

KAJIAN PENGGUNAAN ZEOLITE UNTUK STABILISASI LERENG KRITIS DI DOLOK SANGGUL PAKKAT PADA STA 32+000 DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN PLAXIS (STUDY LABORATORIUM)

Oleh:

Masriani Endayanti ¹⁾

Janter Napitupulu ²⁾

Hendra Fernando Roganda ³⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{1,2,3)}

e-mail:

endayanti22@gmail.com ¹⁾

jantermh@gmail.com ²⁾

hendramdn95@gmail.com ³⁾

ABSTRACT

Stabilization is one of the ways and efforts made to improve soil properties and characteristics. Various ingredients for stabilization have been widely used, including cement, flyash, bitumen, lime, and even geogrid. The use of soil stabilization material is expected to increase the strength / bearing capacity of the soil so that the construction load above it can be borne by the stabilized soil. In this study, stabilization was carried out on the soil at the Pakkat location, Dolok Sanggul using stabilization with a mixture of 10%, 15%, and 20%. By testing carried out in the laboratory, it was obtained from the original soil results, namely water content of 24,175%, density 2,680, plasticity index of 6.32%, based on the AASHTO soil classification the soil sample was included in loamy / silty sand and included in groups A-2-4 and based on USCS. Soil samples are included in the Silty Gravel group, weight is 1.523 gr / cm³ with a maximum shear strength of 0.25 kg / cm² and free compressive strength of 0.134 kg / cm². The results show that after mixing, the maximum shear strength was 0.83 kg / cm² with a mixture of 20% and a curing period of 45 days and the free compressive strength increased by 1,690 kg / cm² with a mixture of 20% and a curing period of 45 days.

Keywords: *Zeolite, Unconfined compression test, Direct shear test*

ABSTRAK

Stabilisasi merupakan salah satu cara dan upaya yang dilakukan untuk memperbaiki sifat dan karakteristik tanah. Berbagai bahan campuran untuk stabilisasi telah banyak dilakukan, diantaranya semen, flyash, bitumen, kapur, bahkan geogrid. Penggunaan bahan stabilisasi tanah diharapkan mampu menambah kekuatan/daya dukung tanah sehingga beban konstruksi yang berada di atasnya dapat dipikul oleh tanah yang distabilisasi. Pada penelitian ini dilakukan stabilisasi pada tanah dilokasi Pakkat, Dolok Sanggul dengan menggunakan stabilisasi dengan kadar campuran 10%, 15%, dan 20%. Dengan pengujian yang dilakukan di laboratorium diperoleh dari hasil tanah asli yaitu kadar air 24.175%, berat jenis 2.680, indeks plastisitas 6.32%, berdasarkan klasifikasi tanah AASHTO sampel tanah tersebut termasuk dalam pasir berlempung/berlanau dan termasuk kelompok A-2-4 dan berdasarkan USCS sampel tanah tersebut termasuk dalam kelompok Silty Gravel, Berat jenis 1.523 gr/cm³ dengan kuat geser maksimum 0.25 kg/cm² dan kuat tekan bebas 0.134 kg/cm². Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah dilakukan pencampuran didapat kuat geser maksimum 0.83 kg/cm² dengan campuran 20% dan masa pemeraman 45 hari dan kuat tekan bebas meningkat sebesar 1.690 kg/cm² dengan campuran 20% dan masa pemeraman 45 hari.

Kata kunci : *Zeolite, Unconfined compression test, Direct shear test*

1. PENDAHULUAN

Seperti pada halnya bencana-bencana alam lainnya, longsor sangat sulit diprediksi dan kapan saja bisa terjadi, dan longsor juga dapat terjadi akibat campur tangan manusia seperti penggundulan hutan secara illegal yang mengakibatkan hilangnya penahan tanah saat curah hujan maksimum terjadi. Selain manusia adapun beberapa faktor geologi yang dapat memicu terjadinya longsor antara lain hujan, tanah yang kurang padat, lereng yang terjal, getaran dan jenuhnya air dibawah tanah. Pada prinsipnya longsor terjadi akibat lebih besarnya gaya yang mendorong daripada gaya yang menahan pada lereng kritis tertentu, gaya tahanan pada lereng tertentu ditentukan oleh batuan, kepadatan tanah dan yang lainnya.

