

Pengaruh Penambahan Abu Vulkanik pada Tanah Lunak terhadap Modulus Geser Maksimum Berdasarkan Pengujian Triaksial U-U

Hadi Wira Nasarani¹⁾, Ahmad Rifa'I²⁾, Hary Christady Hardyatmo³⁾

¹⁾²⁾³⁾Geoteknik, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika, Senolowo, Sinduadi, Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55284
Email : hadwiran@gmail.com¹⁾, ahmad.rifai@ugm.ac.id²⁾, harychristady@yahoo.com³⁾

ABSTRACT

As one country that has 83 volcanoes that are still active, Indonesia has natural resources in the form of volcanic ash which is pozzolan. In addition Indonesia is also a vast country so to support the equitable distribution of supporting facilities such as roads to support the development process. In the implementation of road construction is often found soil conditions that have low bearing capacity. Therefore, it is necessary to handle the subgrade of road that has low carrying capacity through stabilization with agent material.

One material that meets the pozzolan material is volcanic ash. Volcanic ash of Mount Merapi has pozzolanik nature that is the nature of materials that will wake solid mass that increases harder as time increases and is difficult to dissolve in water when reacted with CaO contained in clay and lime.

The study was conducted with a mixture of volcanic soil with 14 days of curing. Through triaxial testing of the effective confining pressure (σ_0) of 547 kN / m² with void ratio (e) of 1,059. The calculation of shear modulus (G_{max}) was done by empirical formula proposed by Zen et al (1978) and obtained G_{max} value of 134,044 Mpa as the biggest shear modulus with 25% volcanic ash and 5% lime.

Keywords : pozzolan, stabilization, effective confining pressure, void ratio

ABSTRAK

Sebagai salah satu negara yang memiliki banyak gunung api yang masih aktif, Indonesia memiliki sumber daya alam berupa abu vulkanik yang melimpah dan bersifat pozzolan. Selain itu Indonesia juga merupakan negara yang luas sehingga untuk menunjang pemerataan pembangunan diperlukan sarana penunjang berupa jalan untuk mendukung proses pembangunan. Dalam pelaksanaan pembangunan jalan sering dijumpai kondisi tanah yang memiliki daya dukung rendah. Oleh karena itu perlu penanganan terhadap tanah lunak yang memiliki daya dukung rendah melalui stabilisasi dengan bahan tambah.

Salah satu material yang memenuhi material pozzolan adalah abu vulkanik. Abu vulkanik Gunung Merapi mempunyai sifat pozzolanik yaitu sifat bahan yang akan membentuk massa padat yang bertambah keras seiring bertambahnya waktu dan sukar larut dalam air apabila bereaksi dengan CaO yang terdapat pada lempung dan kapur. Penelitian dilakukan dengan campuran tanah-abu vulkanik dengan pemeraman 14 hari. Variasi kadar campuran yang diberikan adalah 0%, 20%, 25%, dan 30%. Selain itu dilakukan penambahan kapur 5% yang bertujuan memberikan ikatan yang baik apabila dicampur dengan tanah lempung.

Melalui pengujian triaksial UU diperoleh tahanan keang efektif (σ_0) sebesar 360 kN/m² dengan angka pori (e) sebesar 1,059. Perhitungan modulus geser (G_{max}) dilakukan dengan rumus empiris yang diusulkan Zen dkk (1978) dan diperoleh nilai G_{max} sebesar 134,044 Mpa sebagai modulus geser terbesar dengan kadar abu vulkanik 25% dan kapur 5%.

Kata kunci : pozzolan, stabilisasi, tahanan keang efektif, angka pori

1. Pendahuluan

A. Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara di Asia Tenggara yang memiliki wilayah yang sangat luas. Untuk menunjang pemerataan pembangunan, pemerintah berupaya dengan membangun sejumlah ruas jalan untuk menjangkau dan menghubungkan setiap wilayahnya. Dalam upaya pelaksanaannya sering dijumpai kondisi tanah asli yang kurang mampu mendukung beban lalu-lintas yang bekerja. Kondisi tanah yang demikian dapat berasal dari formasi endapan lama yang memiliki kandungan mineral lempung. Tanah ini memiliki kuat geser yang rendah dan memungkinkan untuk memiliki sifat kembang susut yang tinggi.

Salah satu parameter sifat tanah pada kondisi siklik adalah modulus geser. Dengan memperhatikan modulus geser, kekakuan tanah dapat diperkirakan. Beban siklis atau beban dinamis yang bekerja dapat berasal dari gempa bumi, getaran mesin, dan beban lalu lintas. Dimana besaran dari regangan geser dipengaruhi dari besarnya beban dinamis yang bekerja. Nilai modulus geser yang besar menggambarkan semakin kaku suatu material karena dibutuhkan tegangan geser yang lebih besar untuk mendapatkan regangan geser yang sama.

