

**TUGAS AKHIR**

**EFEK PENAMBAHAN ZEOLIT PADA MODULUS ELASTISITAS  
TANAH LATERIT**

***THE EFFECT OF ZEOLITE IN ELASTICITY MODULUS OF  
LATERITE SOIL***

**ACHMAD WIRAWAN YADIN  
D111 16 503**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2020**



**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)****EFEK PENAMBAHAN ZEOLIT PADA MODULUS ELASTISITAS  
TANAH LATERIT****Disusun dan diajukan oleh:****ACHMAD WIRAWAN YADIN****D111 16 503**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 22 Januari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan


menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
**Dr. Eng. Ardy Arsvad, ST, M.Eng.Sc**  
NIP: 197607072005011002  
**Sitti Hijraini Nur, ST, MT**  
NIP: 197711212005012001

Ketua Program Studi,

  
**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**  
Nip. 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Achmad Wirawan Yadin  
NIM : D111 16 503  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

### **Efek Penambahan Zeolit Pada Modulus Elastisitas Tanah Laterit**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 20 Mei 2020



menyatakan,

Achmad Wirawan Yadin

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah *Subhanahu Wata'ala* karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **Efek Penambahan Zeolite Pada Modulus Elastisitas Tanah Laterit**. Tak lupa kami kirimkan shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad *Shallallahu Alaihi Wasallam* sebagai idola terbaik sepanjang zaman serta para sahabat dan keluarga beliau dan orang-orang yang senantiasa istiqomah di jalan Islam ini.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan studi strata satu pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam proses penyusunan skripsi ini, tidak dapat dipungkiri banyaknya kesulitan yang dihadapi oleh penulis. Namun, dengan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, penulis pun mampu menghadapi kesulitan tersebut.

Selanjutnya dalam penyusunan skripsi ini, penulis tak lupa menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada berbagai pihak yang telah membantu baik secara materil maupun moril, khususnya kepada :

1. Kepada Ayahanda tercinta dr. Nuryadin Latief dan Ibunda tercinta Murtiani. P dan saudari-saudari saya Winda Zafitri Yadin dan Khusnul Khotimah Yadin, atas kasih sayang yang diberikan kepada saya dan atas bantuan serta dukungan baik secara moral maupun materi.
2. Bapak Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M. Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Bapak Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc. selaku pembimbing 1 dan Ibu Sitti Hijraini Nur, S.T., M.T., selaku pembimbing 2, yang telah meluangkan waktu serta memberikan bimbingan, saran, dan nasihat mulai dari awal penelitian hingga penyelesaian tugas akhir ini.
5. Pramudyo Bayu Pamungkas, S.T., atas segala kesabaran dan waktu yang diluangkan untuk memberikan bimbingan dan pengarahan hingga terselesainya penulisan ini.
6. Dosen dan staf pengajar, serta pegawai Departemen Teknik Sipil yang telah memberikan segala ilmu pengetahuan dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses perkuliahan.
7. Tim sukses penelitian yang telah membantu dalam penelitian ini terkhususnya bapak Marthen M. Tangkeallo yang telah mengizinkan saya untuk membantu dalam penelitiannya

8. Rea Thalia Salsabila, S.Ked. atas segala kesabaran dan waktu yang diluangkan untuk memberikan semangat dan motivasi hingga terselesainya penulisan ini.
9. Afdhal Refsi Negara, S.T. yang telah telah banyak memberikan dukungan serta menjadi sarana diskusi yang luar biasa.
10. Kintan Umari B, S.T., Hasrianti, S.T., dan Dandi Jumadi, S.T., yang telah membantu dalam proses pengambilan dan pengolahan data selama penelitian ini.
11. Muhammad Rifqi D, S.T., yang telah memberikan pengalaman dan pengetahuan berharga kepada penulis
12. Kepada teman-teman PATRON 2017, yang telah kebersamai selama menempuh perkuliahan.
13. Teman-teman pengurus HMS FT-UH Periode 2019, yang telah memberi warna dan drama dalam perjalanan perkuliahan saya.
14. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

Gowa, 20 Mei 2020

Achmad Wirawan Yadin

**THE EFFECT OF ZEOLITE IN ELASTICITY MODULUS OF  
LATERITE SOIL**

**ACHMAD WIRAWAN YADIN**

D111 16 503

Bachelor Degree Student of Civil Engineering Study Program  
Faculty of Engineering, Hasanuddin University  
Poros Malino Street Km 6  
Bontomarannu, Gowa 92172, South Sulawesi, Indonesia  
Email: achmdwrwn@gmail.com

**Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc**

**Sitti Hijraini Nur, S.T., M.T**

**ABSTRACT**

Soil is the very influential material in the construction work, includes laterite soil. This soil contains clay minerals which are relative high, thus the potential of damage relatively high if we conducted construction work on it. Bearing capacity of soil is the important parameter to measure soil stability as base soil. Observing that soil condition, then on this research, the researcher tried to improve the characteristic of soil by adding the additive material that is zeolite. The soil samples which are used on this research were from North Toraja regency. Then, this research will observe about the effect of zeolite in elasticity modulus of laterite soil. The variation of zeolite mixture are 4%, 8%, 12%, 16%, and 20% from the original soil weight. From the observation was obtained the result in elasticity modulus of laterite soil value as amount of 4954 kN/m<sup>2</sup>. The result of testing toward the observation in elasticity modulus value after adding zeolite occurs the increasing value, that is when adding 4%, 8%, 12%, 16%, and 20% zeolite where the elasticity modulus values increase as in a row to be 5232 kN/m<sup>2</sup>, 5307 kN/m<sup>2</sup>, 5535 kN/m<sup>2</sup>, 5687 kN/m<sup>2</sup>, and 6066 kN/m<sup>2</sup>. This result shows that the adding of zeolite can increase the stability of laterite soil and along with the increasing of aging time, then elasticity modulus of soil also be more increasing.