Daerah Dolok Sanggul – Pakkat dapat dikategorikan sebagai daerah rawan longsor dilihat dari medan daerahnya yang memiliki lereng kritis, terkhusus jalan daerah Dolok sanggul – Pakkat pada STA 32+000 yang mengalami longsor cukup parah sehingga mengakibatkan hampir terputusnya jaringan transportasi antar daerah tersebut dan mengakibatkan lumpuhnya seluruh kegiatan yang berhubungan dengan daerah tersebut.

Maka Penulis menganggap perlunya dilakukan kajian penelitian lebih mendalam terhadap kasus diatas berupa penggunaan bahan campuran berupa zeolite terhadap lereng kritis serta dilakukan penelitian kuat geser tanah, indeks properties tanah, dan lainnya serta pemodelan terhadap lereng kritis dilakukan dengan menggunakan software Plaxis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah adalah kumpulan dari bagian-bagian padat yang tidak terikat Antara satu dengan yang lainnya (diantaranya mungkin material organik) dan rongga-rongga diantara bagian-bagian tersebut berisi udara dan air. (Verhoef, 1994)

Menurut Craig (1991), tanah adalah akumulasi mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Tanah didefinisikan oleh DAS (1995) sebagai material yang terdiri dari agregat mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Sedangkan pengertian tanah menurut Bowles (1984), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

- a. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm dan untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
- b. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0.074 mm sampai 5 mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm sampai bahan halus yang berukuran < 1 mm
- d. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0.002 mm sampai 0.0074 mm.
- e. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0.002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
- f. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0.001 mm.

Tanah terjadi sebagai produk pecahan dari batuan yang mengalami pelapukan mekanis atau kimiawi. Pelapukan mekanis terjadi apabila batuan berubah menjadi fragmen yang lebih kecil tanpa terjadinya suatu perubahan kimiawi dengan faktor-faktor yang mempengaruhi, yaitu pengaruh iklim, eksfoliasi, erosi oleh angin dan hujan, abrasi, serta kegiatan organik. Sedangkan pelapukan kimiawi meliputi perubahan mineral batuan menjadi senyawa mineral yang baru dengan proses yang terjadi antara lain seperti oksidasi, larutan (*solution*), pelarut (*leaching*).

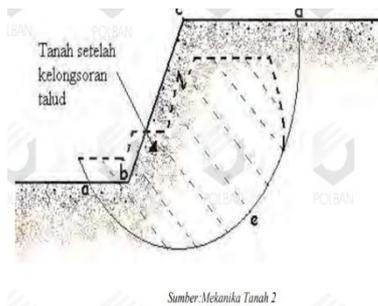
2.2 Klasifikasi Lereng

Bentuk lereng merupakan wujud visual lereng. Kemiringan lereng biasanya terdiri dari bagian puncak (*crest*), cembung (*convex*), cekung (*concave*), dan kaki lereng (*lower slope*). Daerah puncak merupakan daerah gerusan erosi yang paling tinggi dibanding daerah bawahnya, demikian pula lereng tengah yang kadang cekung atau cembung mendapat gerusan aliran permukaan relief lebih besar dari puncaknya sendiri, sedangkan kaki lereng merupakan daerah endapan. Salim 1998 (Sahara, 2014).

Suatu tempat yang memiliki dua permukaan tanah yang memiliki ketinggian-ketinggian yang berbeda dan dihubungkan oleh suatu permukaan disebut

lereng (Vidayanti, 2012). Lereng dapat terjadi secara ilmiah atau buatan. Lereng alamiah adalah lereng yang terjadi dan terbentuk secara alamiah seperti pada suatu bukit atau tebing-tebing sungai. Sedangkan lereng buatan adalah lereng yang dibuat oleh manusia karena suatu kebutuhan, baik yang dibuat dalam tanah asli melalui pemotongan tanah seperti untuk jalan raya, saluran air, ataupun lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan seperti tanggul, bendungan tanah (Ruskandi & Thamrin, 2003)

Dengan adanya perbedaan ketinggian muka tanah, akan memungkinkan terjadinya kelongsoran, karena tidak jarang lereng yang ada tidak kuat menerima beban yang bekerja pada bagian atasnya. Longsoran menurut (Ruskandi & Thamrin, 2003) adalah suatu proses perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah miring dari kedudukan semula, terpisah dari arah yang mantap karena pengaruh gravitasi. Sedangkan menurut (Vidayanti, 2012) menyimpulkan longsoran itu keruntuhan dari massa tanah yang terletak dibawah sebuah lereng. Bidang longsor ini dapat berupa garis lingkaran atau kurva yang terbentuk oleh mekanisme keruntuhan seperti pada gambar 2.2 dibawah. Bila suatu longsoran terjadi berarti bahwa gaya dorong yang timbul telah melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah disepanjang bidang longsor.



