

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN MATERIAL ADITIF PADA
TANAH TERSTABILISASI ZEOLIT YANG MENGALAMI
SIKLUS BASAH KERING**

***EFFECT OF ADDITIONAL ADDITIVE MATERIALS ON
STABILIZED ZEOLITE SOILS THAT HAVE A DRY WET
CYCLE.***

**TRYANTO CHRISMA RATU
D111 16 533**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PENGARUH PENAMBAHAN MATERIAL ADITIF PADA TANAH
TERSTABILISASI ZEOLIT YANG MENGALAMI SIKLUS BASAH KERING**

Disusun dan diajukan oleh:

TRYANTO CHRISMA RATU

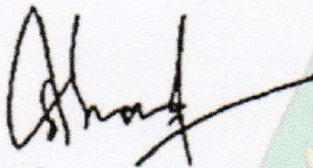
D111 16 533

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 28 Juni 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr.Eng. Tri Harianto, ST, MT
NIP. 197203092000031002



Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST, M.Eng.Sc
NIP. 197607072005011002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tiaronge, ST, M.Eng
Nip. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Tryanto Chrisma Ratu
NIM : D111 16 533
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

Pengaruh Penambahan Material Aditif Pada Tanah Terstabilisasi Zeolit Yang Mengalami Siklus Basah Kering

Adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun. Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, Juli 2021



embuat pernyataan,

TRYANTO CHRISMA RATU.

NIM: D111 16 533

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

Tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari tangan-tangan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun dorongan moril. Olehnya itu, ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ibunda **Tinaba Kilala Mangiwa, SP, M.Si** dan ayahanda **Drs. Israel Ray Ratu, M.Pd** atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun materil karena penulis tidak akan mampu sampai di titik ini jika tanpa nasihat, motivasi dan doa yang tiada hentinya terpanjatkan kepada Tuhan Yesus.
2. Bapak **Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT**. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
3. Bapak **Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**, selaku Ketua dan Bapak **Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T**, selaku Sekretaris Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Bapak **Dr. Eng. Tri Harianto, ST, MT** selaku dosen pembimbing I, atas segala arahan, bimbingan, dan wawasan, serta waktu yang telah diluangkannya dari dan hingga terselesainya tugas akhir ini.
5. Bapak **Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST, M.Eng, Sc** selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, waktu, wawasan, dan pengarahan mulai dari awal hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini.
6. Bapak **Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, M.T** selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin, yang telah memberikan wawasan tambahan selama penulis menjadi asisten laboratorium.
7. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar yang telah banyak membantu dalam mendukung penulisan tugas akhir ini.

8. Saudara tercinta, yaitu **Nasradil Ratu dan Triputra Iwa Ratu** atas segala dukungan selama ini, baik spritual maupun materil karena penulis tidak akan mampu sampai di titik ini jika tanpa nasihat, motivasi, dan doa yang tiada hentinya terpanjatkan kepada Tuhan Yesus.
9. Kepada teman-teman seperjuangan asisten Lab Mekanika Tanah **Thasya Belinda C. L, Nur Muthi'ah** dan **Gary Michel Sarungu** yang selalu menemani di masa-masa sulit, mendukung saat dibutuhkan, membantu dikala susah, dan menjadi penyemangat bagi penulis.
10. Kepada rekan-rekan **PPGT, Pengurus SMGT dan GSM, Kampa Sekret** yang senantiasa mendukung, baik secara spiritual maupun materil sehingga menjadi penyemangat bagi penulis.
11. Rekan-rekan asisten **Laboratorium Mekanika Tanah**, yang senantiasa saling berbagi dan saling bertukar pikiran selama berada di kampus.
12. Keluarga **KMKO SIPIL** terkhusus angkatan 2016 Teknik Sipil yang senantiasa memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
13. Saudara/i **Angkatan 2016 (Patron 2017)**, yang telah memberikan warna selama menjalani perkuliahan di kampus dan memerikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
14. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan, dan dukungan hingga terselesainya skripsi ini.

Tiada imbalan yang dapat diberikan penulis selain memohon kepada Tuhan Yang Maha Kuasa agar melimpahkan berkat-Nya kepada kita semua, Amin. Akhir kata penulis menyadari bahwa di dalam tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan, sehingga dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Gowa, Juni 2021
Hormat saya,

Tryanto Chrisma Ratu

ABSTRAK

Masalah yang sering timbul ketika mendirikan konstruksi di atas tanah adalah sifat-sifat tanah yang buruk. Salah satu pilihan untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan melakukan pengujian stabilisasi tanah baik secara mekanis seperti pemadatan maupun kimiawi seperti metode tanah terstabilisasi bahan aditif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi campuran zeolit dengan tanah terhadap nilai kuat tekan yang mengalami siklus basah kering.