**Keywords:** Laterite Soil, Stabilization Zeolite, Elasticity Modulus

## EFEK PENAMBAHAN *ZEOLITE* PADA MODULUS ELASTISITAS TANAH LATERIT

**ACHMAD WIRAWAN YADIN**

D111 16 503

Mahasiswa S1 Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Jl. Poros Malino Km. 6  
Bontomarannu, Gowa 92172, Sulawesi Selatan  
Email: achmdwrwn@gmail.com

**Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc**

**Sitti Hijraini Nur, S.T., M.T**

### ABSTRAK

Tanah merupakan material yang sangat berpengaruh pada pekerjaan konstruksi, termasuk tanah laterit. Tanah ini mengandung mineral-mineral lempung yang cukup tinggi, sehingga potensi kerusakannya relative besar jika dilakukan pekerjaan konstruksi. Daya dukung tanah merupakan parameter yang penting sebagai tolak ukur stabilitas tanah sebagai tanah dasar. Melihat kondisi tanah seperti itu maka pada penelitian ini, peneliti mencoba untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan suatu bahan aditif berupa *zeolite*. Sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Kabupaten Tana Toraja Utara. Penelitian perbaikan tanah ini selanjutnya akan mengamati tentang efek penambahan *zeolite* pada modulus elastisitas tanah laterit. Variasi campuran kapur adalah 4%, 8%, 12%, 16%, dan 20% dari berat tanah asli. Dari hasil pengujian diperoleh hasil bahwa tanah laterit memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 4954 kN/m<sup>2</sup>. Hasil pengujian terhadap tinjauan nilai modulus elastisitas setelah ditambahkan *zeolite* terjadi peningkatan nilai, yaitu ketika ditambah 4%, 8%, 12%, 16%, dan 20% *zeolite* mengalami kenaikan secara berturut-turut menjadi 5232 kN/m<sup>2</sup>, 5307 kN/m<sup>2</sup>, 5535 kN/m<sup>2</sup>, 5687 kN/m<sup>2</sup>, dan 6066 kN/m<sup>2</sup>. Hasil ini menunjukkan bawah penambahan *zeolite* dapat meningkatkan stabilitas dari tanah laterit dan seiring dengan bertambahnya usia pemeraman modulus elastisitas tanah tersebut juga semakin meningkat.

**Kata Kunci:** Tanah Laterit, Stabilisasi, Zeolit, Modulus Elastisitas



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRACT .....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah .....	4
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Batasan Masalah .....	4
E. Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
A. Tanah Laterit.....	7
B. <i>Zeolite</i> Sebagai Bahan Stabilisasi .....	12
B.1. Pengertian <i>Zeolite</i> .....	12
B.2. <i>Zeolite</i> Alam.....	15
B.3. <i>Zeolite</i> sintetik.....	17
C. Uji Kuat Tekan Bebas ( <i>Unconfined Compression Test</i> ).....	19
D. Modulus Elastisitas .....	20
E. Penelitian Terdahulu .....	25
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	29
A. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	29
B. Metode Pengumpulan Data.....	30
C. Kerangka Alir Penelitian.....	30
D. Rancangan Penelitian.....	32

D.1. Persiapan Bahan .....	32
D.2. Peralatan Laboratorium .....	33
D.3. Pengujian Karakteristik Tanah Asli .....	34
D.4. Optimalisasi Bahan Aktivator .....	35
E. Pengujian Sampel .....	36
E.1. Uji Sifat Fisik .....	37
E.2. Uji Sifat Mekanis .....	37
F. Definisi Operasional .....	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	41
A. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Laterit .....	41
A.1 Karakteristik Tanah Laterit .....	41
B. Hasil dan Pembahasan Pengujian Kompaksi Tanah Terstabilisasi. ....	52
C. Pengaruh Penambahan <i>Zeolite</i> terhadap Nilai Modulus Elastisitas ....	54
BAB 5. PENUTUP .....	69
A. Kesimpulan .....	69
B. Saran .....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN .....	74

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Visual Tanah Laterit .....	9
Gambar 2. Struktur Kimia <i>Zeolite</i> .....	14
Gambar 3. Bentuk <i>Zeolite</i> .....	16
Gambar 4. Tahapan Deformasi.....	21
Gambar 5. Diagram Tegangan Regangan .....	22
Gambar 6. Diagram <i>Secant Modulus</i> dan <i>Tangent Modulus</i> .....	23
Gambar 7. Diagram Modulus Elastisitas $E_{50}$ .....	24
Gambar 8. Lokasi Pengambilan Sampel.....	29
Gambar 9. Bagan Alir Penelitian.....	32
Gambar 10. Bahan-bahan untuk Penelitian .....	32
Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian Batas Cair .....	43
Gambar 12. Grafik Gradasi Butiran.....	44
Gambar 13. Diagram Plastisitas (ASTM, Casagrande) .....	45
Gambar 14. Grafik Hubungan antara Kadar Air dengan Berat Isi Kering .....	50
Gambar 15. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Kuat Tekan Bebas Tanah Laterit .....	51
Gambar 16. Grafik Hubungan Nilai $\gamma_{dmaks}$ dengan Campuran Variasi Penambahan <i>Zeolite</i> .....	53
Gambar 17. Grafik Hubungan Nilai $\omega_{opt}$ dengan Campuran Variasi Penambahan <i>Zeolite</i> .....	54
Gambar 18. Grafik Hubungan Tegangan Regangan Spesimen Kuat Tekan 4% Variasi Masa Peram .....	55
Gambar 19. Grafik Hubungan Masa Pemeraman Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Penambahan <i>Zeolite</i> 4%.....	56
Gambar 20. Grafik Hubungan Tegangan Regangan Spesimen Kuat Tekan 8% Variasi Masa Peram .....	57
Gambar 21. Grafik Hubungan Masa Pemeraman Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Penambahan <i>Zeolite</i> 8%.....	58

