

PENGARUH PENCAMPURAN BELERANG TERHADAP KUAT GESER TANAH

Christian Th. Rompas

Turangan A. E., Hendra Riogilang

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: christian.cthr31@gmail.com

ABSTRAK

Seiring meningkatnya pembangunan di berbagai daerah, muncul permasalahan baru dengan semakin sempitnya lahan untuk membangun. Lahan yang dianggap buruk untuk dijadikan lahan konstruksi menjadi alternatif untuk mendirikan bangunan. Untuk tanah yang buruk perlu di tingkatkan daya dukung tanahnya dengan cara stabilisasi. Metode stabilisasi tanah yang digunakan disini adalah stabilisasi tanah menggunakan bahan kimia, yaitu belerang (sulfur) sebagai bahan aditif. Pengujian dilakukan dengan alat geser langsung (Direct Shear) untuk mendapatkan nilai parameter tanah yaitu, kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Hasil penelitian menunjukkan nilai sudut geser dalam optimum terdapat pada persentase variasi belerang 10% dengan nilai sebesar $\phi = 28,24^\circ$. Nilai kohesi tanah optimum terdapat pada persentase variasi belerang 6% dengan nilai sebesar $c = 1,43$ (t/m^2) dengan nilai berat isi (γ) = $1,414$ t/m^3 . Kemudian pada variasi belerang 8% sampai 10% nilai kohesi menurun. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan bahan belerang yang berlebihan terhadap tanah lempung tidak begitu baik karena kadar belerang optimum terhadap nilai kuat geser tanah lempung adalah pada variasi campuran 6%.

Kata kunci: Direct Shear, Belerang, Stabilisasi Tanah, Kuat Geser Tanah.

PENDAHULUAN

Latar belakang

Seiring meningkatnya kemajuan teknologi di segala bidang, terutama yang berkaitan dengan teknik sipil, seperti pembangunan gedung, jalan, jembatan, fasilitas umum dan pemukiman penduduk memacu pembangunan di segala daerah termasuk provinsi Sulawesi Utara. Keadaan ini menimbulkan permasalahan dengan semakin sempitnya lahan untuk membangun, lahan yang sebelumnya dianggap kurang baik untuk dijadikan lahan konstruksi, seperti rawa, bekas timbunan, gunung, tepi bukit dan lahan yang kurang baik lainnya menjadi alternatif untuk mendirikan bangunan, maka sebelum lokasi ini digunakan kita harus melakukan Stabilisasi.

Stabilisasi ialah suatu tindakan yang dilakukan guna memperbaiki beberapa sifat-sifat teknis tanah. Tujuan dari stabilisasi tanah yaitu untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan cara meningkatkan parameter tanah, seperti kohesi, sudut geser dan kepadatan tanah. Salah satu cara stabilisasi yang dapat digunakan adalah dengan menambahkan bahan kimia pada tanah.

Permasalahan diatas, memotivasi peneliti untuk melakukan penelitian stabilisasi tanah dengan pencampuran belerang murni. Untuk mengetahui pengaruh pencampuran belerang

dengan tanah, maka cara yang harus dilakukan adalah membuat variasi pencampuran belerang sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%, sehingga mendapatkan nilai yang maksimal terhadap peningkatan kuat geser tanah dengan melakukan uji sifat fisik dan sifat mekanis tanah. Sifat fisik itu sendiri, yaitu uji kadar air, berat jenis, analisa ukuran butiran dan uji konsistensi tanah, sedangkan sifat mekanis yaitu uji kuat geser langsung (Direct Shear).

Rumusan Masalah

Semakin sempitnya lahan untuk mendirikan bangunan menyebabkan lahan yang di anggap kurang baik menjadi alternatif untuk mendirikan bangunan sehingga di butuhkan metode perbaikan tanah untuk mengatasi masalah tersebut, salah satunya yaitu dengan stabilisasi secara kimia. Penelitian ini mencoba memanfaatkan Belerang sebagai bahan stabilisasi secara kimia untuk meningkatkan kuat geser tanah.

Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Komposisi material tanah tidak diperiksa.
2. Pengaruh temperatur ruang terhadap contoh uji tidak diperhitungkan.
3. Dampak lingkungan tidak dibahas.