Untuk mengetahui pengaruh penambahan zeolite terhadap nilai kuat tekan, maka dilakukan dengan variasi penambahan zeolit sebesar 1%, 2%, 3%, dan 4%. Tanah asli yang digunakan adalah tanah yang berlokasi disekitar Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Pencampuran tanah dengan zeolite ini dilakukan dalam proses siklus basah-kering sebanyak 2 siklus.

Berdasarkan hasil penelitian di laboratorium, diperoleh bahwa zeolit dapat meningkatkan nilai kuat tekan tanah, dimana nilai kuat tekan tanah yang mengalami siklus basah-kering mengalami kenaikan hingga 1169,16%, yang dicapai dengan variasi penambahan zeolit sebesar 3%. Serta, zeolite berperan sebagai material yang menunjang lempung dalam mengikat molekul air, sehingga sifat kembang-susut tanah lempung dapat diminamilisir.

Kata Kunci : Stabilisasi, Zeolit, UCT, Siklus Basah-Kering

ABSTRACT

The problem that often arises when erecting a construction on the ground is the poor soil properties. One option to overcome this problem is to carry out soil stabilization tests both mechanically, such as compaction and chemistry, such as the additive stabilized soil method.

This study aims to determine the effect of variations in the mixture of zeolite and soil on the compressive strength of the wet-dry cycle.

To determine the effect of zeolite addition on the compressive strength value, the zeolite addition was varied 1%, 2%, 3%, and 4%. The soil used is soil located around Gowa Regency, South Sulawesi. Soil mixing with zeolite was carried out in a wet-dry cycle of 2 cycles.

Based on research in the laboratory, it was found that zeolite can increase the compressive strength of the soil, where the compressive strength of the soil undergoing a wet-dry cycle increased up to 1169.16%, which was achieved by the addition of 3% variation of zeolite. In addition, zeolite acts as a material that supports clay in binding water molecules, so that the swelling and shrinkage properties of clay can be minimized.

Keywords : *Stabilization, Zeolite, UCT, Wet-Dry Cycle*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Batasan Masalah	3
E. Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Karakteristik Tanah Lempung	5
B. Stabilisasi Tanah.....	10
B.1. Stabilisasi Kimiawi	11
B.2. Stabilisasi Mekanis	12
C. Zeolit	13
D. Kuat Tekan Bebas.....	17
E. Pembasahan dan Pengeringan.....	18
F. Penelitian Terdahulu	19
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	25
A. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	25

B. Metode Pengumpulan Data	25
C. Kerangka Alir Penelitian	26
D. Standar Pengujian.....	28
E. Material	28
E.1. Tanah Asli.....	28
E.2. Zeolit.....	29
F. Pengujian Tanah.....	29
F.1. Uji Sifat Fisis.....	29
F.2. Uji Sifat Mekanis.....	29
G. Rancangan Komposisi Campuran.....	30
H. Pembuatan Benda Uji	31
H.1. Cetakan Benda Uji.....	31
H.2. Proses Pencampuran Benda Uji.....	32
H.3. Proses Pencetakan Benda Uji	33
I. Proses Pengeringan dan Pembasahan Benda Uji	34
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
A. Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli.....	35
A.1. Karakteristik Sifat Fisis Tanah	35
A.2. Karakteristik Sifat Mekanis Tanah	41
B. Pengaruh Penambahan Zeolit terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas ..	45
B.1. Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah terstabilisasi Zeolit yang mengalami Siklus Basah-Kering.....	47
BAB 5. PENUTUP	53
A. Kesimpulan	53
B. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Aktivitas Tanah Lempung.....	8
Tabel 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Kuat Tekan Bebas	17
Tabel 3. Standar pengujian fisis dan mekanis berdasarkan ASTM.....	28
Tabel 4. Variasi Persentase Komposisi Bahan Stabilisasi	31
Tabel 5. Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya	40
Tabel 6. Klasifikasi Keandalan Tanah Berdasarkan AASHTO.....	41
Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli	45
Tabel 8. Rekapitulasi Nilai Kuat Tekan Bebas untuk Tiap Variasi.....	46
Tabel 9. Nilai Kuat Tekan Bebas dengan Konsistensi Tanah terhadap Variasi Campuran akibat Siklus Basah-Kering	47
Tabel 10. Rasio Kenaikan Nilai Kuat Tekan Tanah dengan Variasi Campuran yang mengalami Siklus Basah-Kering.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagan Alir Penelitian.....	27
Gambar 2. Tanah Asli	28
Gambar 3. Zeolit (ukuran < 0,075 mm).....	29
Gambar 4. Dimensi Cetakan Benda Uji	32
Gambar 5. Proses Pencampuran Benda Uji	33
Gambar 6. Proses Pencetakan Benda Uji	33
Gambar 7. Grafik Gradasi Butiran.....	36
Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Batas Cair	37
Gambar 9. Penggolongan Klasifikasi Tanah Asli Menurut Sistem USCS	39
Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Kadar Air dengan Berat Isi Kering Pada Tanah Asli.....	42
Gambar 11. Grafik Hubungan Antara Tegangan dengan Nilai Regangan Pada Tanah Asli.....	44
Gambar 12. Rekapitulasi Nilai Kuat Tekan terstabilisasi Zeolit.....	46
Gambar 13. Grafik Hubungan Nilai Kuat Tekan Bebas dengan Variasi Campuran dalam Kondisi Kering	48
Gambar 14. Grafik Hubungan Nilai Kuat Tekan Bebas dengan Variasi Campuran dalam Kondisi Basah.....	49
Gambar 15. Grafik Perbandingan Nilai UCT Terstabilisasi dan Nilai UCT Tanah Asli dengan Variasi Campuran yang mengalami Siklus-Basah Kering	50