Indonesia merupakan salah satu negara di Asia dengan 83 gunung berapi aktif. Salah satu material yang dihasilkan adalah abu vulkanik dimana material ini mengandung pozolan. Abu vulkanik akan ditambahkan kedalam lempung guna memperbaiki sifat fisiknya. Pada sampel tanah ditambahkan juga kapur untuk mendapatkan campuran yang optimum dimana kapur dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung.

Penelitian ini dipusatkan pada modulus geser campuran tanah pada kepadatan maksimum. Pengujian yang dilakukan diantaranya triaksial UU (ASTM D 2850-95(1999)). Dari pengujian ini diperoleh parameter untuk melakukan perhitungan modulus geser dengan rumus Hardin dan Drnevich (1972).

2. Pembahasan

A. Abu Vulkanik

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di garis khatulistiwa yang memiliki banyak gunung berapi aktif. Letusan Gunung Merapi yang telah terjadi beberapa kali dengan intensitas dan kekuatan yang tinggi pada bulan Oktober-Nopember 2010 telah memuntahkan abu atau material yang sangat besar berkisar 150 juta kubik (Broropusito, 2011, dalam Wahyuni *et al.*, 2012). Indonesia memiliki 83 gunung berapi aktif yang tersebar di sejumlah kepulauan. Beberapa gunung api merupakan bagian dalam lingkaran api pasifik dan merupakan rangkaian gunung berapi aktif dunia. Beberapa catatan letusan besar yang tercatat dalam beberapa kurun waktu belakangan adalah, Gunung Merapi yang terletak di perbatasan Kabupaten Magelang dan Kabupaten Sleman pada tahun 2010. Pada tahun 2014, Gunung Sinabung di Karo, Sumatra Utara dan Gunung Kelud di Kediri, Jawa Timur pada Tahun 2014. Pada tahun 2018 Gunung

Sinabung kembali mengalami erupsi dengan radius 7 km dari pusat letusan.



Gambar 1. Sebaran gunung api di Indonesia (USGS)

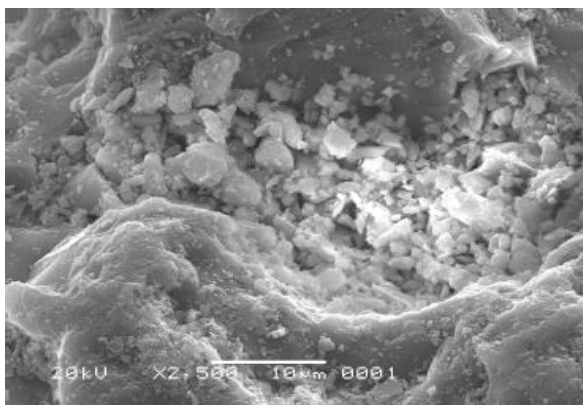
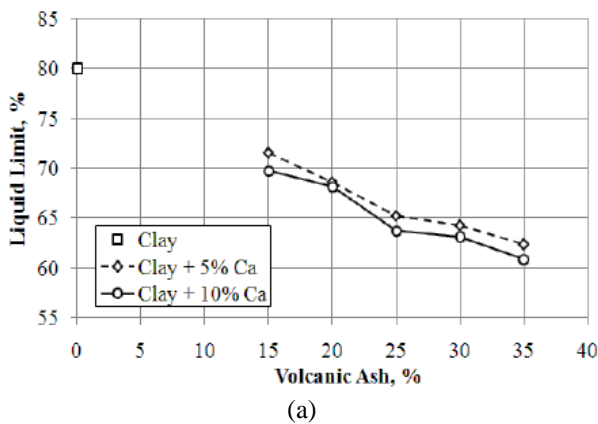
Berbagai penelitian telah dilakukan dengan beragam metode untuk mempelajari kandungan kimia dari abu vulkanik. Wahyuni (2012) menyatakan Komposisi oksida logam khususnya Si, Al, dan Ca yang terkandung dalam material memberikan potensi kepada material tersebut untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar semen, keramik, atau produk lain yang berbahan dasar semen. Abu vulkanik memiliki kandungan SiO₂, Al₂O₃, dan CaO yang merupakan bahan dasar pembuatan benda berbasis semen. Untuk mendapatkan perlekatan yang lebih baik perlu penambahan batu kapur agar mendapatkan komposisi yang sesuai.