Gambar 22. Grafik Hubungan Tegangan Regangan Spesimen Kuat Tekan 12% Variasi Masa Peram .....	59
Gambar 23. Grafik Hubungan Masa Pemeraman Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Penambahan Zeolite 12%.....	60
Gambar 24. Grafik Hubungan Tegangan Regangan Spesimen Kuat Tekan 16% Variasi Masa Peram .....	61
Gambar 25. Grafik Hubungan Masa Pemeraman Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Penambahan Zeolite 16%.....	62
Gambar 26. Grafik Hubungan Tegangan Regangan Spesimen Kuat Tekan 20% Variasi Masa Peram .....	63
Gambar 27. Grafik Hubungan Masa Pemeraman Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Penambahan Zeolite 20%.....	64
Gambar 28. Grafik Hubungan Masa Pemeraman Terhadap Nilai Kuat Tekan Penambahan Variasi <i>Zeolite</i> .....	66
Gambar 29. Grafik Hubungan Masa Pemeraman Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Penambahan Variasi <i>Zeolite</i> .....	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Contoh <i>zeolite</i> alam yang umum ditemukan.....	15
Tabel 2. Rumus oksida beberapa jenis <i>zeolite</i> sintetik.....	18
Tabel 3. Hubungan Kuat Tekan Bebas ( $q_u$ ) Tanah Lempung dengan Konsistensinya .....	20
Tabel 4. Penelitian Terdahulu .....	25
Tabel 5. Alat-alat dan Gambar Pengujian Sifat Fisik .....	33
Tabel 6. Alat-Alat dan Gambar Pengujian Sifat Mekanis.....	34
Tabel 7. Sampel Pengujian Tanah Asli .....	35
Tabel 8. Variasi Persentase Komposisi Bahan Stabilisasi.....	36
Tabel 9. Standar Pengujian Sifat Fisik Tanah .....	37
Tabel 10. Karakteristik Tanah Laterit .....	41
Tabel 11. Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO) .....	47
Tabel 12. Klasifikasi Kelompok Tanah Sistem Unified dan Sistem AASHTO .....	48
Tabel 13. Klasifikasi Keandalan Tanah Sistem AASHTO.....	49
Tabel 14. Hubungan antara Kuat Tekan ( $q_u$ ) dengan Konsistensi Tanah.....	52
Tabel 15. Hasil Pemeriksaan Kompaksi yang Distabilisasi dengan <i>Zeolite</i> ..	53
Tabel 16. Rekapitulasi Nilai Modulus Elastistas dan Kuat Tekan Bebas .....	65
Tabel 17. Rekapitulasi Presentase Kenaikan Nilai Modulus Elastistas dan Kuat Tekan Bebas Terstabilisasi <i>Zeolite</i> Terhadap Tanah Asli Tanpa Stabilisasi.	66

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Tanah merupakan material yang selalu berhubungan dengan teknologi konstruksi sipil. Karena besarnya pengaruh tanah terhadap perencanaan seluruh konstruksi, maka tanah menjadi komponen yang sangat diperhatikan dalam perencanaan konstruksi. Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk. Tanah memiliki spesifikasi yang berbeda dari setiap jenisnya, sehingga memerlukan penanganan yang berbeda baik secara mekanis dan kimia. Penanganan ini tidak bisa dipisahkan karena saling berhubungan erat satu dengan yang lainnya. Jika penanganannya tidak dilakukan dengan tepat maka akan terjadi kerusakan struktur bangunan sipil yang ditimbulkan oleh reaksi tanah baik secara mekanis maupun kimia.

Stabilisasi tanah adalah cara untuk memperbaiki sifat dasar tanah sehingga diharapkan tanah dasar tersebut memiliki mutu yang lebih baik dan dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Stabilisasi tanah dapat berarti luas mulai dari stabilisasi secara mekanis sampai secara kimiawi. Secara mekanis yaitu dengan cara pemadatan, sedangkan secara kimiawi yaitu dengan

mencampurkan bahan kimia additif ke dalam tanah yang kemudian akan mengubah *properties* dan kekuatan tanah.

Dalam penelitian ini tanah yang digunakan adalah jenis tanah laterit yang banyak ditemukan di daerah Toraja Utara dimana pada daerah ini memiliki kondisi tanah laterit dengan kandungan logam besi oksida relatif tinggi. Pemilihan material ini bertujuan untuk pemanfaatan material lokal yang banyak tersebar di wilayah Indonesia. Penyebarannya banyak ditemukan di daerah tropis atau sub tropis dengan tingkat pelapukan tinggi pada batuan basa sampai batuan ultrabasa yang didominasi oleh kandungan logam besi seperti yang tersebar di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Irian Jaya, dan Jawa. Dengan kandungan mineral lempung dan unsur logam, tanah ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan baik pada pekerjaan konstruksi, industri, maupun pekerjaan lainnya, namun perlu kajian mendalam terhadap karakteristik detail dan kemungkinan perbaikannya sebelum digunakan.

Dalam hal ini tanah asli tersebut belum memenuhi kriteria untuk digunakan, maka perlu dilakukan sesuatu untuk meningkatkan kinerja tanah atau memperbaiki sifat-sifat geoteknik tanah secara kimia, agar tanah memenuhi syarat teknis tertentu. Stabilisasi tanah dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah asli dengan cara antara lain, menambahkan suatu bahan tertentu yang mengakibatkan perubahan sifat-sifat tanah asli tersebut. Stabilisator tanah dalam penelitian ini akan menggunakan *zeolite*.

*Zeolite* adalah material kristal silika-alumina yang memiliki struktur penataan polimer tiga dimensi yang terdiri dari unit-unit tetrahedral  $\text{SiO}_4$  dan

$\text{AlO}_4$  yang bergabung dengan jalan pemakaian bersama (*sharing*) oksigen, bersifat asam dan mempunyai pori yang berukuran molekul. *Zeolite* mempunyai kapasitas yang tinggi sebagai penyerap. Hal ini disebabkan karena *zeolite* dapat memisahkan molekul-molekul berdasarkan ukuran dan konfigurasi dari molekul. Mekanisme absorpsi yang mungkin terjadi adalah absorpsi fisika (melibatkan gaya Van der Waals), absorpsi kimia (melibatkan gaya elektrostatis), ikatan hidrogen dan pembentukan kompleks koordinasi (Andreas dan Masduqi, 2004).

Dalam pemanfaatannya, *zeolite* memiliki kemampuan dalam menahan panas yang tinggi dan dapat meningkatkan daya dukung dari tanah laterit. Selain itu, tingkat konsumsi *zeolite* semakin meningkat terutama sektor industri. Potensi *Zeolite* Sangkaropi Kabupaten Toraja Utara Provinsi Sulawesi Selatan, memiliki sumber daya sekitar 168.480.000ton pada daerah seluas 360.000 m<sup>2</sup> (Katawa W, 2006).

Penelitian ini akan membahas uji kuat tekan tanah laterit dengan menggunakan *zeolite* sebagai bahan pencampurnya dan hubungannya dengan modulus elastisitas. Oleh karena itu, berdasarkan uraian di atas maka penulis bermaksud melakukan studi eksperimental dengan tema:

**“EFEK PENAMBAHAN ZEOLITE PADA MODULUS ELASTISITAS  
TANAH LATERIT”**



## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan permasalahan dan potensi yang dimiliki oleh tanah laterit dan *zeolite*, maka penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *zeolite* terhadap kuat tekan tanah laterit stabilisasi *zeolite*?
2. Bagaimana pengaruh masa pemeraman terhadap kuat tekan tanah laterit stabilisasi *zeolite*?
3. Bagaimana pengaruh penambahan *zeolite* terhadap modulus elastisitas tanah laterit yang distabilisasi *zeolite*?