gambar 2.2 kelongsoran lereng

jika longsoran terjadi, seringkali berdampak kerugian, baik materil maupun moril, maka dari itu harus ada penanganan yang tepat. Penanganan yang biasanya dilakukan salah satunya adalah dengan membangun konstruksi dinding penahan tanah ataupun dengan cara penggunaan zat kimia sebagai pencampuran dengan tanah pada sekitar lereng.

Para insinyur sipil telah membuat perhitungan stabilitas lereng guna memeriksa keamanan lereng alamiah, lereng galian, dan lereng timbunan yang dipadatkan. Faktor yang perlu dilakukan dalam pemeriksaan tersebut adalah menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang permukaan retak yang paling mungkin dengan kekuatan geser dari tanah yang bersangkutan. Proses ini dinamakan *slope stability*

analysis (analisa stabilitas lereng), yaitu diawali dengan menentukan angka keamanan yang didefinisikan sebagai berikut.

$$FK = \frac{\text{gaya yang menahan}}{\text{gaya penggerak}} = \frac{\tau f}{\tau d}$$

Dimana :

FK = angka keamanan terhadap kekuatan tanah.

τf = kekuatan geser rata-rata dari tanah.

τd = tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor.

Pada umum nya, prosedur analisa stabilitas dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu analisa stabilitas dengan cara prosedur massa (*mass procedure*) dan analisa stabilitas dengan cara metode irisan (*method of slices*).

2.3 Deskripsi Zeolite

Zeolit banyak dipakai dalam proses-proses kimia. Pada saat ini penggunaan zeolit semakin meningkat, terutama untuk keperluan sebagai adsorben, penukar ion dan katalis. Dasar pertimbangannya karena zeolit memiliki sifat yang mampu menyerap uap/gas maupun cairan, mampu menukar kation, sifat katalitiknya terhadap berbagai reaksi kimia yang sangat baik dan ramah lingkungan.

Mineral zeolit banyak ditemukan di alam sebagai batuan sedimen vulkano. Penyusunan utama zeolit adalah mordenit dan klipnotilonit dalam berbagai variasi komposisi. Nama zeolit berasal dari dua kata dalam bahasa Yunani yaitu zein yang berarti mendidih dan lithos yang berarti batuan. Disebut demikian karena mineral ini mempunyai sifat mendidih atau mengembang apabila dipanaskan. Dimana air dalam rongga-rongga zeolite akan mendidih bila dipanaskan pada suhu 100°C (Sutarti dan Rahmawati, 1994, Anwar dan Nugraha, 1985).

Zeolit pertama kali ditemukan oleh *Freiherr Axel Cronstedt*, seorang ahli mineralogi dari Swedia pada tahun 1756 (Sheppard, 1969: 875-886). Zeolit menurut proses pembentukannya dibagi 2, yaitu : zeolit alam (*natural zeolit*) dan zeolit sintesis (*syntetic zeolit*). Sedangkan berdasarkan ukuran porinya, zeolit dapat diklasifikasikan menjadi 3 golongan, yaitu: zeolit dengan pori kecil (*small pore zeolit*), zeolit dengan pori medium (*medium pore zeolit*), dan zeolit dengan pori besar (*large pore zeolit*). Zeolit alam biasanya mengandung kation-kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} atau Mg^{2+} sedangkan zeolit sintetik biasanya hanya mengandung kation-kation K^+ atau Na^+ . Pada zeolit alam, adanya molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti Al_2O_3 , SiO_2 ,

CaO, MgO, Na₂O, K₂O dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut. Inilah alasan mengapa zeolit alam perlu diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika, aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu 400 °C dengan udara panas atau dengan sistem vakum untuk melepaskan molekul air.

Zeolit merupakan suatu bahan stabilisasi tanah sangat cocok digunakan untuk meningkatkan kondisi tanah atau material tanah jelek/dibawah standar. Penambahan zeolit ini akan meningkatkan kepadatan, meningkatkan ikatan antar partikel dalam tanah, daya dukung, kuat tekan serta kuat geser material tanah, sehingga memungkinkan pembangunan konstruksi di atasnya.