Batuan yang terdapat pada gunung berapi merupakan batuan andesit. Dari hasil membandingkan komposisi kimia yang terdapat pada abu Gunung Merapi dengan komposisi kimia batuan standar, diperoleh bahwa abu Gunung Merapi berasal dari batuan andesit. Melalui alat difraksi sinar-X diketahui abu vulkanik mengandung feldspar dengan rumus molekul K₂O.Al₂O₃.6SiO₂. Feldspar yang dimaksud merupakan bahan dasar pembuatan keramik selain pasir dan kaolin. Dengan melihat rumus molekul dari feldspar dimana feldspar merupakan mineral yang banyak terdapat pada batuan andesit.

Tabel 1. Kandungan unsur mayor abu Gunung Merapi (Wahyuni, 2012)

| Oksida logam | Sample Merapi | Nilai rata-rata (%) | | | |
|--------------------------------|---------------|---------------------|----------|--------|----------|
| | | References | | | |
| | | Basalt | Andesite | Dacite | Rhyolith |
| SiO ₂ | 52,52 | 50,83 | 54,2 | 63,58 | 73,66 |
| Al ₂ O ₃ | 18,69 | 14,07 | 17,17 | 16,67 | 13,45 |
| CaO | 8,96 | 10,42 | 7,92 | 5,53 | 1,13 |
| Fe ₂ O ₃ | 9,17 | 11,93 | 8,97 | 5,24 | 2,00 |
| K ₂ O | 2,10 | 0,82 | 1,11 | 1,4 | 5,35 |
| MgO | 2,89 | 6,34 | 4,36 | 2,72 | 0,32 |
| MnO | 0,22 | 0,18 | 0,15 | 0,11 | 0,03 |
| Na ₂ O | 3,71 | 2,23 | 3,67 | 3,98 | 2,99 |
| P ₂ O ₅ | 0,29 | 0,23 | 0,28 | 0,17 | 0,07 |
| TiO ₂ | 1,45 | 2,03 | 1,31 | 0,64 | 0,22 |

Abu vulkanik yang bersifat pozzolan dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah (Rifa'i, *et al.*2013). Dengan waktu pemeraman selama 14 hari, campuran lempung lunak dengan abu vulkanik dapat mengurangi nilai batas cair, menambah daya dukung, dan mengurangi potensi pengembangan. Dengan penambahan 25% abu vulkanik dan 5% kapur pada lempung yang batas cair 80%, mengalami penurunan menjadi 65%. Penurunan nilai batas cair menunjukkan pengaruh penambahan abu vulkanik dan kapur terhadap nilai batas cair lempung lunak. Struktur susunan abu vulkanik dari pengamatan melalui *Scanning Electron Microscope (SEM)* dimana dilakukan perbesaran 2.500 kali. Struktur morfologi abu vulkanik cenderung berbentuk angular.



Gambar 2. a) Hubungan antara batas cair (LL) dengan kadar abu vulkanik dengan penambahan kapur, (b) Struktur morfologi abu vulkanik (Rifa'i dkk, 2013)

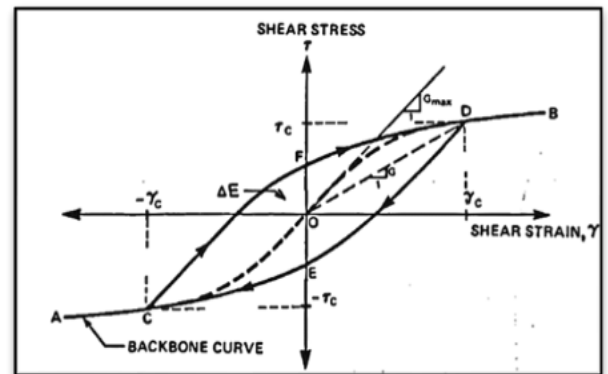
B. Pengaruh Plastisitas Tanah Terhadap Beban Siklik

Plastisitas pada tanah lempung cenderung disebabkan oleh partikel mineral yang terkandung didalamnya. Plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak, (Hardiyatmo, 2012).

Vucetic dan Dorby (1991), menyatakan modulus geser pada regangan rendah (G_{Max}) bertambah lebih signifikan pada lempung plastisitas tinggi daripada lempung plastisitas rendah atau tanah tidak berkohesi dengan plastisitas nol. Tanah berbutir halus yang jenuh air dapat mengalami beban siklik berupa gempa bumi,

pemancangan tiang, beban lalu lintas, ledakan, dan berbagai macam penyebab lainnya. Respon dinamik yang diakibatkan oleh beban tersebut dipengaruhi oleh perilaku geser pada tegangan-regangan siklik pada tanah. Perilaku demikian sering didefinisikan dengan :

1. Nilai modulus geser pada regangan rendah G_{max} , yang dipengaruhi kecepatan rambat gelombang $V_s = \sqrt{G_{max}/\rho}$, dimana ρ = massa jenis tanah.
2. Hubungan antara modulus geser G , dan amplitudo regangan siklik (γ_c), ditunjukkan dengan kurva G/G_{max} terhadap γ_c .
3. Kurva hubungan rasio redaman material λ terhadap γ_c
4. Penurunan kekakuan G pada siklus N terhadap γ_c

