway and Transport Officials*) termasuk tanah A-7-5 merupakan tanah berlempung sedang sampaidengan buruk.
2. Hasil pengujian *direct shear* dan CBR pada tanah di daerah Sugihmanik, Tanggunharjo, Grobogan, Jawa Tengah diketahui bahwa penambahan bahan campuran *silica fume* dan limbah *gypsum* memiliki pengaruh pada nilai kuat geser dan nilai CBR pada tanah di daerah Sugihmanik, Tanggunharjo, Grobogan, Jawa Tengah. Nilai CBR *Unsoaked* dari tanah asli sebesar 8,59% dengan besarnya kohesi senilai 0,097 kg/cm<sup>2</sup> dan besarnya sudut geser dalam senilai 11,906°, mengalami peningkatan terbesar pada pencampuran *silica fume* pada prosentase 12% sebesar 15,43% dengan nilai kohesi senilai 1,149 kg/cm<sup>2</sup> juga nilai sudut geser dalam senilai 45,205°. Selain itu peningkatan paling tinggi didapat dari pencampuran limbah *gypsum* pada prosentase 15% mengalami peningkatan dengan nilai CBR *unsoaked* sebesar 19,75% dengan besaran kohesi sebanyak 0,282 kg/cm<sup>2</sup> dan besaran sudut geser dalam sebanyak 40,195°.

3. Dari keseluruhan pengujian contoh tanah yang didapatkan melalui daerah Sugihmanik, Tanggunharjo, Grobogan, Jawa Tengah pada pengujian sifat teknik (*engineering properties*) hasilnya adalah tanah yang paling berpengaruh besar adalah tanah lempung ekspansif dengan penambahan campuran limbah *gypsum* sebesar 15% dengan besaran kohesi sebanyak 0,282 kg/cm<sup>2</sup>, besaran sudut geser dalam sebanyak 40,195°, dan besaran CBR *unsoaked* sebesar 19,75%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Terimakasih kepada Kedua orang tua kami dan keluarga kami tercinta yang senantiasa memberikan doa, semangat dan dukungan moral, material maupun spiritual dengan penuh kasih sayang dan pengorbanan Terimakasih kepada Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir. dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir serta Ibu Selvia Agustina, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing Seminar Tugas Akhir.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Darwis. 2017. *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Yogyakarta : Pustaka AQ Nyutran MG II
- [2] Muntohar, Agus Setyo. 2010. *Kuat Geser Tanah (Shear Strength Of Soils)*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- [3] Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- [4] Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- [5] Santosa, Budi; Suprpto, Heri; HS Suryadi. 2009. *Mekanika Tanah Dasar*. Depok : Penerbit Gunadarma
- [6] Das, Braja M; Endah, Noor; Mochtar, Indrasurya B. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Surabaya : Penerbit Erlangga
- [7] Pusat Litbang Sarana Transportasi. 2001. *Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan Dam Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak*. WSP International, PT Virama Karya, PT Trikarla Cipta
- [8] Budi, Gogot Setyo. 2011. *Pengujian Tanah Di Laboratorium; Penjelasan Dan Panduan*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- [9] Panguriseng, Darwis. 2001. *Stabilisasi Tanah*. Makassar : Fakultas Teknik Universitas "45" Makassar
- [10] Departemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah. 2002. *Panduan Geoteknik 3 Penyelidikan Tanah Lunak Pengujian Laboratorium*. WSP International, PT Virama Karya, PT Trikarla Cipta
- [11] Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Penanganan Tanah Ekspansif Untuk Konstruksi Jalan*. Pedoman Konstruksi Dan Bangunan
- [12] Putra, Apriliyan Cahyono; Mukhtar, Bagus Khafid. 2020. *Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Abu Sekam Padi Dan Arang Tempurung Kelapa (Studi Kasus: Desa Karangwader, Kecamatan Penawangan, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah)*. Semarang : Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung
- [13] Al-Azzawi, Adel A; Daud, Khalida A. 2012. *Effect Of Silica Fume Addition On The Behavior Of Silty-Clayey Soils*. <https://www.researchgate.net/publication/306324003>. 8 April 2021. 12:00
- [14] Silica Fume Association. 2005. *Silica Fume User's Manual*. Sierra Lane : US. Department of Transportation Federal Highway Administration
- [15] Pratama, Gissa Ari. 2015. *Pengaruh Penambahan Silica Fume Pada Nilai Kuat Geser Dan Swelling Tanah Lempung Ekspansif "Di Lokasi Proyek Jababeka Cikarang"*. Bandung : repository.upi.edu
- [16] Dianty, Windy Oky. 2017. *Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Menggunakan Gypsum Dan Abu Sekam Padi Dengan Pengujian CBR Dan Kuat Tekan Bebas*. Medan : Bidang Studi Geoteknik Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
- [17] Nepa, Andreas A.S. 2020. *Stabilitas Tanah Lempung Dengan Menggunakan Bahan Tambah Gypsum Dan Pasir*. Sorong : Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sorong
- [18] W, Febra Ndaru; S, Eko Andi; Zaika, Yulvi; Munawir, As'ad; Rachmansyah, Arief. 2015. *Perbaikan Tanah Ekspansif Dengan Penambahan Serbuk Gypsum Dan Abu Sekam Padi Untuk Mengurangi Kerusakan Struktur Perkerasan*. Malang : Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- [19] Widiantoro, Ibnu; Ahmad, Fauzi. 2016. *Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Bahan Tambah Gypsum (Studi Kasus Di Kawasan Industri Candi Blok K-18)*. Semarang : Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata
- [20] Syarifuddin. 2007. *Hubungan Teoritis Antara Berat Isi Kering Dan Kadar Air Untuk Menentukan Kepadatan Relatif*. Info Teknik Volume 8
- [21] Bowles, Joseph E. Johan K. Helnim. 1991. *Sifat-sifat fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika tanah)*. Jakarta : PT. Erlangga
- [22] Pah, Munir. 2010. *Identifikasi Tingkat pengembangan, Potensi Pengembangan dan Tekanan Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif (Studi Kasus. Jln. Timor Raya-2 Desa Oebelo Kabupaten Kupang)*. Kupang : Prodi Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana
- [23] SNI 6424-2008. Cara Uji Potensi Pengembangan atau Penurunan Satu Dimensi Tanah Kohesif
- [24] RA Bella. 2015. *Identifikasi Kerusakan Konstruksi Akibat Potensi Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif Di Desa Oebelo*. Jurnal Teknik Sipil Vol. IV, No.2