Gambar 16. Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan Bebas dengan Variasi
Siklus Basah-Kering pada Tanah terstabilisasi Zeolite 51

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan negara yang terdiri dari beberapa pulau dan merupakan salah satu negara kepulauan terluas. Sehingga luas area dataran rendahnya lebih dominan. Pada umumnya suatu pembangunan konstruksi dilakukan di daerah dataran rendah, dikarenakan memiliki kemudahan akses untuk membangun.

Suatu konstruksi atau bangunan dapat berdiri dengan kokoh bila ditunjang dengan daya dukung tanah yang memenuhi syarat keamanan. Masalah yang sering timbul ketika mendirikan konstruksi di atas tanah adalah sifat-sifat tanah yang buruk seperti kembang susut yang tinggi, daya dukung tanah yang kurang dan beberapa sifat-sifat tanah lainnya. Maka dalam perencanaan, konstruksi besarnya pengaruh tanah perlu diperhitungkan secara matang.

Oleh karena itu untuk mengatasi sifat-sifat tanah yang buruk perlu dilakukan langkah yang efektif agar tanah tersebut nantinya menjadi tempat pondasi untuk berdiri. Salah satu pilihan untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan melakukan pengujian stabilisasi

tanah baik secara mekanis seperti pemadatan maupun kimiawi seperti metode tanah terstabilisasi bahan aditif.

Berdasarkan uraian diatas maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul: **“PENGARUH PENAMBAHAN MATERIAL ADITIF PADA TANAH TERSTABILISASI ZEOLIT YANG MENGALAMI SIKLUS BASAH-KERING”**

B. Rumusan Masalah

Beberapa rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik tanah lempung yang digunakan pada penelitian?
2. Bagaimana pengaruh variasi campuran zeolit dengan tanah terhadap nilai kuat tekan yang mengalami siklus basah kering?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini ialah:

1. Mengetahui karakteristik tanah lempung yang digunakan pada penelitian.
2. Mengetahui pengaruh variasi campuran zeolit dengan tanah terhadap nilai kuat tekan yang mengalami siklus basah kering.

D. Batasan Masalah

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka penelitian dibatasi pada:

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung.
2. Pengujian dilakukan terhadap variasi zeolit.
3. Penelitian ini hanya meneliti sifat-sifat fisis dan mekanis, dan tidak meneliti unsur kimia tanah tersebut.
4. Sifat fisis dan mekanis yang dianalisis ialah:
 - Pengujian berat jenis
 - Pengujian kadar air
 - Pengujian batas-batas atterberg
 - Pengujian Analisa saringan dan hidrometer
 - Pengujian pemadatan (kompaksi)
 - Pengujian Kuat Tekan Bebas (UCT)
5. Bahan stabilisasi yang digunakan adalah zeolit.
6. Persentase berat stabilisator adalah terhadap berat tanah dengan kadar air mula-mula.

E. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan lebih terarah dan tetap menjurus pada pokok permasalahan dan kerangka isi. Dalam tugas

akhir ini sistematika penulisan disusun dalam lima bab yang secara berurutan menerangkan hal-hal sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori - teori dan tinjauan umum yang digunakan untuk membahas dan menganalisa tentang permasalahan dari penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta cara pengolahan data hasil penelitian. Termasuk juga kerangka alir penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menerangkan tentang kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Karakteristik Tanah Lempung

Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm. Lempung sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung, dan mineral-mineral yang sangat halus lain. (Das, 1995).

Sifat dan perilaku lempung menurut (Hardiyatmo, 1999) terlihat pada ukuran butirannya yang halus, sifat permeabilitas yang rendah, kenaikan air kapiler yang tinggi, kadar kembang susut yang tinggi, perlawanan geser bersifat kohesif serta proses konsolidasi yang lambat.

Tanah lempung memiliki sifat yang khas yaitu apabila dalam keadaan kering dia akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. (Bowles J. E., 1991)

Sedangkan untuk jenis tanah lempung lunak mempunyai karakteristik yang khusus diantaranya daya dukung yang rendah, kemampatan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi, kadar air yang relatif tinggi dan mempunyai gaya geser yang kecil.

Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi perlu diketahui mineral yang terkandung didalamnya. (ASTM D-653) memberikan batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah partikel yang berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm. Jika dilihat dari segi mineral (bukan ukurannya), yang disebut tanah lempung ialah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang “menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air” (Grim, 1953).

Mineral tanah lempung sebagian besar adalah silikat dari aluminium dan/atau besi dan magnesium. Beberapa di antaranya juga mengandung alkali dan/atau alkali tanah sebagai komponen penting. Mineral-mineral ini sebagian besar berbentuk kristal sehingga atom-atom penyusunnya tersusun dalam pola geometri tertentu. (Das, 1995)

Ada beberapa hal istilah yang perlu dibedakan dalam mempelajari mengenai lempung yaitu:

- 1) Penggunaan istilah ukuran lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi dalam ukuran partikel, yang biasanya berukuran $< 2 \mu\text{m}$.
- 2) Penggunaan istilah mineral lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi ukuran mineral. Ukuran mineral ini lebih spesifik, kadang-kadang ukuran mineral ini $< 2 \mu\text{m}$ dan dapat pula $> 2 \mu\text{m}$, meskipun pada umumnya $< 2 \mu\text{m}$.

Menurut (Bowles J. E., 1989), mineral-mineral pada tanah lempung umumnya memiliki sifat-sifat:

1. Hidrasi.

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut sebagai air teradsorpsi. Lapisan ini pada umumnya mempunyai tebal dua molekul karena itu disebut sebagai lapisan difusi ganda atau lapisan ganda. Lapisan difusi ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60 sampai 100 C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

2. Aktivitas.

Hasil pengujian index properties dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Hardiyatmo (2006) merujuk pada Skempton (1953) mendefinisikan aktivitas tanah lempung sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (IP) dengan prosentase butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm yang dinotasikan dengan huruf C, disederhanakan dalam persamaan:

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{Indeks Plastisitas}}{c}$$

Untuk nilai $A > 1,25$ digolongkan aktif dan sifatnya ekspansif. Nilai $1,25 < A < 0,75$ digolongkan normal sedangkan nilai $A < 0,75$ digolongkan tidak aktif. Aktivitas juga berhubungan dengan kadar air potensial relatif. Nilai-nilai khas dari aktivitas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Aktivitas Tanah Lempung

Minerologi tanah lempung	Nilai Aktivitas
Kaolinite	0,4 - 0,5
Illite	0,5 – 1,0
Montmorillonite	1,0 – 7,0

Sumber : Skempton, 1953

3. Flokulasi dan Dispersi

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkristal maka daya negatif netto, ion-ion H^+ dari air gaya Van der Waals dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flok (*flock*) yang berorientasi secara acak atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya membentuk sedimen yang lepas. Flokulasi adalah peristiwa penggumpalan partikel lempung di dalam larutan air akibat mineral lempung umumnya mempunyai $pH > 7$. Flokulasi larutan dapat dinetralkan dengan

menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H^+), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Untuk menghindari flokulasi larutan air dapat ditambahkan zat asam.

4. Pengaruh Zat Cair

Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas Atterberg, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi.