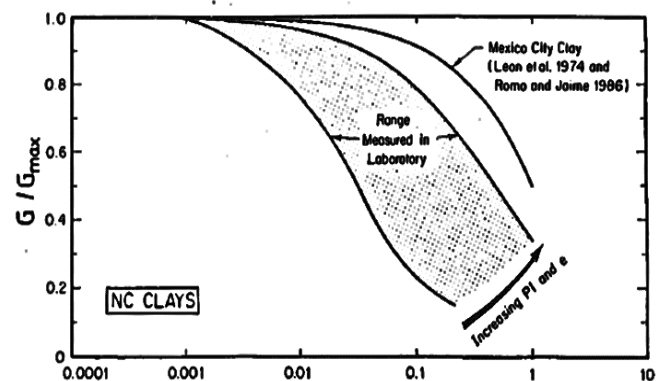


Gambar 3. Kurva hysteresis loop tegangan-regangan siklik (Dobry dan Vucetic, 1991)

Dalam penelitian terdahulu nilai PI (indeks plastisitas) memiliki korelasi terhadap parameter siklik diantaranya : G_{max} , G/G_{max} dan γ_c , λ dan γ_c , dan penurunan nilai G terhadap N . Hardin dan Black (1968) dan Hardin (1978) mengemukakan persamaan yang menghubungkan antara plastisitas tanah dengan OCR (*overconsolidation Ratio*).

$$G_{max} = 625 \frac{ocr^k}{0,3+0,7e^2} \sqrt{P_a \bar{\sigma}_0} \quad (2.1)$$

Dimana, $\bar{\sigma}_0 = (\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)/3$ menyatakan rata-rata tegangan normal efektif; e = void ratio ; P_a = tekanan atmosfer. Eksponen k merupakan fungsi dari nilai PI. Jika nilai PI = 0, 20, 40, 60, 80, dan 100, maka secara berturut-turut nilai k = 0.0, 0.18, 0.31, 0.41, 0.48, dan 0.50, dan untuk nilai PI > 100, maka nilai k yang digunakan adalah 0.5.



Gambar 4. Hubungan PI dan e terhadap G_{max} , G/G_{max} dan γ_c (Dobry dan Vucetic, 1987)

Dari berbagai percobaan di laboratorium terhadap tanah yang terkonsolidasi normal (*normally consolidated*, NC) diperoleh sejumlah rentang nilai hubungan PI dan e terhadap G_{max} , G/G_{max} dan γ_c . Dalam rentang tersebut G/G_{max} cenderung bergerak keatas sedangkan γ_c cenderung bergerak ke bawah seiring dengan bertambahnya nilai PI dan e . Dari pengamatan tersebut, PI cenderung menunjukkan pengaruh terhadap G_{max} , G/G_{max} dan γ_c yang lebih konsisten daripada e .

C. Stabilisasi Tanah Dengan Bahan Tambah

Stabilisasi bertujuan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Salah satu tujuan yang ingin didapatkan melalui pencampuran dengan bahan tambah adalah untuk memperoleh gradasi tanah yang diinginkan. Metode stabilisasi dengan bahan tambah dilakukan dengan mencampur tanah dengan semen, kapur, abu terbang, injeksi semen (*grouting*), dan lain-lain. Stabilisasi yang dilakukan pada tanah dasar dapat meningkatkan kapasitas dukung sehingga mengurangi tebal komponen perkerasan. Beberapa bahan tambah dapat bekerja sebagai pengontrol kelembaban tanah sehingga pemadatan tanah dapat dilakukan dengan baik pada musim kemarau, (Hardiyatmo, 2013).

Yeimo (2014) melakukan penelitian dengan penambahan pasir dan kapur pada tanah lempung pada ruas jalan Enarotali-Madi Distrik Paniai Timur, Kabupaten Paniai, Provinsi Papua. Klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS) tanah yang berasal dari lokasi pengambilan sampel termasuk dalam tanah lanau kepasiran yang mengandung mineral *illite* yang termasuk ke dalam kelompok CL dan ML dan klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Classification*), (PL) 18,97% < 30% maka tanah termasuk dalam kelompok A-7-6, merupakan tanah lempung sedang sampai buruk. Variasi penambahan pasir yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%, sedangkan variasi kadar kapur pada campuran tanah adalah 0%, 2%, 4%, 6% dan 8%. Hasil uji tekan bebas dengan masa pemeraman 7 hari pada saat runtuh, nilai q_u meningkat dari 4,01 kg/cm² menjadi 10,17 kg/cm² terjadi pada kadar pasir 10% dan kapur 8% sedangkan benda uji awal $q_u = 101.126$ kg/cm².