## **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *zeolite* terhadap kuat tekan tanah laterit stabilisasi *zeolite*.
2. Untuk mengetahui pengaruh masa peram terhadap kuat tekan tanah laterit stabilisasi *zeolite*.
3. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *zeolite* terhadap modulus elastisitas tanah laterit stabilisasi *zeolite*.

## **D. Batasan Masalah**

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

1. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium, bukan pada skala lapangan.
2. Penelitian hanya meneliti sifat fisis dan mekanis tanah laterit, tidak meneliti unsur kimia tanah tersebut.
3. Bahan stabilisasi yang digunakan ialah *zeolite*.

### **E. Sistematika Penulisan**

Agar penelitian ini lebih terarah maka disusun sistematika penulisan skripsi yang akan dilakukan dengan sesuai tahapan-tahapan yang disyaratkan sehingga produk yang dihasilkan lebih sistematis sehingga susunan skripsi ini dapat diurutkan yaitu:

#### **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. Tanah Laterit

Tanah laterit memiliki variasi yang luas dari warna merah, coklat sampai kuning, tanah residual berukuran butir halus dengan tekstur ringan memiliki bentuk butiran nodular dan tersementasi dengan baik (Lambe dan Whitman, 1979). Tanah jenis ini memiliki karakteristik keras, sulit ditembus, dan sangat sulit berubah jika dalam kering (Makasa, 2004). Fookes (1997) memberi tanah laterit berdasarkan pada pengerasan seperti "*freeic*" untuk tanah keras kaya besi yang tersementasi, "*alcrete*" atau bauksit untuk tanah keras kaya aluminium yang tersementasi "*calcrete*" untuk tanah kaya kalsium karbonat dan "*silcrete*" untuk yang kaya silika. Defenisi lain didasarkan pada perbandingan jumlah silika ( $\text{SiO}_2$ ) terhadap oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ), untuk tanah perbandingan tersebut antara 1,33 dan 2,0, sedangkan diatas 2,0 bukan tanah laterit.

Tanah laterit memiliki profil yang dalam, mudah menyerap air, memiliki kandungan bahan organik sedang, dan pH netral hingga asam dengan banyak kandungan logam terutama besi dan aluminium, serta baik digunakan sebagai bahan pondasi karena teksturnya relatif padat dan kokoh. Kandungan mineral dalam tanah laterit terdiri dari *hematite*, *kaolinite*, *illite*, *montmorillonite*, *rutile*, *forsterite*, *andalusite*, *magnetite*, *magnesium silicate* dan nikel dioksida. Sedangkan komposisi unsur dan senyawa yang terkandung dalam tanah laterit

yang umum meliputi oksigen, magnesium, aluminium, silikon, sulfur, kalsium, vanadium, mangan, besi dan nikel.

Sifat-sifat fisik tanah laterit sangat bervariasi tergantung pada komposisi mineralogi dan distribusi ukuran partikel tanah. Granulometri dapat bervariasi dari halus sampai gravel tergantung asal dan proses pembentukannya sehingga akan mempengaruhi sifat-sifat geoteknik seperti plastisitas dan kuat tekan. Salah satu kelebihan tanah laterit adalah tidak mudah mengembang dengan air, tergantung pada kandungan mineral lempung di dalamnya.

Sebaran tanah laterit di dunia sekitar sepertiga bagian area kontinental bumi (Yves, T.,2010). Penyebaran tanah ini di Indonesia diperkirakan 8.085 juta ha yang tersebar di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Irian Jaya, dan Jawa. Masing-masing seluas 4.016; 2,449; 0.789; 0.296 dan 0.135 juta ha (Puslittanak, 1997). Hal ini menyebabkan penyebaran tanah laterit hampir ada di setiap wilayah, diantaranya adalah sebaran tanah laterit di Toraja Utara, Provinsi Sulawesi Selatan.

Tanah laterit Toraja Utara merupakan tanah yang terbentuk di daerah tropis atau subtropis dengan tingkat pelapukan tinggi pada batuan basa sampai batuan ultrabasa yang didominasi oleh kandungan logam besi yang relatif tinggi.



**Gambar 1.** Visual Tanah Laterit

Ciri-ciri tanah ini secara garis besar yaitu: CH intensif, sehingga drainase intensif, memiliki solum 10-20 m, memiliki nilai *chroma* dan *value* tinggi, perkembangan horison lanjut, pH tanah masam, kadar laterit tinggi, tipe 1:1 (kaolinit), KB dan KPK rendah, kadar BO rendah, dan kurang baik untuk pertanian.

Curah hujan yang tinggi (basah atau lembab) dan didukung oleh temperatur yang tinggi menyebabkan gaya-gaya perkembangan tanah di daerah tropika lebih cepat dan lebih intensif akibat pertumbuhan yang lebat. Temperatur yang tinggi mempercepat proses mineralisasi bahan organik yang dapat mengimbangi proses humifikasi, sehingga terbentuk  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Zat-zat ini selanjutnya mempercepat proses dekomposisi batuan-batuan, dan juga silikat Al dan Fe dengan melarutkan ion basa seperti K, Ca, Na, dan Mg. Tak adanya proses gleisasi mempertinggi intensitas pelarutan basa. Adanya basa-basa sebagai kation menjadikan larutan tanah beraksi basa.

Intensifnya perkembangan tanah di daerah tropika basah menyebabkan terbentuknya tanah laterit memiliki solum yang sangat dalam. Tanah-tanah ini dapat berkembang dari macam-macam bahan induk, seperti batuan beku granit, basalt, batu pasir dan andesit. Perbedaan sifat dan jenis batuan induk dapat dihilangkan oleh kegiatan proses perkembangan tanah, sehingga hasilnya hampir serupa yaitu pada tanah berwarna merah, merah kuning, atau merah coklat yang mengandung sebagian besar laterit silikat kaolinit yang memiliki sifat-sifat koloid rendah, dan reaksinya masam karena sebagian besar basanya telah tercampur. Pada keadaan lembab, tanah laterit mudah dipotong dengan sekop menjadi bentuk-bentuk bata. Ketika terkena udara, laterit akan mulai mengeras karena kelembaban di antara partikel-partikel lateritnya menguap dan garam-garam besi membentuk struktur yang kaku sehingga rentan terhadap kondisi atmosfer.