2.4 Parameter - parameter yang digunakan dalam Plaxis

Pada metode mohr-coulomb digunakan parameter-parameter sebagai berikut :

1. Sudut geser

Sudut geser dinyatakan dalam satuan derajat merupakan penambahan dari *shear strength* dan *stress level*. Sudut geser yang besar, cenderung menurun ketika tanah mengalami *shear deformation* yang terus menerus

2. Kohesi

Kohesi adalah daya ikat tanah yang sudah menjadi sifat tanah pada umumnya. Program plaxis membutuhkan parameter kohesi untuk prosedur *non linier*. Pada program plaxis bisa menggunakan harga kohesi yang bertambah, sesuai dengan bertambahnya kedalaman yaitu dengan memasukkan nilai *c-depth* yaitu pertambahan kohesi tiap unit kedalaman

3. Modulus kekakuan

Plaxis menggunakan modulus geser sebagai modulus kekakuan dasar dari model mohr-coulomb. Parameter kekakuan ini berhubungan dengan *modulus young (E)*, harga dari parameter kekakuan memerlukan perhatian khusus karena banyak material tanah memiliki sifat *non-linier*

4. Poisson ratio

Nilai poisson's ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian. Menentukan nilai poisson ratio diperoleh berdasarkan jenis tanah yang digunakan untuk pemodelan.

5. Permeabilitas

Permeabilitas adalah pergerakan air dalam tanah yang terjadi pada tanah, dimana plaxis juga menggunakan nilai permeabilitas untuk mengetahui nilai perpindahan total tanah, dimana nilainya ditentukan berdasarkan jenis tanah yang diuji.

3. METODE PELAKSANAAN

3.1 Lokasi pengambilan sampel

Penelitian ini dilakukan di Jalan Pakkat-Dolok-Sanggal desa Parlilitan. Jalan lintas Pakkat-Dolok Sanggul adalah akses jalan untuk menghubungkan berbagai kecamatan dan kabupaten salah satu contoh yakni kabupaten Barus, kelongsoran lereng terjadi pada daerah penelitian tepatnya pada STA 32+000



Gambar 3.1 Peta lokasi pengambilan sampel tanah

3.2 Proses pengambilan sampel

Pengambilan sampel dilaksanakan dengan menggunakan contoh material tanah dari jalan Pakkat-Dolok Sanggul yang terletak pada STA 32+000. Untuk pengujian laboratorium, sampel tanah yang diambil dengan keadaan tanah tidak terganggu (*undisturb*) dan tanah terganggu (*disturb*). Pada kondisi tidak terganggu sampel tanah diambil menggunakan tabung dengan kedalaman jurang lebih 3 meter pada penampang lereng, sampel tanah terganggu diambil menggunakan plastik yang diambil dari permukaan lereng. Lebih efisiennya bisa dilihat pada lampiran yang tertera. Penyelidikan tanah bertujuan untuk mengetahui kondisi dan karakteristik/sifat tanah baik secara fisik maupun secara mekanik dari lokasi rencana bangunan. Terkait dengan analisis stabilitas lereng jalan Pakkat-Dolok Sanggul, dilakukan serangkaian pengujian tanah yang akan menghasilkan parameter-parameter tanah yang dibutuhkan.

3.3 Benda uji

Adapun benda uji yang akan dipakai dalam pengujian ini adalah sampel tanah pada kedalaman 1-3 meter yang berasal dari daerah longsor Pakkat dan untuk sampel dengan campuran stabilisasi menggunakan Zeolite yakni tanah terganggu dengan kadar air lapangan yang telah didapat dari pengujian tanah asli dengan kadar campuran 10%, 15%, dan 20%.

Untuk zeolite yang digunakan pada penelitian ini yakni menggunakan zeolite alam yang berasal dari kaki gunung sinabung Berastagi



Gambar 3.2 Zeolite alam dari kaki gunung Sinabung Berastagi

Zeolite yang digunakan untuk bahan campuran pada penelitian ini yakni berasal dari kaki gunung Sinabung dan dipecah menggunakan mesin Los Angeles dan disaring menggunakan saringan. Dan untuk mempermudah pencampuran maka digunakan zeolite yang telah dihancurkan lolos saringan No.200 dan tertahan pada saringan No.200