Air yang berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negative pada ujung yang berbeda (dipolar). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida (CCl_4) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

5. Sifat kembang susut (*swelling potensial*)

Plastisitas yang tinggi terjadi akibat adanya perubahan sistem tanah dengan air yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan gaya-gaya didalam struktur tanah. Gaya tarik yang bekerja pada partikel yang berdekatan yang terdiri dari gaya

elektrostatik yang bergantung pada komposisi mineral, serta gaya van der Waals yang bergantung pada jarak antar permukaan partikel. Partikel lempung pada umumnya berbentuk pelat pipih dengan permukaan bermuatan listrik negatif dan ujung-ujungnya bermuatan positif. Muatan negatif ini diseimbangkan oleh kation air tanah yang terikat pada permukaan pelat oleh suatu gaya listrik. Sistem gaya internal kimia-listrik ini harus dalam keadaan seimbang antara gaya luar dan hisapan matrik. Apabila susunan kimia air tanah berubah sebagai akibat adanya perubahan komposisi maupun keluar masuknya air tanah, keseimbangan gaya-gaya dan jarak antar partikel akan membentuk keseimbangan baru. Perubahan jarak antar partikel ini disebut sebagai proses kembang susut.

B. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan tindakan mengubah sifat-sifat asli dari pada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi. Menurut (Darwis, 2017) stabilisasi tanah adalah suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan dan/atau mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah, agar selalu memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan.

Secara garis besar, jika ditinjau dari mekanisme global yang terjadi pada tindakan stabilisasi tanah, maka klasifikasi tindakan stabilisasi tanah dapat dibedakan atas dua macam, yakni :

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan additive (kimiawi), pencampuran tanah (*re-gradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik).
2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut.

Dari kedua pengklasifikasian di atas, terlihat korelasi antara keduanya, bahwa :

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*), relevan dengan stabilisasi kimia dan stabilisasi fisik.
2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*), relevan dengan stabilisasi mekanis.

B.1. Stabilisasi Kimiawi

Stabilisasi kimiawi merupakan metode perbaikan tanah dengan menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya, yang akan

menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik. (Darwis, 2017)

Jenis tanah yang lebih banyak diperbaiki melalui metode kimiawi biasanya adalah jenis tanah berbutir halus (*fine soil*), namun tidak jarang perbaikan tanah dengan metode kimia terhadap tanah berbutir kasar (*granuler soil*), seperti perbaikan sifat permeabilitas tanah berpasir yang digunakan pada bangunan yang membutuhkan sifat yang lebih kedap air.

Batasan yang perlu diperhatikan di dalam penerapan perbaikan tanah dengan metode kimia, adalah sifat-sifat reaksi kimia yang terjadi antara mineral tanah dengan zat kimia yang dikandung oleh bahan stabilizer. (Darwis, 2017)

Bahan untuk stabilisasi tanah secara kimia cukup banyak, namun yang sudah sering dilakukan adalah penggunaan semen, kapur, dan larutan kimia yang diinjeksikan ke dalam lapisan tanah. (Panguriseng, 2001)

B.2. Stabilisasi Mekanis

Memperbaiki satu bahan dengan memadukannya dengan satu atau lebih banyak bahan granular lainnya disebut stabilisasi mekanis (Hicks, 2002). Karena keberadaan material sisipan ke dalam lapisan tanah inilah, sehingga stabilisasi mekanis diistilah sebagai “perkuatan tanah (soil reinforcement). Tanah perkuatan adalah lapisan tanah yang telah diberikan material sisipan yang mampu membentuk suatu sistem yang

dapat bekerja sebagai satu kesatuan, sehingga kemampuan dari sistem tersebut menjadi jauh lebih besar atau lebih optimal daripada kemampuan awal dari lapisan tanah tersebut. Secara garis besar perkuatan tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan tujuan utama dari tindakan perkuatan, yakni :

1. Perkuatan tanah dasar (bearing capacity reinforcement).
2. Perkuatan dinding penahan (retaining wall reinforcement)

C. Zeolit

Zeolit telah dikenali selama lebih dari 200 tahun, tetapi di pertengahan abad kedua puluh baru menjadi perhatian yang menarik bagi para ilmuwan dan insinyur yang mendemonstrasikan pentingnya teknologi mereka di beberapa bidang (Cincotti, 2006).