Marbono (2014) melakukan penelitian terhadap pemanfaatan abu vulkanik sebagai bahan tambah stabilisasi lapisan tanah dasar. Variasi penambahan abu vulkanik yang sudah ditentukan adalah 15%, 20%, dan 25% terhadap berat kering tanah. Selain itu penggunaan kapur juga ditambahkan kapur sebesar 5% kedalam campuran tanah dan abu vulkanik. Variasi waktu pemeraman berkisar dengan rentang 1, 3, 7, dan 14 hari. Pada pemeraman selama 14 hari nilai indeks plastisitas tanah mengalami penurunan sebesar 89%. Penurunan nilai indeks plastisitas dapat menjadi parameter yang menunjukkan kondisi tanah yang semakin baik. Pada pengujian triaksial (UU), periode masa pemeraman dapat meningkatkan nilai sudut geser dalam dan menurunkan nilai kohesi pada masing-masing campuran tanah.

Peningkatan kuat geser tanah menunjukkan kemampuan tanah yang semakin besar dalam menahan beban.

D. Landasan Teori**1. Klasifikasi Tanah**

Pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun subkelompok yang menunjukkan sifat atau perilaku yang sama disebut klasifikasi. Dalam kegiatan perancangan pengklasifikasikan tanah dapat membantu memberikan pengarahannya secara empiris dari hasil pengalamannya sebelumnya.

a. Sistem Klasifikasi Unified

Sistem pengklasifikasian tanah dari Sistem Unified diusulkan pertama kali oleh Casagrande (1942), yang kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*). Sistem ini lebih dikenal dengan USCS (*Unified Soil Classification System*). Pada sistem USCS, tanah diklasifikasikan sebagai tanah berbutir kasar (pasir dan kerikil) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau atau lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200.

b. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem pengklasifikasian tanah dengan sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) ditujukan dalam lingkup perancangan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8. Tanah-tanah dalam masing kelompok dievaluasi terhadap Indeks kelompok (*group indeks*). Pengujian laboratorium yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg.

2. Mineral Lempung

Lempung memiliki pengertian yaitu bagian terpisah dari partikel tanah yang memiliki diameter <0,002 mm, sedangkan mineral lempung adalah substansi anorganik penyusun butiran lempung dimana dalam proses pembentukan dipengaruhi oleh pelapukan. Pelapukan dalam mineral lempung dipengaruhi oleh kondisi asam dari lingkungan tanah tersebut berasal. Reaksi kimia dalam proses pelapukan mengakibatkan mineral utama menghilang dan digantikan oleh komponen mineral lainnya (Foth, 1990).

Nelson dan Miller (1992) menyatakan, tiga susunan kelompok mineral lempung yang penting adalah:

- Kelompok mineral lempung tidak ekspansif karena adanya ikatan hydrogen kuat yang menjaga ikatan setiap partikel lempung secara bersama-sama, contohnya kelompok kaolinite.
- Kelompok "seperti mika", contohnya illite dan vermiculite yang bisa ekspansif tapi umumnya tidak menyebabkan masalah.
- Kelompok smectite, termasuk montmorillonite yang sangat mudah mengembang atau ekspansif sehingga banyak menyebabkan masalah karena partikel-partikel terikat lemah.

3. Tanah Dasar

Tanah dasar merupakan tanah pondasi yang secara langsung mendukung beban lalu lintas dari suatu

perkerasan. Lapisan ini berfungsi sebagai pondasi dari suatu sistem perkerasan. Dengan melihat fungsinya sebagai pondasi dimana perkerasan berada, maka ketahanan dari struktur perkerasan bergantung pada lapisan tanah dasar. Kadar air pada tanah dasar harus dijaga agar tetap konstan sehingga kondisi tanah dasar berada dalam kondisi yang stabil. Pemadatan yang baik perlu dilakukan untuk mencegah penurunan yang tidak seragam akibat terjadinya perubahan volume dapat diminimalisir.

Reaksi tanah dasar terhadap beban dan perubahan iklim memnerikan pengaruh terhadap tanah dasar dalam mendukung beban perkerasan yang diakibatkan dari beban roda kendaraan. Reaksi tanah dasar bergantung pada karakteristik fisik tanah, antara lain :

- a. kohesi (c)
- b. Sudut Gesek Dalam (ϕ)
- c. Kompresibilitas
- d. Plastisitas
- e. Kapilaritas

Karakteristik fisik tersebut memberikan pengaruh tanah dasar terhadap kembang-susut, penurunan, lonsoran pada galian dan gerakan lateral. Karakteristik tersebut diperoleh melalui uji laboratorium.