3.4 Pelaksanaan pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Darma Agung, Medan, Sumatera Utara dan Laboratorium Bahan Konstruksi Dinas Bina Marga Provinsi Sumatera Utara. Adapun pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Pengujian Berat Isi (*Unit Weight Test*)
- b. Pengujian Berat Jenis Butir Spesifik (*Specific Gravity Test*)
- c. Pengujian Kadar Air (*Moisture Content Test*)
- d. Pengujian Batas Atterberg (*Atterberg Limit*)
- e. Pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)
- f. Pengujian Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*)
- g. Uji Analisa Saringan (*Sieve Analysis Test*)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa kadar air

Tabel 4.1 hasil pengujian kadar air yang dicampur zeolite

campuran	Sudut geser dalam(θ)	Kohesi(C)	Kuat geser maksimum
Tanah asli	23°4'44.98"	0.061 kg/cm ²	0.25 kg/cm ²
zeolite 10%	28°43'14.82"	0.071 kg/cm ²	0.31 kg/cm ²
zeolite 15%	40°7'59.45"	0.092 kg/cm ²	0.50 kg/cm ²
zeolite 20%	55°7'56.93"	0.135 kg/cm ²	0.83 kg/cm ²

Dari hasil pengujian yang didapat disimpulkan bahwa tanah yang berasal dari Desa Onan Ganjang, Pakkat Kabupaten Dolok Sanggul memiliki kadar air rata-rata sebesar 24.175 %. Setelah ditambahkan dengan bahan campuran zeolite sebanyak 10%, 15%, dan 20% kadar air yang didapat menjadi 23.953%, 21.550%, dan 18.590%. maka dapat diketahui bahwa kadar air rata-rata setelah dicampurkan dengan bahan campuran zeolite terjadi penurunan, dan penurunan kadar air.

4.2 Pengujian Berat Jenis Butir Spesifik (*Specific Gravity Test*)

Tabel 4.2 hasil pengujian berat jenis dengan variasi campuran

Sampel	Berat jenis rata-rata (gr/cm ²)
Tanah asli	2.680
Tanah asli + zeolite 10%	2.547
Tanah asli + zeolite 15%	2.311
Tanah asli + zeolite 20%	2.251

dapat dilihat nilai berat jenis untuk tanah asli pada pengujian ini sebesar 2.680 gr/cm², setelah itu dilakukan pengujian dengan bahan campuran zeolite dengan variasi campuran didapat berat jenis dengan campuran zeolite 10%, 15%, dan 20% yaitu sebesar 2.547%, 2.311%, 2.251%.

4.3 Uji Analisa Saringan (*Sieve Analysis Test*)

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, kelompok tanah berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO maka sampel tanah yang diuji termasuk dalam tanah berbutir kasar dengan <35% lolos saringan no 200 yaitu sebesar 20.38% dengan klasifikasi kelompok A-2-4 dengan tipe yang paling dominan yaitu pasir yang berlempung atau berlanau.

Berdasarkan sistem USCS tanah lolos saringan No.4 sebesar 98.2% maka tanah termasuk tanah Pasir dengan klasifikasi berdasarkan PI<0.73 dan LL >20% yaitu Silty Gravel.

4.4 Pengujian Batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Tabel 4.4 Hasil pengujian batas atterberg

Sampel	LL	PL	PI
Tanah asli	23.89%	17.57%	6.32%
Zeolite 10%	21.48%	18.49%	2.29%
Zeolite 15%	21.07%	19.28%	1.79%

Zeolite 20%	19.90%	19.66%	0.24%
-------------	--------	--------	-------

Hasil pengujian dari batas atterberg ini menunjukkan bahwa nilai indeks plastisitas (PI) menurun, dimana nilai PI ini sangat menentukan klasifikasi potensi pengembangan tanah. Semakin besar nilai PI semakin besar potensi pengembangan tanah tersebut. Namun dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai PI semakin turun maka campuran zeolite terhadap tanah dengan variasi campuran berbeda membuat kondisi tanah menjadi lebih baik meskipun tidak terlalu signifikan.

4.5 Pengujian Berat Isi (*Unit Weight Test*)

Berdasarkan hasil perhitungan, tanah dari Desa Onan Ganjang Pakkat Dolok Sanggul memiliki Berat isi kering 1.222 kg/cm³ dan Berat isi basah sebesar 1.523 kg/cm³ dengan Angka pori sebesar 1.193 dan Porositas sebesar 0.544 dengan Derajat Kejuhan 55.370 %.