4. Variasi kadar belerang yang akan di campurkan dengan Lempung, dibatasi dengan variasi: 0%, 2%, 4 %, 6%, 8% dan 10%.
5. Ikatan dan reaksi kimia pada belerang dengan tanah tidak di teliti.
6. Klasifikasi tanah menggunakan *Unified Soil Clasification System*.

Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui pengaruh penambahan belerang terhadap nilai berat isi kering (γ_d) dan kadar air (W) pada pengujian pemadatan.
2. Mengetahui pengaruh penambahan belerang terhadap nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ) dan kekuatan geser (S) pada pengujian geser langsung (*Direct Shear Test*).

Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk:

1. Memberikan pemahaman tentang karakteristik tanah di Suluan – Rumengkor.
2. Mengetahui seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan oleh penambahan belerang terhadap tanah lempung.
3. Diharapkan dapat dijadikan sebagai informasi dalam mengembangkan suatu model stabilisasi tanah lempung.

Metode Penelitian

Penelitian ini berupa uji eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.

Adapun alur penelitiannya adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel / bahan uji.
2. Persiapan alat dan bahan.
3. Pemeriksaan karakteristik tanah.
4. Percobaan pemadatan.
5. Percobaan *direct shear test*.
6. Hasil penelitian.
7. Kesimpulan dan saran.

LANDASAN TEORI

Tanah dan Sifat-sifatnya

Tanah dapat dibagi atas beberapa jenis pengelompokan tanah yaitu berdasarkan ukuran partikel tanah, campuran butiran dan sifat lekatannya.

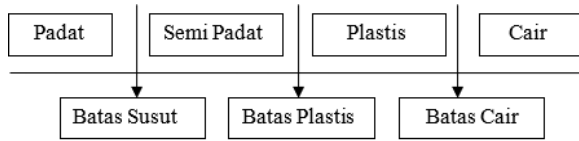
Berdasarkan ukuran partikelnya, tanah dapat terdiri dari salah satu atau seluruh jenis partikel berikut ini:

1. Kerikil (*grafel*) yaitu kepingan-kepingan batuan yang kadang juga partikel mineral quartz dan feldspar yang berukuran lebih besar 2 mm.
2. Pasir (*sand*) yaitu sebagian besar mineral quartz dan feldspar yang berukuran antara 0,06 mm – 2 mm.
3. Lanau (*silt*) yaitu sebagian besar fraksi mikroskopis (yang berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran quartz yang sangat halus dan dari pecahan-pecahan mika yang berukuran dari 0,002 sampai 0,06 mm.
4. Lempung (*clay*) yaitu sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis (berukuran sangat kecil) dan sub-mikroskopis (tak dapat dilihat, hanya dengan mikroskop) yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm (2 mikron). Berdasarkan campuran butiran, tanah dapat dikelompokkan atas tiga jenis tanah yaitu berbutir kasar, tanah berbutir halus dan tanah organik yang diterangkan sebagai berikut.
 - a. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa pasir dan kerikil.
 - b. Tanah berbutir halus adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa lempung dan lanau.
 - c. Tanah organik adalah tanah yang cukup banyak mengandung bahan-bahan organik.Selain pengelompokan tanah berdasarkan ukuran partikel dan campuran butiran, tanah juga dapat dikelompokkan berdasarkan sifat lekatannya. Pada jenis pengelompokan ini, tanah dapat dibagi atas tiga jenis sifat lekatan yaitu tanah kohesif, tanah non kohesif dan tanah organik yang didefinisikan sebagai berikut:
 1. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya atau mengandung lempung cukup banyak.
 2. Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya atau hampir tidak mengandung lempung.
 3. Tanah organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan organik.