Stabilisasi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah suatu tindakan perbaikan mutu bahan atau usaha untuk meningkatkan kekuatannya sampai pada tingkat kekuatan tertentu sehingga dapat berfungsi dan memberikan kinerja lebih baik dari aslinya. Sedangkan stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material jalan lokal yang ada dengan cara stabilisasi mekanis atau dengan cara menambahkan suatu bahan tambah (*additive*) kedalam tanah (Hardiyanto, 2010). Stabilisasi jika didesain dengan benar akan memberikan keuntungan secara ekonomis dan lingkungan dalam aplikasinya dalam pada rehabilitasi dan pembangunan jalan (Syahril, 2010).

Stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah atau dapat pula dimanfaatkan, stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan tambah buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik. Guna merubah sifat-sifat teknis tanah, seperti kapasitas dukung, kompreibilitas, permabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan, dan sensitivitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan cara penanganan dari yang paling mudah, seperti pemadatan sampai teknik yang lebih mahal, seperti mencampur tanah dengan semen, kapur, abu terbang, injeksi semen, dan pemanasan.

Stabilisasi tanah lempung dengan *zeolite* dijelaskan bahwa terjadi peningkatan nilai kuat tekan tanah lempung, peningkatan nilai kohesi, serta peningkatan nilai kuat geser setelah tanah dicampurkan dengan *zeolite* pada penambahan maksimal 10%. Sehingga terjadi kuat tekan serta kuat geser tanah yang semakin meningkat seiring ditambahkannya persentase campuran *zeolite*, meskipun peningkatan yang terjadi pada nilai kuat tekan bebas dan kuat geser langsungnya tidak sama besar (Iqbal, 2015).

Stabilisasi tanah laterit dilakukan dengan penambahan kapur dan semen. Campuran kapur 12% dengan variasi penambahan semen adalah 3%, 4%, 5%, dan 6% dari berat tanah kering. Berdasarkan klasifikasi USCS,



sampel tanah tersebut termasuk dalam jenis CH (Lempung anorganik dengan plastisitas sedang sampai tinggi) sedangkan berdasarkan klasifikasi AASHTO, sampel tanah tersebut termasuk dalam jenis A-7-5, yaitu berlempung dimana indeks plastisitasnya  $>11$ . Penelitian ini menunjukkan penggunaan kapur dan semen dapat meningkatkan kekuatan tanah laterit (Febriani, 2016).

## **B. Zeolite Sebagai Bahan Stabilisasi**

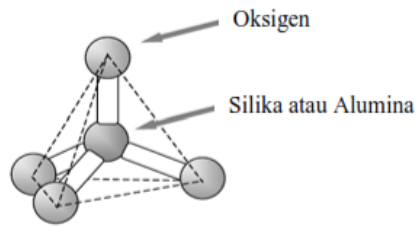
### **B.1. Pengertian Zeolite**

*Zeolite* telah dikenali selama lebih dari 200 tahun, namun baru pada pertengahan abad ke-20 mereka menarik perhatian para ilmuwan dan insinyur yang menunjukkan pentingnya teknologi mereka di beberapa bidang (Cincotti, Mameli, Locci, Orru, Cao, 2006). Sejarah *zeolite* dimulai pada tahun 1776 ketika ahli mineral asal Swedia Cronstedt menemukan mineral *zeolite* pertama. Dia menemukan *zeolite* sebagai mineral yang terdiri dari aluminosilikat terhidrasi dari alkali dan alkali tanah (Bekkum, Flanigen, Jansen, 1991). *Zeolite* adalah aluminosilikat kristalin dari unsur kelompok IA dan kelompok IIA seperti natrium, kalium, magnesium dan kalsium. Di Turki, terutama di kawasan Aegean Tengah terdapat banyak jenis *zeolite*. Di beberapa sektor dan industri *zeolite* mulai digunakan pada tahun 90-an di Turki. Dalam Rencana pembangunan lima tahun dalam laporan pertambangan tahun 2001, Organisasi Perencanaan Negara (*State Planning Organization / DPT*)

menyatakan pentingnya *zeolite*. Sektor yang berbeda seperti pengendalian pencemaran, pengolahan air limbah, energi, pertanian, timbunan, pertambangan, konstruksi, dan sebagainya. Cakicioglu-Ozkan dan Ulku (2005) meneliti sifat adsorpsi uap air dari tufan *zeolite* klinoptilolit yang kaya dari Bigadic dan bentuknya yang dimodifikasi. Mereka menunjukkan efek yang berguna dari pengolahan HCl pada karakteristik adsorpsi uap air dari *zeolite* Bigadic klinoptilolit yang kaya. Cincotti, Mameli, Locci, Orru dan Cao (2006) mempresentasikan perluasan penyelidikan mereka terhadap eksploitasi praktis *zeolite* alam Sardinia sebagai bahan rendah untuk menghilangkan ion logam berat dari larutan berair. Oleh karena itu, jelas terlihat dari studi akademis dan penggunaan *zeolite* di berbagai sektor, *zeolite* tidak memiliki efek negatif terhadap lingkungan. Sebagai hasil dari penelitian ini, jika *zeolite* digunakan sebagai penstabil tanah, maka tidak akan mencemari air tanah.

*Zeolite* adalah mineral kristal alumina silikat berpori terhidrat yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi terbentuk dari tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ . Kedua tetrahedral di atas dihubungkan oleh atom-atom oksigen, menghasilkan struktur tiga dimensi terbuka dan berongga yang didalamnya diisi oleh atom-atom logam, biasanya logam-logam alkali atau alkali tanah, dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Umumnya, struktur *zeolite* adalah suatu polimer anorganik berbentuk tetrahedral unit  $\text{TO}_4$ , dimana T adalah ion  $\text{Si}^{4+}$  atau  $\text{Al}^{3+}$  dengan atom O berada diantara dua atom T, seperti

ditunjukkan dalam Gambar 2.



**Gambar 2.** Struktur Kimia *Zeolite*

Struktur *zeolite* memiliki rumus umum  $M_{x/n} [(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot wH_2O$ , dimana M adalah kation alkali atau alkali tanah, n adalah jumlah valensi kation, w adalah banyaknya molekul air per satuan unit sel, x dan y adalah angka total tetrahedral per satuan unit sel, dan nisbah  $y/x$  biasanya bernilai 1 sampai 5, meskipun ditemukan juga *zeolite* dengan nisbah  $y/x$  antara 10 sampai 100. Dewasa ini dikenal dua jenis *zeolite*, yakni *zeolite* alam dan *zeolite* sintetis, namun sekarang *zeolite* yang paling banyak digunakan adalah *zeolite* sintesis. Komposisi kimia *Zeolite* alam Cikanora, Tasikmalaya :  $SiO_2$  (71,48%),  $Al_2O_3$  (10,60%),  $Fe_2O_3$  (0,982%),  $MnO$  (0,003%),  $TiO_2$  (0,178%),  $P_2O_5$  (0,095%),  $CaO$  (0,139%),  $MgO$  (0,154%),  $Na_2O$  (1,510%),  $K_2O$  (1,118%), Lol (14,800%),  $H_2O$  (3,893%),  $H_2O_+$  (6,337%).