4. Modulus Geser

Modulus geser didefinisikan sebagai rasio antara tegangan geser dan regangan geser. Pada kondisi elastis berdasarkan hukum hooke, persamaan modulus geser adalah :

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \tag{3.2}$$

Dengan

- G = modulus geser (Mpa)
- τ = tegangan geser (Mpa)
- γ = regangan geser (%)

Salah satu parameter untuk mengukur kekakuan atau elastis suatu material adalah melalui nilai modulus geser. Material yang kaku ditunjukkan dengan nilai modulus geser yang lebih besar, dimana untuk mendapatkan regangan geser yang lebih besar diperlukan tegangan geser yang lebih besar.

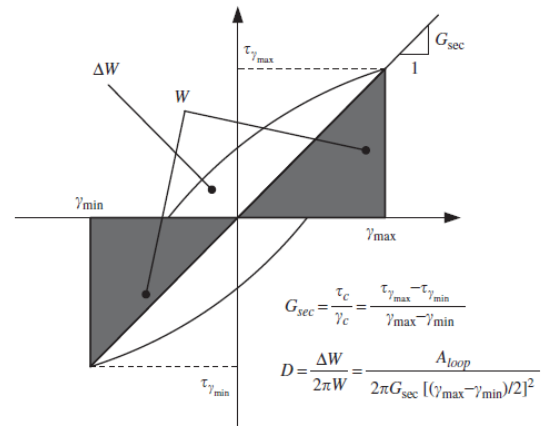
Dalam mengevaluasi respon dinamik akibat pergerakan tanah, modulus geser merupakan parameter yang harus menjadi pertimbangan. (Seed dkk., 1970). Nilai modulus geser (G) dipengaruhi oleh angka pori, derajat kejenuhan, jenis tanah, amplitudo getaran, dan frekuensi getaran (Hardin dan Black, 1968).

Uji triaksial siklik menghasilkan kurva *hysteresis loop* yan digunakan untuk menghitung modulus Geser (G). Nilai modulus geser dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$G = \frac{\tau_c}{\gamma_c} = \frac{\tau_{\gamma_{max}} - \tau_{\gamma_{min}}}{\gamma_{max} - \gamma_{min}} \tag{3.3}$$

Dengan:

- G = modulus geser (kPa)
- D = rasio redaman (%)
- A_{loop} = area *hysteresis*



Gambar 5. Skema perhitungan parameter dinamik menggunakan *hysteresis loop* (Jafaezadeh dan Sadeghi, 2012)

Nilai modulus geser maksimum (Gmaks) dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya adalah jenis tanah (pasir atau lempung), tahanan kekang efektif, angka pori (e) dan derajat konsolidasi. Hardin dan Drnevich (1972) mengusulkan persamaan untuk menghitung modulus geser (Gmaks) untuk nilai $0,40 < e < 1,20$ adalah sebagai berikut :

$$G_{max} = 1270 \times OCR^k \frac{(2,973 - e)^2}{1 + e} \sigma_0^{0,50} \tag{3.4}$$

Dimana :

- Gmaks = modulus geser maksimum (Psi)
- e = angka pori
- σ_0 = tahanan kekang efektif
- k = k merupakan fungsi dari nilai PI. Jika nilai PI = 0, 20, 40, 60, 80, dan 100, maka secara berturut-turut nilai k = 0.0, 0.18, 0.31, 0.41, 0.48, dan 0.50, dan untuk nilai PI > 100, maka nilai k yang digunakan adalah 0,5.

Apabila modulus geser tanah dinyatakan dalam kg/cm^2 , maka persamaan (3.4) menjadi

$$G_{max} = 331 \times OCR^k \frac{(2,973 - e)^2}{1 + e} \sigma_0^{0,50} \tag{3.5}$$

Kemudian tahanan kekang efektif (σ_0) diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \tag{3.6}$$

Dimana :

- σ_1 = effective vertical stress
- $\sigma_2 = \sigma_3 = K_0 \cdot \sigma_1$
- K_0 = koefisien tekanan tanah lateral
- OCR = overconsolidation ratio

K_0 diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$K_0 = (1 - \theta) \sqrt{OCR} \tag{3.7}$$

Berbagai rumus empiris telah dikembangkan untuk menentukan modulus geser. Zen dkk (1987) mengusulkan persamaan empiris sebagai berikut :

$$G_{max} = AF(e)(\sigma'0)^n \tag{3.8}$$

Dimana :

- $\sigma'0$ = tahanan kekang efektif

- e = angka pori
- A = 2000-4000
- F = $(2,97-e)/ (1+e)$
- n = 0,5

E. Metode Penelitian

1. Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel berada di jalan nasional Semarang-Demak.