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino-silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensinya. Struktur dari zeolit terdiri dari tetrahedral $TO_{4/2}$ (T = Si, Al, Zn, P, Ga, Ge, B, Be, dan lain-lain) unit bagian utama, dimana setiap atom oksigen berkaitan dengan dua atom tetrahedral (Ogawa, 2017),

Zeolit mempunyai sifat-sifat kimia, diantaranya :

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi zeolit berpengaruh terhadap sifat serapannya. Keunikan zeolite terletak pada struktur porinya yang spesifik. Pada zeolit alam didalam pori-porinya terdapat kation-kation atau molekul air. Bila kation-kation atau molekul air tersebut dikeluarkan dari dalam pori dengan suatu perlakuan tertentu maka zeolit akan meninggalkan pori yang kosong. (Barrer, 1982)

2. Penyerapan

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air yang berada disekitar kation. Bila zeolit dipanaskan maka air tersebut akan keluar. Zeolit yang telah dipanaskan dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan (Khairinal, 2000)

3. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari sifat kation, suhu, dan jenis anion (Bambang P, 1995).

4. Katalis

Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi karena mampu menaikkan perbedaan lintasan molekular dari reaksi. Katalis berpori dengan pori-pori sangat kecil akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk. Selektivitas molekular seperti ini disebut molecular sieve yang terdapat dalam substansi zeolit alam (Bambang P, 1995)

5. Penyaring/pemisah

Zeolit sebagai penyaring molekul maupun pemisah didasarkan atas perbedaan bentuk, ukuran, dan polaritas molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan zeolit mempunyai ruang hampa yang cukup besar. Molekul yang berukuran lebih kecil dari ruang hampa dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar dari ruang hampa akan ditahan (Bambang P, 1995)

Menurut (Susanto, 2015) adapun mekanisme kerja *zeolite* secara kimiawi pada tanah lempung, antara lain :

- 1) Lempung terdiri dari partikel mikroskopik yang berbentuk plat yang mirip lempengan-lempengan kecil dengan susunan yang beraturan, mengandung ion (+) pada bagian muka/datar dan ion (-) pada bagian tepi platnya. Dalam kondisi kering, ikatan antara tepi plat

cukup kuat menahan lempung dalam satu kesatuan, tetapi bagian tersebut sangat mudah menyerap air.

- 2) Karena komposisi mineraloginya, pada saat turun hujan, plat yang memiliki kelebihan ion negatif (anion) akan menarik ion positif (kation) air yang akan menyebabkan air tersebut menjadi air pekat yang melekat dan juga sekaligus sebagai perekat antara partikel satu dengan partikel lainnya dan tak hilang meski tanah lempung dalam kondisi kering sekalipun. Ini merupakan sifat alamiah dari tanah lempung yang mudah mengembang dan menyusut. Hal ini menyebabkan tanah lempung sulit digunakan untuk konstruksi.
- 3) Dengan komposisi kimianya, Zeolit memiliki kemampuan yang sangat besar untuk melakukan sebagai penukar kation (*cation exchangers*), dan pengikat air. Pada saat Zeolit dijadikan bahan campuran tanah, Zeolit akan dapat mengikat molekul H₂O sehingga sebagian besar molekul tersebut tidak bercampur dengan tanah, sehingga pada saat kondisi panas molekul H₂O akan dilepaskan oleh Zeolit sehingga pada saat tanah menjadi kering molekul H₂O tidak tertahan di dalam tanah.

Pada zaman sekarang ini zeolit juga banyak dimanfaatkan dibidang konstruksi sebagai bahan *additive*, adapun keuntungan pemakaian zeolit sebagai bahan campuran stabilisasi tanah yaitu 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 atas nya, untuk mengetahui pengaruh zeolit terhadap tanah lempung biasanya dilakukan pengujian mekanis seperti pengujian kuat tekan bebas dan kuat geser langsung.

D. Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas merupakan pengujian yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berkaitan dengan stabilisasi tanah. Kuat tekan bebas adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%.

Hasil atau output dari pengujian kuat tekan bebas berupa nilai q_u . Besar kecilnya nilai q_u dapat menentukan sifat konsistensi tanah. Berikut merupakan tabel konsistensi nilai kuat tekan bebas yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Kuat Tekan Bebas

Sifat Tanah	Unconfined Compression Test (kg/cm ²)	Unconfined Compression Test (MPa)
Very Soft (sangat lunak)	< 0,25	<0,025
Soft (lunak)	0,25-0,50	0,025-0,05
Firm/Medium (tengah)	0,50-1,00	0,05-0,1
Stiff (kaku)	1,00-2,00	0,1-0,2
Very Stiff (sangat kaku)	2,00-4,00	0,2-0,4
Hard (keras)	> 4,00	>0,4

Sumber : (Das, 1994)

Nilai kuat tekan bebas (Unconfined compressive strength), q_u didapat dari pembacaan proving ring dial yang maksimum.

$$q_u = \frac{kxR}{A}$$

Dimana :

q_u = kuat tekan bebas.

k = kalibrasi proving ring.