Struktur dalam *zeolite* sangat kompleks, sehingga dikenal juga sebagai mineral yang multistruktur, selain itu *zeolite* juga dikenal sebagai multiguna karena memiliki banyak kegunaan dibidang industri (Haryadi, 2002). Kegunaan *zeolite* antara lain untuk industri kertas, pengeringan makanan, pemurnian

udara oksigen/oksigen, pengontrol polusi (limbah radioaktif, rumah tangga, penangkap gas SO<sub>2</sub>, limbah makanan ternak, dan penghilang bau), pembebasan nitrogen amonia dari pabrik, pembebasan ion logam dari air, perikanan/tambak ikan/udang, pertanian dan industri-industri lainnya (Harjanto,1987).

## B.2. Zeolite Alam

*Zeolite* alam ditemukan dalam bentuk mineral dengan komposisi yang berbeda, terutama dalam nisbah Si/Al dan jenis logam yang menjadi komponen minor, seperti diperlihatkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Contoh *zeolite* alam yang umum ditemukan

N	<i>Zeolite</i>	Komposisi
1	Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
2	Kabasit	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2$
3	Klinoptilotit	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
4	Erionit	$(\text{Na}, \text{Ca}_5\text{K})(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2$
5	Ferrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
6	Heulandit	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
7	Laumonit	$\text{Ca}(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
8	Mordenit	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
9	Filipsit	$(\text{Na}, \text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
10	Natrolit	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
11	Wairakit	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$



**Gambar 3.** Bentuk *Zeolite*

*Zeolite* alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. *Zeolite* alam umumnya masih mengandung banyak pengotor sehingga harus diberi perlakuan secara kimiawi maupun fisik. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa *zeolite* merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin (Lestari, 2010). Sebagai produk alam, *zeolite* alam diketahui memiliki komposisi yang sangat bervariasi, namun komponen utamanya adalah silika dan alumina. Di samping komponen utama ini, *zeolite* juga mengandung berbagai unsur minor, antara lain Na, K, Ca, Mg, dan Fe.

Terlepas dari aplikasinya yang luas, *zeolite* alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari *zeolite*. Untuk memperbaiki karakter *zeolite* alam sehingga dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, atau

aplikasi lainnya, biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu.

### **B.3. Zeolite sintetik**

*Zeolite* sintetik adalah *zeolite* yang dibuat secara rekayasa yang sedemikian rupa sehingga didapatkan karakter yang lebih baik dari *zeolite* alam. Prinsip dasar produksi *zeolite* sintetik adalah komponennya yang terdiri dari silika dan alumina, sehingga dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung kedua komponen di atas. Komponen minor dalam *zeolite* juga dapat ditambahkan dengan mudah menggunakan senyawa murni, sehingga *zeolite* sintetik memiliki komposisi yang tetap dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Dengan perkembangan penelitian, dewasa ini telah dikenal beragam *zeolite* sintetik, dan beberapa diantaranya disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Rumus oksida beberapa jenis *zeolite* sintetik

<i>Zeolite</i>	Rumus Oksida
<i>Zeolite A</i>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$
<i>Zeolite N-A</i>	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
<i>Zeolite H</i>	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
<i>Zeolite L</i>	$(\text{K}_2\text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<i>Zeolite X</i>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
<i>Zeolite Y</i>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 8,9\text{H}_2\text{O}$
<i>Zeolite P</i>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2-5\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<i>Zeolite O</i>	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ TMA – $\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
<i>Zeolite Ω</i>	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
<i>Zeolite ZK-4</i>	$0,85\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,15(\text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3,3\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
<i>Zeolite ZK-5</i>	$(\text{R}, \text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4-6\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

(Sumber: Georgiev *et al.*, 2009)

Dewasa ini *zeolite* sintetik terus dikembangkan, dengan dua fokus utama yaitu bahan baku dan metode. Dari segi bahan baku utama, digunakan 2 jenis bahan baku yakni bahan baku sintetik dan bahan baku limbah. Mensintesis *zeolite Analcium* (ANA) dan Na-P1 (GIS) dari bahan baku sintetik alumatran dan silatran dengan proses *sol-gel* dan teknik *microwave*. Alumatran dan silatran digunakan sebagai prekursor untuk menghasilkan aluminosilikat melalui proses *sol-gel*. NaCl dan NaOH digunakan sebagai agen hidrolisis. Konsentrasi NaOH mempengaruhi bentuk kristalnya, kristal yang sangat baik terbentuk pada konsentrasi NaOH yang tinggi. Proses pembentukan *gel*

adalah reaksi endotermik. Proses pertumbuhan kristal maksimum diketahui menggunakan *differential scanning calorimetry* (DSC) terjadi pada suhu 106°C.

Sunardi dan Abdullah (2007) melaporkan telah mensintesis *zeolite* dengan bahan baku abu layang batu bara dengan metode peleburan menggunakan NaOH serta aplikasinya sebagai adsorben logam merkuri (II). Abu layang dan NaOH dicampur dan dihomogenkan lalu dilebur pada temperatur 550°C selama 60 menit. Hasil peleburan ditambahkan akuades, diaduk selama 12 jam dan dihidrotermalkan pada temperatur 90°C selama 24 jam. Hasil karakterisasi menggunakan *Fourrier Transform Infra Red* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa telah terbentuk *zeolite* tipe faujasit. Dengan bahan baku yang sama, Laosiripojana *et al.* (2010) berhasil mensintesis *zeolite* dengan metode fusi. Abu layang dicampur dengan NaOH kondisi udara pada suhu 450°C di dalam *furnace*. Produk yang dihasilkan dilarutkan dengan akuades kemudian diaduk dengan mesin pengaduk selama 12 jam. Kristal yang dihasilkan dicuci dengan akuades dan dikeringkan semalaman dengan suhu 105°C.

### **C. Uji Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)**

Kekuatan tekan bebas adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat renggangan aksial mencapai 20%. Percobaan ini dimaksudkan untuk menentukan



besarnya kekuatan tekan bebas sampel tanah yang bersifat kohesif dalam keadaan asli maupun buatan (*remoulded*).

Tegangan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Sedangkan untuk hubungan konsistensi dengan kuat tekan bebas tanah dapat dilihat dalam Tabel 3.