Batas Konsistensi Tanah

Atterberg pada tahun 1911, adalah seorang ilmuwan dari Swedia yang memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. (Das, 1993)

Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*) dan batas susut (*shrinkage limit*). Kedudukan batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Sketsa Konsistensi Tanah
(Sumber: Braja M. Das, 1991)

Batas antara fase-fase tanah seperti diatas disebut batas-batas konsistensi / batas-batas *Atterberg*. Batas-batas *Atterberg* tersebut adalah:

- Batas Susut (*shrinkage limit*) = SL adalah keadaan dimana kadar air tanah berada pada batas antara keadaan padat ke semi padat.
- Batas Plastis (*plastic limit*) = PL adalah batas keadaan semi padat ke plastis.
- Batas Cair (*liquid limit*) = LL adalah batas antara keadaan plastis ke cair.
- Indeks Plastisitas = IP adalah rentang antara batas plastis dan batas cair.

Berdasarkan penjelasan diatas maka besarnya indeks plastisitas dirumuskan sebagai berikut:

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(1)$$

Klasifikasi Tanah USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem klasifikasi tanah ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing Materials* (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik.

- Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No.200 ($F_{200} < 5$).
- Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No.200 ($F_{200} \geq 5$).

Stabilisasi Tanah dengan Belerang

Belerang atau sulfur adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang S dan nomor atom 16. Bentuknya adalah non-metal

yang tak berasa, tak berbau dan multivalent. Belerang dalam bentuk aslinya, adalah sebuah zat padat kristalin kuning. Di alam, belerang dapat ditemukan sebagai unsur murni atau sebagai mineral- mineral sulfida dan sulfat. Banyaknya belerang yang berada dalam kerak bumi kira - kira 0,1 persen bobot, termasuk didalamnya *selenium* dan *tellurium* yang merupakan keluarga belerang. *Selenium* unsur yang sering ditemukan dengan belerang. Bila belerang terdapat sebagai unsur, biasanya tercampur pada batu atau tanah, lalu dipisahkan dengan pemanasan sampai belerang meleleh dan mengalir keluar. Secara kimia, belerang dapat bereaksi baik dengan oksidator maupun reduktor. Ia mengoksidasi hampir sebagian besar logam dan beberapa non logam. Stabilisasi tanah dengan belerang belum banyak bahkan hampir belum pernah digunakan dalam proyek-proyek.

Stabilisasi tanah dengan Belerang yaitu mencampur tanah dengan Belerang yang sudah di hancurkan menjadi bubuk atau yang telah dilelehkan pada lokasi pekerjaan di lapangan untuk merubah sifat-sifat tanah tersebut menjadi material yang lebih baik yang memenuhi ketentuan sebagai bahan konstruksi yang diijinkan dalam perencanaan.

Sifat-sifat dari Belerang:

- Belerang berwarna kuning pucat yang solid.
- Lembut dan tidak berbau.
- Tidak larut dalam air
- Ketika dibakar dan mencapai suhu 119° belerang akan melebur memancarkan api berwarna biru dan meleleh ke dalam cairan berwarna merah cair, pada saat itu partikelnya terpisah dan berubah wujud menjadi gas yang bergabung dengan oksigen untuk membentuk gas beracun yang disebut sulfur dioksida (SO₂).
- Dapat mengeras dengan cepat dan mudah.
- Mudah dikerjakan.
- Mempunyai ikatan yang bagus dengan batu atau bata.
- Mengurangi sifat mengembang dari tanah.

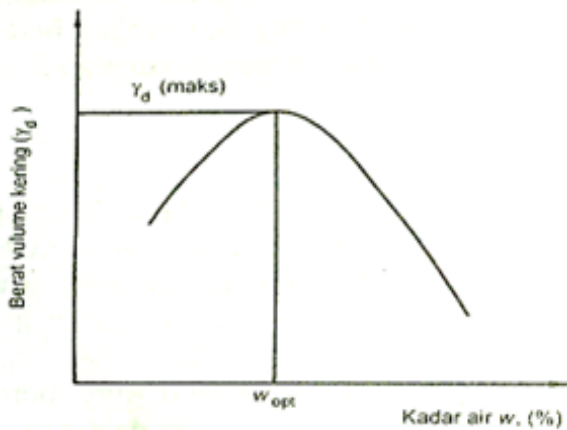
Pemadatan Tanah

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Energi pemadatan di lapangan dapat diperoleh dari mesin gilas, alat-alat pemadat getaran, dan dari benda-benda berat yang dijatuhkan. Di laboratorium, contoh uji untuk

mendapatkan pengendalian mutu dipadatkan dengan menggunakan daya tumbukan (dinamik), alat penekan atau tekanan statik yang menggunakan piston dan mesin tekanan (*Bowles*, 1991:204).

Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 2. Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (w_{opt}) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Pada nilai kadar air rendah, untuk kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering menurun. Kemungkinan berat volume kering maksimum dinyatakan sebagai berat volume kering dengan tanpa rongga udara atau berat volume kering saat tanah menjadi jenuh (γ_{zav}), dapat dihitung dari persamaan:

$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \gamma_w}{1+w G_s} \dots\dots\dots(3a)$$

Karena saat tanah jenuh ($S = 1$) dan $e = wG_s$ maka:

$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \gamma_w}{1+w G_s} \dots\dots\dots(3b)$$

Untuk menentukan variasi kadar air w dengan γ_{zav} , maka dilakukan cara sebagai berikut:

1. Tentukan berat jenis (G_s) dari uji laboratorium.
2. Pilihlah beberapa kadar air (w) tertentu, misalnya 5%, 10%, 15% dan seterusnya.
3. Hitung γ_{zav} untuk beberapa nilai kadar air (w) dengan menggunakan Persamaan (3a) atau (3b).

Pengertian Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah ialah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relative antara butir-butir tanah tersebut. Pada peristiwa kelongsoran suatu lereng berarti telah terjadi pergeseran dalam butir-butir tanah tersebut.

1. Pada tanah berbutir halus (*kohesif*) misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antara butir-butir tanah (*c soil*).
2. Pada tanah berbutir kasar (*non kohesif*), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut geser dalam (ϕ).
3. Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar (*c dan ϕ soil*). Kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah (karena ϕ).

Geser Langsung

Percobaan geser langsung merupakan salah satu pengujian tertua dan sangat sederhana untuk menentukan parameter kuat geser tanah (*shear strength parameter*), yaitu kohesi (*c*) dan sudut geser dalam (ϕ). Dalam percobaan ini dapat dilakukan pengukuran secara langsung dan cepat, untuk menentukan nilai kekuatan geser tanah dengan kondisi tanpa pengaliran (*undrained*) atau dalam konsep tegangan total (*total stress*).

Pengujian ini pertama-pertama diperuntukan bagi jenis tanah non-kohesif, namun dalam perkembangannya dapat pula diterapkan pada jenis tanah kohesif. Pengujian yang lain dengan tujuan yang sama, adalah: Kuat Tekan Bebas, Triaxial Dan percobaan Geser Baling (*Vane Shear Test*) yang dapat dilakukan di laboratorium maupun di lapangan. Bidang keruntuhan geser yang terjadi dalam pengujian geser langsung adalah bidang yang dipaksakan, bukan merupakan bidang terlemah seperti yang terjadi pada pengujian kuat tekan bebas ataupun Triaxial. Nilai

kekuatan geser ini dirumuskan oleh Coulomb dan Morh dengan persamaan sebagai berikut:

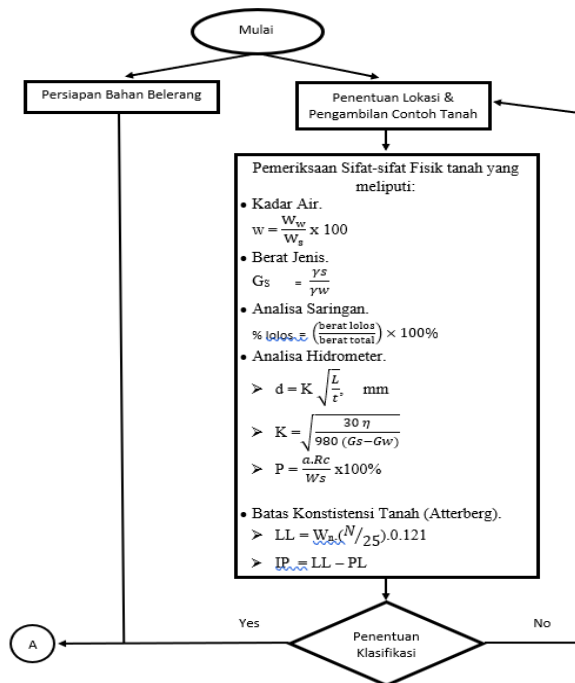
$$S = c + \sigma_n \cdot \tan \phi \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