4.6 Pengujian Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Tabel 4.6 Hasil perhitungan kuat geser untuk variasi campuran

Nilai kohesi dan sudut geser dalam pada pengujian kuat geser langsung tanah pada setiap penambahan campuran zeolite yang dilakukan dengan pemeraman 45 hari. Hal ini disebabkan pencampuran tanah dengan zeolite akan membentuk suatu reaksi kimia yang mana dengan bertambahnya masa pemeraman dan semakin banyaknya campuran zeolite ditambahkan maka akan mengalami kenaikan nilai sudut geser dan kohesi pada tanah.

4.7 Pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Tabel 4.7 Hasil pengujian kuat tekan bebas dengan zeolite dan waktu pemeraman

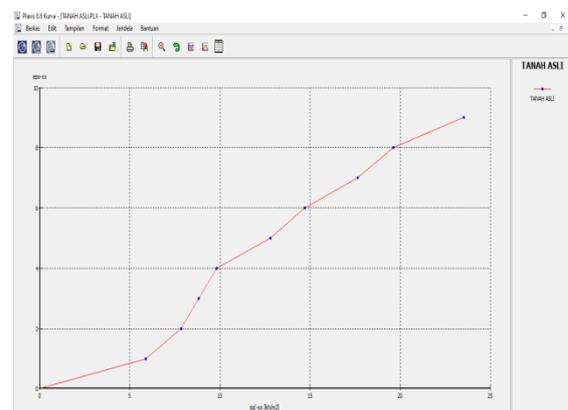
Waktu (hari)	Tanah + zeolite 10%	Tanah + zeolite 15%	Tanah + zeolite 20%
15	0.402 kg/cm ²	0.589 kg/cm ²	0.804 kg/cm ²
30	0.595 kg/cm ²	0.711 kg/cm ²	1.039 kg/cm ²
45	0.700 kg/cm ²	1.115 kg/cm ²	1.690 kg/cm ²

Dari hasil penelitian yang telah bahwa kuat tekan bebas tanah asli yang dicampur dengan zeolite selalu naik. Dengan naiknya kadar campuran zeolite didalam tanah serta lamanya pemeraman. Kenaikan nilai kuat tekan bebas maksimal terjadi pada penambahan zeolite 20% dengan waktu pemeraman 45 hari yaitu 1.690 kg/cm².

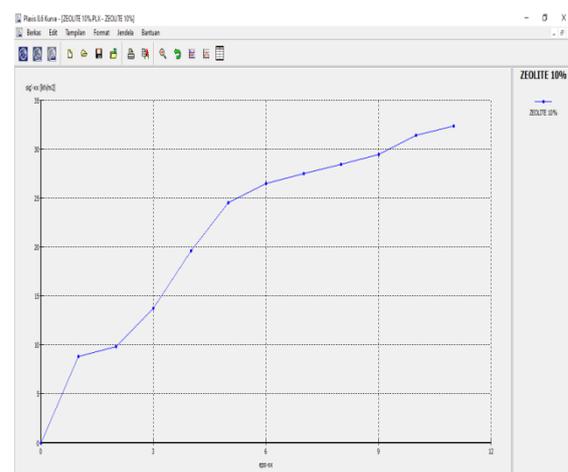
4.8 Pemodelan Plaxis

Parameter-parameter yang digunakan saat pemodelan :

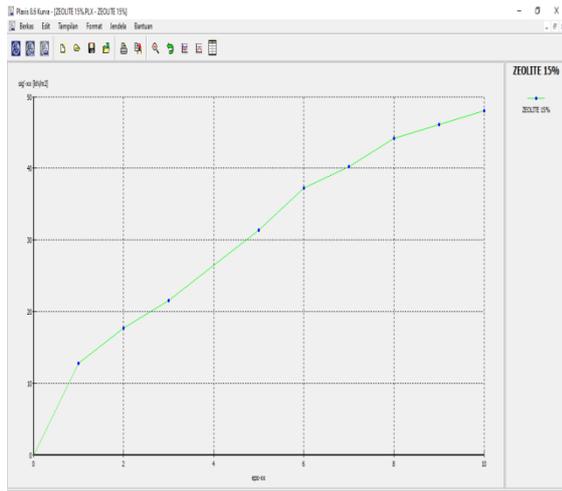
- Berat volume kering (γ_{unsat}) : 11.984 kN/m³
- Berat volume basah (γ_{sat}) : 14.936 kN/m³
- Permeabilitas (k) : 1 m/hari
- Modulus Young (E) : 9806.65 kN/m²
- Kohesi (c) : 5.982 kN/m²
- Angka poisson (ν) : 0,25
- Sudut geser (ϕ) : 23°