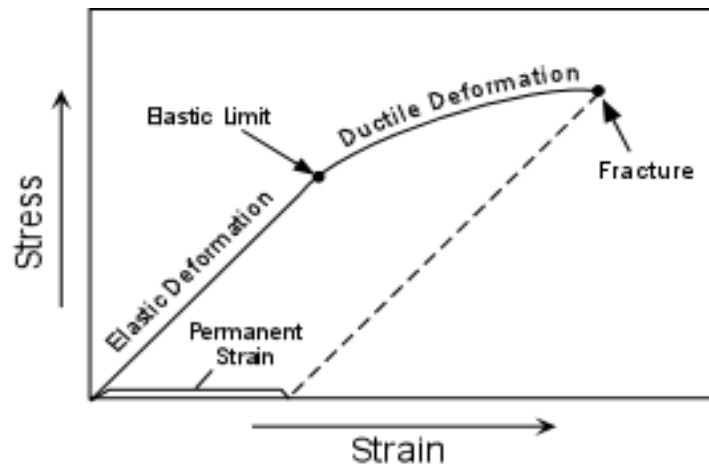
**Tabel 3.** Hubungan Kuat Tekan Bebas ( $q_u$ ) Tanah Lempung dengan Konsistensinya

$(q_u)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Konsistensi
0 – 0,27	Sangat Lunak
0,27 – 0,54	Lunak
0,54 – 1,59	Menengah
1,59 – 2,15	Kaku
2,15 – 4,31	Sangat Kaku
> 4,31	Keras

(Sumber: Holtz dan Kovacs, 1981)

#### D. Modulus Elastisitas

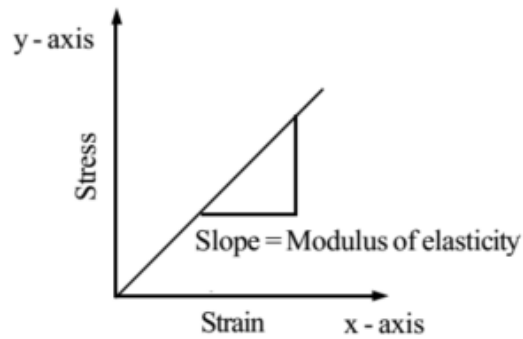
Modulus elastisitas adalah besaran yang menggambarkan tingkat elastisitas bahan. Modulus elastisitas disebut juga modulus Young (diberi lambang  $Y$ ). Grafik dari tegangan pada sumbu  $Y$  dan regangan pada sumbu  $X$  akan menghasilkan hubungan linier.



**Gambar 4.** Tahapan Deformasi

Perubahan bentuk dan ukuran secara sementara dan pulih kembali apabila tegangan yang diberikan dihilangkan disebut dengan deformasi elastis. Sedangkan, perubahan bentuk atau ukuran secara permanen dan tidak kembali seperti semula meskipun tegangannya dihilangkan disebut dengan deformasi plastis (daktil). Apabila dianggap tanah hanya mengalami deformasi elastis, maka karakteristik tanah dapat digambarkan dengan parameter elastis.

Banyak bahan struktural termasuk juga sebagian besar baja, kayu, plastik, dan keramik, berperilaku elastis dan linier ketika dibebani pertama kali. Akibatnya, kurva tegangan-regangan dimulai dengan garis lurus yang melewati titik asalnya. Hubungan linier antara tegangan dan regangan untuk suatu batang yang mengalami tarik atau tekan sederhana. Modulus elastisitas disebut konstanta, dengan demikian modulus elastisitas ( $E$ ) suatu bahan didefinisikan sebagai perbandingan hubungan antara tegangan dan regangan untuk material elastis, Robert Hooke 1635-1703 (Sarojo, 2002).



**Gambar 5.** Diagram Tegangan Regangan

Menurut Murdock dan Brook (1991:2), modulus elastisitas yang sebenarnya atau modulus pada waktu tertentu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(i)$$

Dimana:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(ii)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(iii)$$

E = Modulus Elastisitas

$\sigma$  = Tegangan

$\varepsilon$  = Regangan

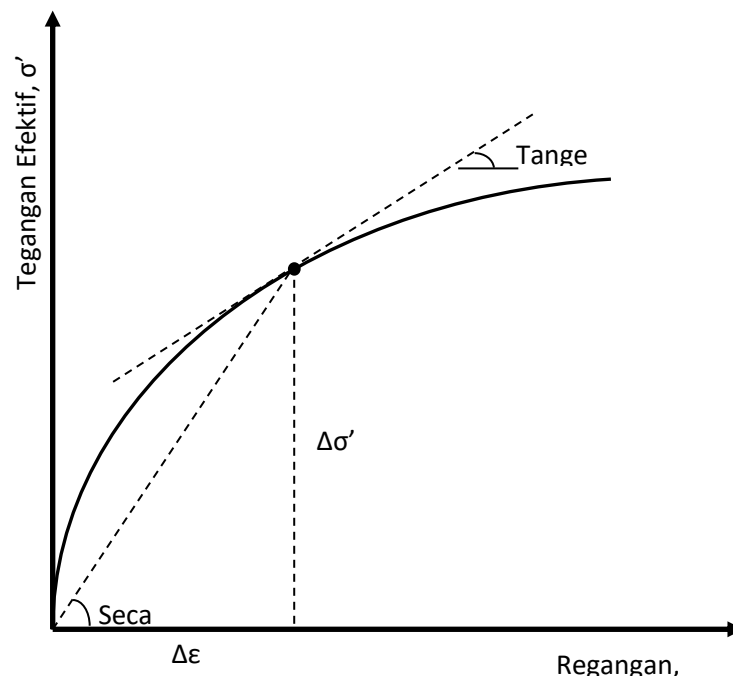
P = Beban yang diberikan (ton)

A = Luas penampang melintang (mm)

$\Delta L$  = Perubahan panjang akibat P (mm)

L = Panjang mula-mula (mm)