- S = kekuatan geser maximum (kg/cm²)
- C = kohesi (kg/cm²)
- σ_n = tegangan normal (kg/cm²)
- ϕ = sudut geser dalam (...^o)

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk dapat memeriksa pengaruh pencampuran belerang terhadap tanah dapat dilakukan langkah-langkah seperti pada bagan alir berikut ini (Gambar 3a dan 3b):



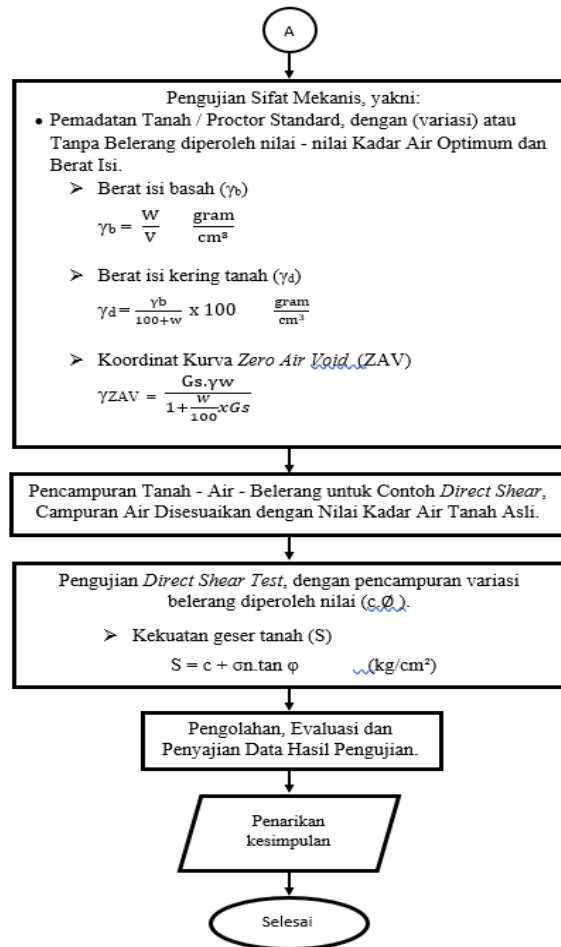
Gambar 3a. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Karakteristik Tanah

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik Tanah

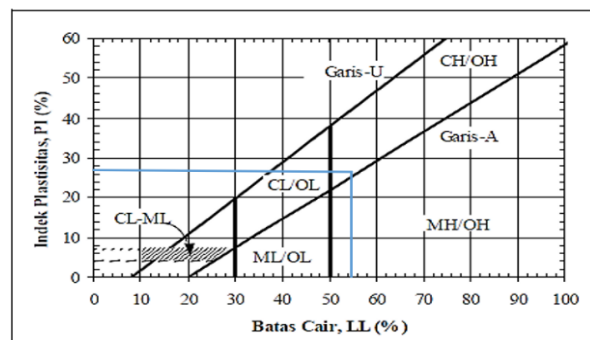
No	Karakteristik	Nilai
1	Kadar air tanah kering udara	10.62 %
2	Kadar air tanah asli	49.597 %
3	Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i> , G _s)	2.72
4	Batas Cair (<i>Liquid Limit</i> , LL)	54.59%
5	Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i> , PL)	26.92 %
6	Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index</i> , PI)	27.67%
7	Material lolos saringan no.200	50,6 %



Gambar 3b. Bagan Alir Penelitian

Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah menggunakan sistem USCS (*Unified Soil Classification System*). Dari hasil analisa saringan diketahui bahwa tanah lolos saringan no.200 = 50,6% jadi tanah dikelompokkan sebagai tanah berbutir halus.