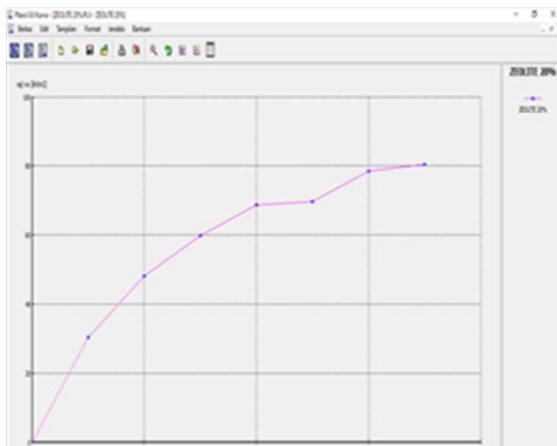
Gambar 4.1 Grafik hubungan tegangan regangan pada tanah asli



Gambar 4.2 Grafik hubungan tegangan regangan pada zeolite 10%



Gambar 4.3 Grafik hubungan tegangan regangan pada zeolite 15%



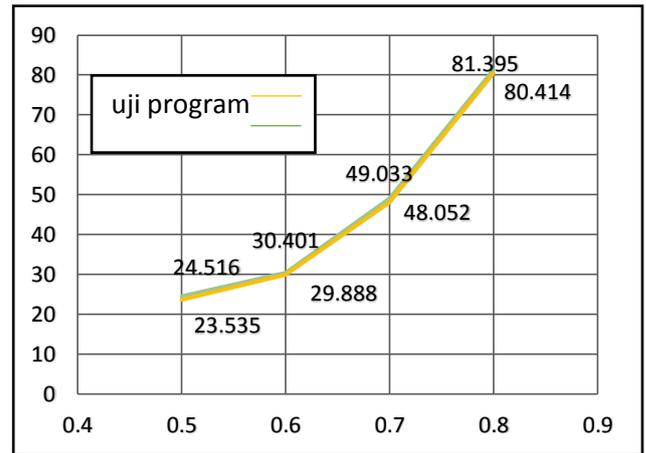
Gambar 4.4 Grafik hubungan tegangan regangan pada zeolite 20%

Gambar grafik diatas menunjukkan hasil dari pemodelan pada program plaxis pada setiap sampel pada kurva dari setiap hasil pemodelan menunjukkan titik runtuh dari setiap hasil pemodelan.

Tabel 4.8 selisih hasil pengujian laboratorium dengan plaxis

Sampel	Hasil uji Laboratorium	Hasil uji program Plaxis	Selisih
Tanah asli	24.516 Kn/m ²	23.535 Kn/m ²	0.981 Kn/m ²
Zeolite 10%	30.401 Kn/m ²	29.888 Kn/m ²	0.513 Kn/m ²
Zeolite 15%	49.033 Kn/m ²	48.052 Kn/m ²	0.981 Kn/m ²
Zeolite 20%	81.395 Kn/m ²	80.414 Kn/m ²	0.981 Kn/m ²

Dari hasil pengujian laboratorium dan plaxis maka didapat juga grafik hasil pengujian. Dan grafik hasil pengujian



Gambar 4.5 Grafik hasil pengujian Laboratorium dengan Plaxis

Maka pengujian Laboratorium dan Plaxis yang didapat dari sampel pada tanah asli dan zeolite dengan kadar campuran 10%, 15%, dan 20% dapat dilihat bahwa hasil pengujian Laboratorium lebih besar dari pada hasil uji Program Plaxis.