2. Bahan Penelitian

a. Tanah

Tanah sampel penelitian merupakan lempung plastisitas tinggi yang diperoleh pada ruas jalan nasional Semarang-Demak.

b. Abu Vulkanik

Abu Vulkanik yang digunakan berasal dari Erupsi Gunung Merapi tahun 2010. Abu yang digunakan adalah abu yang lolos saringan no.200. Variasi kadar campuran abu vulkanik adalah vulkanik 0, 20%, 22%, 25%, 27%, 30%.

c. Kapur Padam

Kapur padam $Ca(OH)_2$ merupakan hasil pembakaran batu kapur. Kadar campuran yang ditambahkan adalah 5% dari berat kering tanah.

d. Air

Air yang digunakan diambil dari saluran air bersih di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Gadjah Mada.

3. Peralatan Penelitian

Beberapa alat pengujian yang digunakan dalam penelitian adalah sebaga berikut :

- a. Satu set alat uji batas-batas Atterberg standar ASTM D4318-00, D427-98
- b. Satu set alat uji specific gravity standar ASTM D854-02
- c. Satu set alat uji saringan standar ASTM D421-85
- d. Satu set alat uji hydrometer standar ASTM D422-63
- e. Satu set alat uji pemadatan standar proctor standar ASTM D698-00
- f. Satu set alat uji konsolidasi ASTM D 2435-96
- g. Triaksial UU (ASTM D 2850-95(1999)).
- h. Alat – alat bantu yang terdiri dari oven, timbangan dengan ketelitian 0,01 mm, cawan, desikator, stop watch , thermometer.

4. Variasi Pengujian

Tabel 2. Rekapitulasi variasi pengujian

| No. | Variasi pengujian | Abu Vulkanik (%) | Kapur (%) | Lama Pemeraman (hari) |
|-----|-------------------|------------------|-----------|-----------------------|
| 1 | Tanah I | 20 | 5 | 14 |
| 2 | Tanah II | 22 | 5 | 14 |
| 3 | Tanah III | 25 | 5 | 14 |
| 4 | Tanah IV | 27 | 5 | 14 |
| 5 | Tanah V | 30 | 5 | 14 |

F. Pengujian

1. Pengujian Tanah Asli

Hasil pengujian tanah asli berupa sifat fisis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 5.1 dan hasil pengujian sifat mekanis tanah seperti yang teradapat pada tabel 5.2.

Tabel 3. Hasil pengujian sifat fisis tanah asli

| No | Parameter | Satuan | 1 |
|----|---------------------------------|--------|-------|
| 1 | Kadar air | % | 52,99 |
| 2 | Berat jenis | - | 2,57 |
| 3 | Tanah lolosNo.40 (< 0,425 mm) | % | 93,49 |
| 4 | Tanah lolos No.200 (< 0,075 mm) | % | 77,79 |
| 5 | Batas cair | % | 96,50 |
| 6 | Batas plastis | % | 33,67 |
| 7 | Batas Susut | % | 12,55 |
| | Indeks plastis | % | 63,99 |
| 9 | Klas. AASHTO | | A-7-5 |
| 10 | Klas. USCS | | CH |

Tabel 4. Hasil pengujian sifat mekanis tanah asli

| No | Parameter | Satuan | 1 |
|----|------------------------|--------------------|-------|
| 1 | Kadar air optimum | % | 30,85 |
| 2 | Kepadatan kering maks. | gr/cm ³ | 1,334 |
| 3 | Kohesi | kg/cm ² | 0,188 |
| 4 | Sudut geser tanah | ° | 0,08 |
| 5 | Kuat tekan | kg/cm ² | 0,11 |

2. Perhitungan Modulus Geser

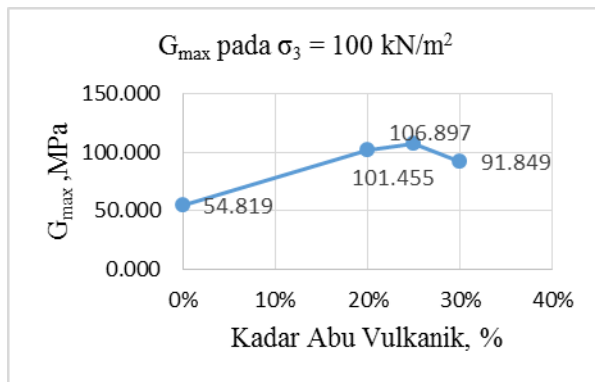
Dengan persamaan empiris yang diusulkan Zen dkk (1987) diperlukan parameter angka pori (e) dan tahanan kejang efektif (σ_0') dari pengujian triaksial UU.