Gambar 4. Grafik Diagram Plastisitas, Cassagrande

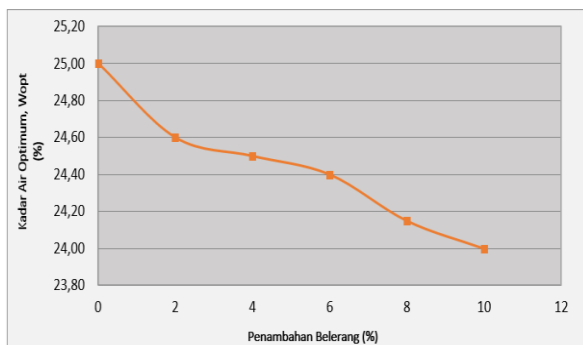
Dapat dilihat dari Grafik pada Gambar 4. bahwa hasil plot menunjukkan suatu titik pertemuan di atas garis A, yang mana titik temu

itu menjelaskan jenis tanah yang diuji adalah tanah berbutir halus tersebut termasuk ke dalam kelompok campuran CH yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (*fat clays*).

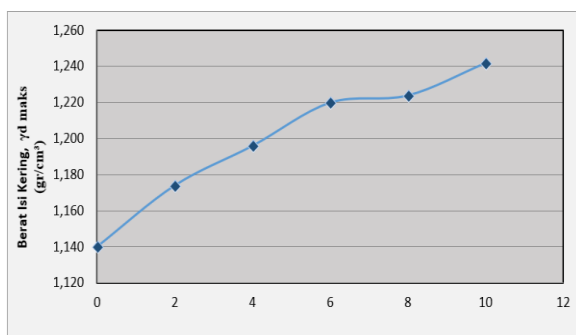
Pemadatan Tanah

Tabel 2. Hasil Pengujian Pemadatan Tanah

Sampel Variasi	Berat Isi Kering Maksimum (kg/cm ³)	Kadar Air Optimum (%)
Tanah + 0% Belerang	1,140	25.00
Tanah + 2% Belerang	1,174	24.60
Tanah + 4% Belerang	1,196	24.50
Tanah + 6% Belerang	1,220	24.40
Tanah + 8% Belerang	1,224	24.15
Tanah + 10% Belerang	1,242	24.00



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara % belerang terhadap Kadar Air Optimum



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara % Belerang terhadap Berat isi kering maksimum.

Melihat dari tabel dan grafik diatas dapat diketahui pengaruh bahan campuran Belerang pada perilaku kepadatan tanah. Semakin besar persentase Belerang, semakin menurun Kadar Air Optimum Tanah serta semakin meningkat Berat Isi Kering Tanah.

Besar penurunan kadar air optimum dan peningkatan berat isi kering maksimum terdapat pada persentasi penambahan belerang terbesar (10%), adalah:

Peningkatan berat isi kering

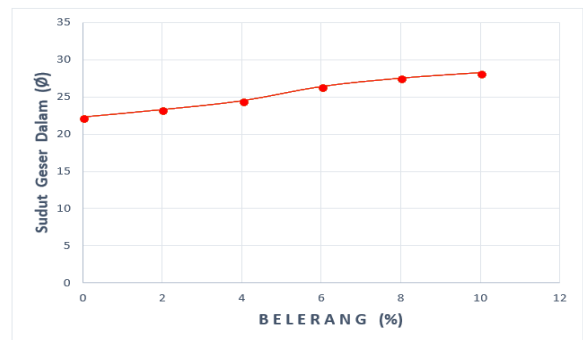
$$= (1,242 - 1,140) \times 100\% / 1.140 = 8,947 \%$$

Penurunan kadar air optimum

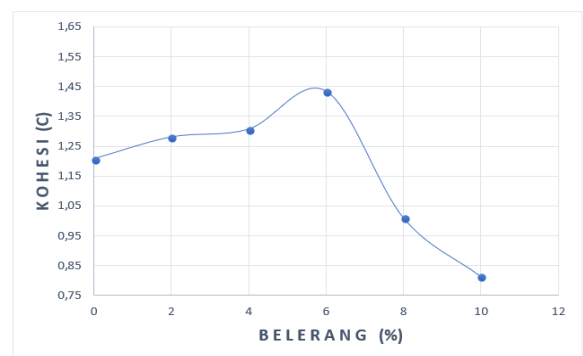
$$= (25 - 24) \times 100\% / 25 = 4 \%$$