5. SIMPULAN

- Berdasarkan klasifikasi AASHTO maka sampel tanah ini termasuk tanah berbutir kasar dengan < 35% lolos saringan No.200 sebesar 20.38% dengan klasifikasi kelompok A-2-4 dengan tipe dominan yaitu pasir belempong atau berlanau. Berdasarkan USCS tanah lolos saringan No.4 sebesar 98.2% maka tanah termasuk tanah Pasir dengan klasifikasi berdasarkan $PI < 0.73$ dan $LL > 20\%$ yaitu Silty Gravel.
- Kadar air pada sampel tanah yang diuji memiliki kadar air rata-rata 24.175% dan setelah dilakukan mixing dengan zeolite kadar air mengalami penurunan sesuai dengan variasi campuran.
- Berat jenis pada sampel tanah yang di uji sebesar 2.680. setelah dilakukan pencampuran dengan zeolite dengan variasi campuran 10%, 15%, dan 20%, berat jenis mengalami perubahan menjadi 2.427, 2.311, 2.251.
- Berdasarkan pengujian berat isi berat isi tanah basah sebesar 1.523 gr/cm² dan berat isi tanah kering 1.222 gr/cm² dengan angka pori sebesar 1.193 dan porositas sebesar 0.544 dengan derajat kejenuhan 55.370% dengan klasifikasi berdasarkan berat isi tanah ini termasuk tanah sangat lembab.
- Dari pengujian kuat geser tanah diperoleh : $\phi = 23^{\circ}4'44.98''$, $C = 0.061$ kg/cm² dan Kuat geser maksimum yang diperoleh sebesar 0.25 kg/cm²

setelah dilakukan pencampuran dengan zeolite sesuai dengan variasi campuran 10%, 15%, 20% dengan variasi pemeraman 15 hari, 30 hari, 45 hari maka diperoleh berturut-turut sebesar 0.31 kg/cm², 0.50 kg/cm², 0.83 kg/cm². Dari hasil penelitian didapat semakin lama waktu pemeraman dan semakin banyak kadar campuran yang digunakan maka nilai sudut gesar dan kohesi serta kuat gesar semakin meningkat. Dan setelah dilakukan pemodelan menggunakan program plaxis dengan parameter-parameter yang diinput berdasarkan hasil pengujian laboratorium didapat nilai tegangan maksimal setelah dikonversi kedalam satuan kg/cm² didapat sebesar 0.814 kg/cm². Dan dari hasil perbandingan antara program plaxis dengan pengujian laboratorium didapat bahwa pengujian laboratorium memiliki nilai lebih besar dengan selisih yang tidak terlalu signifikan sesuai dengan variasi campuran yang digunakan.

- Dari hasil pengujian kuat tekan bebas diperoleh: Q_u pada tanah asli yaitu 0.134 kg/cm² dengan nilai kadar air sampel uji yakni sebesar 24.646% setelah dilakukan pencampuran zeolite dengan variasi campuran sebesar 10%, 15%, dan 20% dengan waktu pemeraman masing-masing 15 hari, 30 hari, dan 45 hari diperoleh nilai Q_u untuk 10% dengan lama pemeraman 15 hari, 30 hari, 45 hari adalah 0.402 kg/cm², 0.595 kg/cm², 0.700 kg/cm², dan untuk 15 % dengan lama pemeraman 15 hari, 30 hari, dan 45 hari adalah 0.589 kg/cm², 0.711 kg/cm², 1.115 kg/cm², dan untuk 20 % dengan lama pemeraman 15 hari, 30 hari, 45 hari adalah 0.804 kg/cm², 1.039 kg/cm², 1.690 kg/cm². Berdasarkan kuat tekan bebas, tanah pada lokasi penelitian termasuk dalam klasifikasi tanah **very soft** dengan Q_u sebesar 0.134 kg/cm² dan setelah dilakukan pencampuran dengan zeolite sebesar 20% dengan lama waktu pemeraman 45 hari maka nilai Q_u tanah meningkat sebesar 1.690 kg/cm² dengan klasifikasi tanah **stiff**. Dari hasil penelitian ini bahwa zeolite dari batuan alam ini mampu memperbaiki sifat karakteristik tanah dan memperbaiki kekuatan dan daya dukung tanah.

6. DAFTAR PUSTAKA

DAS, Braja M, (Translate by Mochtar. N. E and Mochtar I. B), (1995), "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik)" Jilid 2, Jakarta, Penerbit Erlangga.

DAS, Braja M, (1984) " Fundamentals of Soil Dynamics" , Elsevier Science Publishing Co.Inc, New York.

Guy Sangrelat, Gilbert Olivari dan Bernard Cambou (1989), Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, Bagian I dan II, Erlangga.

Joseph E Bowles dan Johan K. Hainim (1989), Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah), Cetakan II Erlangga

L.D Wesley (1973), Mekanika Tanah Terjemahan : Ir A M Luthfi, Pekerjaan Umum, Jakarta

Napitupulu, Ir Janner, Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Darma Agung, 1992, Medan