R = pembacaan maksimum – pembacaan awal.

A = luas penampang contoh tanah pada saat pembacaan R

E. Pembasahan dan Pengerinan

Proses pembasahan adalah tahap dimana terjadinya peningkatan kadar pori – pori tanah. Sedangkan Proses pengeringan adalah tahap dimana kondisi kadar air dalam pori – pori mengalami penurunan. Perubahan cuaca membuat mengakibatkan terjadinya siklus pembasahan dan pengeringan secara berulang sehingga tanah akan mengalami perubahan volume tanah akibat perubahan kadar air. Hal ini menyebabkan perubahan tekanan air pori.

Secara alamiah, siklus pengeringan dan pembasahan yang berulang secara terus menerus sepanjang waktu akan mengakibatkan

terjadinya perubahan pada kekuatan tanah. Proses pengeringan (drying) merupakan suatu kondisi dimana kadar air di dalam suatu pori tanah mengalami penurunan. Sebaliknya, proses pembasahan (wetting) merupakan suatu kondisi dimana terjadi peningkatan kadar air di dalam pori suatu massa tanah (Hardiyatmo C. H., 1999)

(Maekawa dan Miyakita, 1991) mengatakan bahwa jumlah siklus pengeringan dan pembasahan berulang akan mengurangi kekuatan geser tanah, sampai pada jumlah siklus tertentu. Proses pembasahan, kuat tekan (q_u) akan menurun seiring dengan kenaikan kadar air (w_c) dan sebaliknya pada proses pengeringan, kuat tekan (q_u) akan naik seiring dengan penurunan nilai kadar airnya.

F. Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian terdahulu mengenai pengaruh stabilisasi tanah dengan penambahan zeolit serta perlakuan siklus basah kering telah dilakukan. Seperti yang dilakukan oleh:

1. (Hendrikus E. L., 2014) : Pengaruh Siklus Basah – Kering terhadap Kekuatan Geser dan Ekspansivitas Campuran Kaolin – Montmorillonit – Pasir.

Penelitian ini ditujukan untuk mempelajari efek siklus basah-kering terhadap perilaku tanah lempung ekspansif yang distabilisasi pasir. Perilaku yang ditinjau adalah kekuatan geser

dan potensi pengembangan. Tanah yang digunakan adalah tanah artifisial yang dibentuk dari bentonit, kaolin, dan pasir. Pasir yang digunakan adalah pasir bergradasi baik. Ada dua variasi yang dilakukan dalam penelitian ini, yakni variasi jumlah siklus basah-kering dan variasi kadar mineral lempung. Kadar pasir ditetapkan sebesar 20% terhadap massa kering tanah. Pembentukan tanah artifisial dilakukan pada kondisi kadar air optimum, kemudian siklus basah-kering dilakukan pada tanah artifisial sebelum diuji. Beberapa pengujian dilakukan pada sampel ini, meliputi pengujian terhadap batas plastisitas, berat jenis, parameter pemadatan, distribusi ukuran butir pasir, dan kandungan mineral tanah. Melalui pengujian diperoleh hasil bahwa penambahan pasir sebesar 20% pada tanah ekspansif tidak mencegah penurunan kekuatan geser tak teralir, namun mereduksi potensi pengembangan. Dapat disimpulkan bahwa penambahan pasir hanya efektif untuk mencegah pengembangan dibandingkan untuk meningkatkan kuat geser tanah lempung ekspansif akibat siklus berulang basah-kering.

2. (Iqbal, 2015): Korelasi Kuat Tekan Bebas dengan Kuat Geser Langsung pada Tanah Lempung yang dicampur dengan Zeolit. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pencampuran antara zeolit dan tanah lempung terhadap kuat

tekan dan kuat geser tanah. Hal ini dilakukan karena jika mendirikan struktur di atas tanah lempung akan menimbulkan beberapa permasalahan, antara lain kecilnya nilai kuat tekan dan nilai kuat geser pada tanah tersebut. Oleh karena itu, sebelum dilakukan pembangunan struktur diatas tanah tersebut, perlu dilakukan stabilisasi tanah. Pada penelitian ini dilakukan stabilisasi tanah dengan menggunakan campuran antara zeolit dan tanah lempung. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dilihat peningkatan nilai kuat tekan tanah lempung sebesar 94,5% yaitu dari 0,2975 kg/cm² menjadi 0,5787 kg/cm², dan peningkatan nilai kohesi tanah sebesar 54,17% dari 0,24 kg/cm² menjadi 0,36 kg/cm², serta peningkatan nilai kuat geser maksimum sebesar 43,89% dari 0,4754kg/cm² menjadi 0,6481 kg/cm², Setelah tanah dicampurkan dengan zeolit pada penambahan maksimal 10%. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan, kuat tekan serta kuat geser tanah semakin meningkat seiring ditambahkannya persentase campuran zeolit, meskipun peningkatan yang terjadi pada nilai kuat tekan bebas dan kuat geser langsungnya tidak sama besar.