Tabel 3. Hasil dan Evaluasi Pengujian Geser Langsung

Sampel	Sudut Geser Dalam	Kohesi	Gamma
	(θ)	C	γ
	... ^o	t/m ²	t/m ³
Tanah Asli	20.40	1.1560	1.6349
Tanah + Belerang 0%	22.25	1.2070	1.6451
Tanah + Belerang 2%	23.25	1.2800	1.4284
Tanah + Belerang 4%	24.44	1.3060	1.4145
Tanah + Belerang 6%	26.37	1.4340	1.4141
Tanah + Belerang 8%	27.50	1.0100	1.5062
Tanah + Belerang 10%	28.24	0.8130	1.4141



Gambar 7. Grafik Hubungan antara Persen Belerang dengan Sudut Geser Dalam.



Gambar 8. Grafik Hubungan antara Persen Belerang dengan Kohesi Tanah

Grafik pada Gambar 7. memperlihatkan bahwa pencampuran belerang akan menghasilkan: peningkatan nilai sudut geser dalam dari tanah. Nilai sudut geser dalam maksimum

terdapat pada campuran dengan penambahan belerang 10%.

Grafik pada Gambar 8. menunjukkan bahwa terjadi peningkatan dari nilai kohesi tanah. Peningkatan ini terjadi sampai titik persentase penambahan 6% belerang, setelah itu nilai kohesi mulai menurun.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil Pengujian di laboratorium khususnya untuk tanah yang dicampur dengan belerang dengan persentase campuran 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai berat isi kering maksimum ($\gamma_{d \text{ maks}}$) pada tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi berada pada variasi belerang 10% yaitu: $\gamma_{d \text{ maks}} = 1,242 \text{ gr/cm}^3$, dengan kadar air optimum terbesar berada pada variasi belerang 0% yaitu: $W_{\text{opt}} = 25 \%$.
2. Pada pengujian *Direct Shear Test*, untuk campuran belerang 2% sampai 6% akan menambah nilai kohesi tanah, campuran belerang yang menghasilkan nilai kohesi terbesar adalah campuran variasi belerang 6%

dengan nilai kohesi (c) = 1.43 t/m^2 , (lihat grafik pada gambar 3).

3. Pada pengujian *Direct Shear Test*, campuran belerang menghasilkan nilai sudut geser dalam (\emptyset) terbesar adalah campuran variasi belerang 10%, yaitu (\emptyset) = 28.24° , (lihat grafik pada gambar 4.).
4. Nilai Kekuatan Geser Tanah (S) terbesar untuk tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi adalah campuran variasi belerang 6%, yaitu: $S = 1.67 \text{ kg/cm}^2$, (lihat grafik pada gambar 5.).

Saran

1. Perlu diadakan pengujian lain dengan bahan campuran kombinasi yang lain. Misalnya mengkombinasikan dengan bahan-bahan: garam (NaCl), abu sekam padi, abu rotan, semen, abu batu bara atau zat kimia penstabil lain. Juga dengan campuran Tanah yang berbeda.
2. Perlu diadakan pengujian kuat geser lainnya dengan peralatan lainnya sebagai pembanding. Misalnya: Alat Uji Triaksial dan Tekan Bebas.
3. Untuk tanah jenis lain direkomendasikan untuk dilakukan percobaan lanjutan menggunakan persentase belerang yang sama ataupun berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2009. Panduan Praktikum Mekanika Tanah, Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik UNSRAT. Manado.
- Bowles, Joseph E., 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja. M., 1993. *Mekanika Tanah*, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja. M., 1995. *Mekanika Tanah*, Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2010. *Mekanika Tanah 2*, Penerbit Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2012. *Mekanika Tanah 1*, Penerbit Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Hausmann, 1990. *Engineering Principles of Ground Modification*.
- Ingles and Metcalf, 1972. *Soil Stabilization Second-Ed*.
- Petrucci, Ralp H., 1985. *Kimia Dasar*, California State University, San Bernadino.

Santosa Budi, Heri Suprpto, Suryadi HS., 1998. *Seri Diktat Kuliah Mekanika Tanah Lanjut*, Penerbit Gunadarma, Jakarta.

Wesley, L. D., 1977. *Mekanika tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.