| Kadar Campuran Abu Vulkanik | Benda Uji | Angka pori, e | $\sigma_0, kN/m^2$ | G_{max}, Mpa |
|-----------------------------|------------------------|---------------|--------------------|----------------|
| 0% | $\sigma_3 = 100kN/m^2$ | 0,741 | 75 | 54,81 9 |
| 20% | $\sigma_3 = 100kN/m^2$ | 1,019 | 310 | 101,4 55 |
| 25% | $\sigma_3 = 100kN/m^2$ | 1,059 | 360 | 106,8 97 |
| 30% | $\sigma_3 = 100kN/m^2$ | 1,111 | 283 | 91,84 9 |

Tabel 5. Perhitungan Modulus Geser

Dari hasil perhitungan G_{max} , campuran tanah- abu vulkanik dengan kadar 25% memiliki nilai G_{max} terbesar. Dengan nilai $\sigma_0 = 360 kN/m^2$ dan $e = 1,059$ dengan nilai $G_{max} = 106,897 Mpa$.

Gambar 6. Grafik G_{max} pada $\sigma_3 = 100 \text{ kN/m}^2$



Gambar 6. Menunjukkan kenaikan modulus geser (G_{max}) dengan kadar campuran tanah-abu vulkanik sebesar 25%.

3. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan :

1. Hasil pengujian tanah di laboratorium, berdasarkan klasifikasi USCS menunjukkan bahwa tanah pada lokasi penelitian merupakan jenis tanah clay high-plasticity dan berdasarkan klasifikasi AASHTO menunjukkan tanah pada kelompok A-7-5.
2. Penambahan abu vulkanik memberikan pengaruh terhadap kenaikan angka pori.
3. Penambahan abu vulkanik menaikkan nilai tahanan kekang efektif (σ_0') pada campuran tanah-abu vulkanik. Dengan nilai σ_0' terbesar terdapat pada campuran tanah-abu vulkanik dengan kadar 20% sebesar 725 kN/m^2 .
4. Semakin besar nilai σ_0' semakin besar juga nilai modulus geser pada campuran tanah-abu vulkanik.
5. Nilai angka pori e tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai modulus geser.
6. Abu vulkanik dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif bahan tambah dalam stabilisasi tanah.

Saran

Melalui penelitian ini terdapat beberapa saran yang dapat menjadi perhatian bagi peneliti yang ini mengembangkan penelitian serupa untuk hasil yang lebih baik:

1. Perlu variasi kadar abu vulkanik yang lebih banyak agar diperoleh ragam variasi dari nilai modulus geser yang lebih banyak.
2. Perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh angka pori (e) terhadap G_{max} pada penambahan abu vulkanik sebagai bahan tambah.

Daftar Pustaka

Christopher, A. 2016. *Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Kelud Untuk Stabilisasi Kuat Dukung*

Tanah Lempung Sebagai Subgrade. Tugas Akhir. Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

- Das, B. M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. 7th edition. Boston: PWS Publishing.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Mekanika Tanah 1, Edisi Kelima*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Mekanika Tanah 2, Edisi Kelima*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardin, O. B. dan Y.P. Drnevich, 1972. *Shear Modulus And Damping In Soils : Design Equations And Curves*. ASCE.
- Latif, D. O. 2016. *Effect of Kelud Volcanic Ash Utilization on The Physical Properties as Stabilizer Material for Soil Stabilization*. USA. EJGE
- Latif, D. O. 2016. *Chemical Characteristics Of Volcanic Ash In Indonesia For Soil Stabilization: Morphology And Mineral Content*. USA. EJGE
- Neolaka, S. A. 2012. *Pengaruh Beban Siklis Pada Tanah Lempung Kenyang Air Dalam Tinjauan Parameter Dinamis Tanah*. Tesis. Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Rifa'i, A. and Yasafuku, N. 2013. *Effect of Volcanic Ash Utilization as Substitution Material for Soil Stabilization in View Point of Geo-Environment, ground improvement and Geosynthetic*, ASCE., 238, 138-147.
- Rifa'i, A., Yasafuku, N. and Omine, K. 2013. *Characterization and Effective Utilization of Volcanic Ash for Soil Improvement*. Switzerland. Trans Tech Publications. Applied Mechanics and Materials Vol. 248 (2013) pp 292-297.
- Purwanto, E. 2008. *Nilai Modulus Geser Tanah Berdasarkan Rumus Hardin & Drnevich (1972) dan Menard (1965)*, Media Komunikasi Teknik Sipil.
- Wahyuni, E.T., S. Triyono., dan Suherman. 2012. *Penentuan Komposisi Kimia Abu Vulkanik Dari Erupsi Gunung Merapi*. Yogyakarta. J. MANUSIA DAN LINGKUNGAN, Vol. 19, No. 2, Juli. 2012, 15.