3. (Wardani, 2017) : Pengaruh Siklus Basah Kering Pada Sampel Tanah Terhadap Nilai Atterberg Limit.

Didalam penelitian ini diambil tanah lempung yang plastisitas tinggi (CH) dan plastisitas rendah (CL), dimana kedua tanah ini akan di berikan perilaku siklus basah kering berulang dengan pembasahan yaitu penambahan kadar air 40% dan kadar air 60%, untuk pengeringannya yaitu dengan tiga metode diantaranya metode kering udara, metode oven 110° dan metode 60°. Dengan hal itu, penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh siklus basah kering berulang terhadap nilai parameter Atterberg Limit. Dimana batas Atterberg Limit diperkenalkan oleh Albert Atterberg pada tahun 1911 dengan tujuan untuk mengklasifikasikan tanah berbutir halus dan menentukan sifat indeks property tanah, pengujiannya meliputi batas cair (LL), batas plastis (PL), dan batas susut (SL). Dalam menentukan batas Atterberg Limit ini proses pengujian menggunakan metode BS1377 : 1990 dan metode ASTM D423-66. Pada proses siklus basah kering terhadap nilai parameter Atterberg Limit tanah lempung ditunjukkan perbedaan hasil nilai batas cair (LL), batas plastis (PL). Dari tiga metode pengeringan pada siklus basah kering, nilai batas cair (LL) tertinggi didapatkan pada metode oven 60° sebesar 60,577%, diikuti oleh nilai batas cair (LL) dengan metode kering udara sebesar 36,211%, dan nilai batas cair (LL) terkecil didapatkan pada metode oven 110° sebesar -15,647%. Sedangkan untuk nilai batas plastis (PL),

nilai tertinggi didapatkan pada metode oven 110° sebesar 19,107%, diikuti metode oven 60° dengan nilai batas plastis (PL) sebesar 13,319%, dan nilai batas plastis (PL) terendah didapatkan pada metode kering udara dengan nilai sebesar - 26,402%.

4. (Parapaga R. T., 2018): Pengaruh Penambahan Zeolit terhadap Kuat Geser pada Tanah Berlempung.

Penelitian ini menggunakan zeolite sebagai bahan stabilisasi, yaitu mencampur zeolite dengan tanah yang digunakan, dengan variasi campuran 5%, 10%, 15% dan 20% zeolite terhadap berat contoh tanah. Tujuannya untuk meningkatkan kuat geser pada tanah yang diteliti. Berdasarkan hasil penelitian, penambahan zeolite memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat geser. Kuat geser mula-mula 0,128 kg/cm² atau 0,013 MPa berubah menjadi 0,546 kg/cm² atau 0,055 MPa dengan variasi campuran 20% zeolite. Variasi penambahan 20% zeolite memberikan hasil yang paling besar dibandingkan 5%, 10% dan 15% zeolit. Semakin besar jumlah zeolit yang digunakan semakin besar pula pengaruh yang diberikan.

5. (Halim A. M., 2019) : Studi Modulus Elastisitas Tanah Dasar Perkerasan Jalan Akibat Siklus Basah Kering.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh siklus basah kering terhadap nilai modulus elastisitas tanah dasar serta pengaruh perubahan nilai modulus elastisitas terhadap umur rencana perkerasan jalan. Penelitian di laboratorium digunakan percobaan Unconfined Compression Test menggunakan sampel basah dan kering masing-masing dalam tiga siklus secara bergantian. Dalam menentukan umur rencana perkerasan jalan maka digunakan program KENPAVE. Dari hasil penelitian didapatkan hasil bahwa nilai modulus elastisitas tertinggi didapatkan pada siklus kering pertama dan terendah ialah siklus basah ketiga. Sementara dari hasil program KENPAVE menunjukkan umur rencana terlama didapatkan pada siklus kering pertama dan terendah ialah pada siklus basah pertama. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa nilai modulus elastisitas sangat berpengaruh pada umur rencana sehingga dapat menjadi salah satu pertimbangan dalam desain perkerasan jalan.