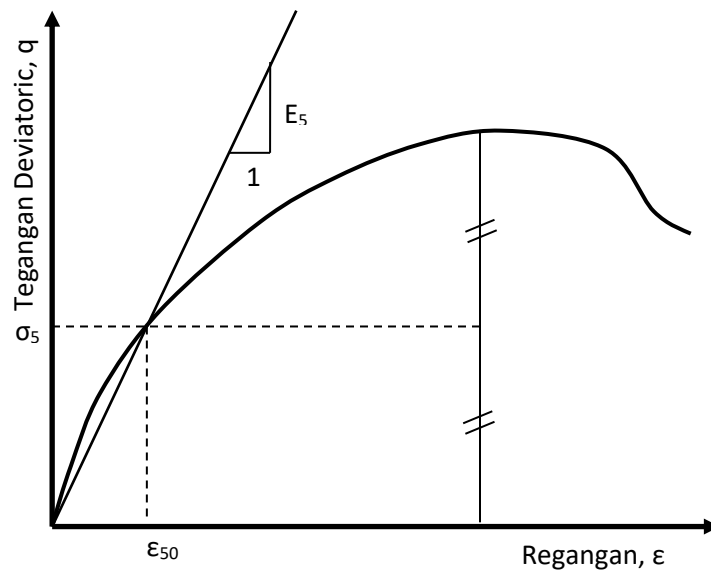
Pada tanah, penggunaan modulus elastisitas memiliki pemahaman yang berbeda dengan kekuatan dari tanah tersebut dimana modulus elastisitas menggambarkan kekakuan dari tanah. Kekakuan dan kekuatan tanah adalah dua hal yang cukup berbeda, dimana yang satu menyatakan deformasi yang timbul dengan tegangan tertentu dan disisi lain adalah maksimum tegangan yang mampu ditopang (John Atkison,1993)



**Gambar 6.** Diagram *Secant Modulus* dan *Tangent Modulus*

Pada gambar x.x dapat dilihat adanya dua jenis modulus elastisitas yaitu *secant modulus* dan *tangent modulus*. Jenis yang biasa digunakan sebagai modulus elastisitas tanah adalah metode *secant modulus*.

Penggunaan nilai modulus elastisitas tanah untuk desain struktur tanah menggunakan nilai  $E_{50}$ , dimana  $E_{50}$  ini adalah nilai modulus elastisitas tanah pada tegangan (*stress*) 50 % dari tegangan maksimum atau dalam kata lain memiliki faktor keamanan yaitu dua (2). Berikut adalah nilai  $E_{50}$  dalam grafik hubungan tegangan dan regangan.



**Gambar 7.** Diagram Modulus Elastisitas  $E_{50}$

Berdasarkan Gambar 7, nilai modulus elastisitas  $E_{50}$  dapat disajikan dalam bentuk persamaan matematis seperti berikut :

$$E_{50} = \frac{\sigma_{50}}{\varepsilon_{50}} \dots\dots\dots (iv)$$

## E. Penelitian Terdahulu

**Tabel 4.** Penelitian Terdahulu

Nama	Judul	Metode	Hasil
Amu, O.O, et. al (2011)	<i>Geotechnical properties of lateritic soil stabilized with sugarcane straw Ash</i>	Menentukan sifat-sifat geoteknik tanah lateritic yang dimodifikasi dengan campuran abu serat tebu. Tiga contoh A, B, dan C dibuat untuk identifikasi dan klasifikasi uji konsistensinya, selanjutnya diuji kekuatan tanah (pemadatan), ( <i>CBR</i> ), <i>fined compression test</i> , dan <i>triaxial test</i> ), pengujian untuk kondisi sebelum stabilisasi dan sesudah stabilisasi, dengan penambahan abu serat tebu 2, 4, 6, dan 8%	Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan diketahui bahwa abu serat tebu sangat efektif untuk stabilisasi dan memperkuat sifat-sifat geoteknik tanah laterit.
Latifi, N et.al., (2014)	<i>Strength behavior and microstructural characteristics of tropical laterite soil treated with sodium silicate-based liquid stabilizer</i>	Penelitian dilakukan dengan stabilisasi tanah jenis laterit menggunakan larutan <i>stabilizer</i> berbahan dasar <i>waterglass (sodium silicate)</i> . Selanjutnya dilakukan pengujian makrostruktur berupa uji kompaksi dan uji <i>unconfined compressive strength</i> serta uji mikrostruktur menggunakan uji XRD ( <i>X-ray diffractometry</i> )	Hasil penelitian menunjukkan derajat peningkatan daya dukung tanah laterit hasil stabilisasi mencapai empat kali lipat dibanding tanah asli dalam umur pemeraman 7 hari dan uji XRD menunjukkan tidak ada gel produk <i>crystalline</i> yang terbentuk selama masa pemeraman

<p>Alfian rian, Asriani, Iusmelia, dan Iswan (2015)</p>	<p>Studi Analisis Daya Dukung Tanah Lempung Berplastisitas Tinggi yang Dicampur Zeolite</p>	<p>Penelitian ini dilakukan dengan cara pengujian pada sampel tanah lempung yang dicampur <i>zeolite</i> dengan variasi 6%, 8%, 12%. Selanjutnya dilakukan uji mekanis yaitu pengujian CBR yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah setelah dicampur <i>zeolite</i></p>	<p>Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak campuran <i>zeolite</i> maka semakin naik pula daya dukung tanahnya. Akan tetapi, nilai CBR pada pada penelitian ini tidak dapat digunakan sebagai <i>subgrade</i> pada konstruksi jalan karena nilai CBRnya &lt; 6%</p>
<p>Rezki Amaliah, (2018)</p>	<p><i>Compressive strength characteristics of laterite with zeolite stabilization</i></p>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang merugikan dengan menambahkan bahan aditif berupa <i>zeolite</i>. Selanjutnya dilakukan pengamatan tentang karakteristik kuat tekan tanah laterit setelah ditambahkan <i>zeolite</i> sebesar 4%, 8%, 12%, 16%, dan 20% dari berat tanah asli.</p>	<p>Dari hasil pengujian diperoleh hasil bahwa tanah laterit memiliki nilai kuat tekan sebesar 0,998 kg/cm<sup>2</sup>, sehingga jenis tanah ini termasuk tanah yang buruk jika digunakan sebagai tanah dasar. Hasil pengujian terhadap tinjauan nilai kuat tekan bebas setelah ditambahkan <i>zeolite</i> terjadi peningkatan nilai, yaitu ketika ditambah 4%, 8 %, 12%, 16% dan 20% <i>zeolite</i> mengalami kenaikan nilai secara berturut-turut menjadi 1,044 kg/cm<sup>2</sup>, 1,089 kg/cm<sup>2</sup>, 1,141 kg/cm<sup>2</sup>, 1,299 kg/cm<sup>2</sup>, dan 1,263 kg/cm<sup>2</sup>.</p>

Marthen M. Tangkeallo, (2019)	<i>Experimental study on bearing capacity of laterite soil stabilization using zeolite activated by waterglass and geogrid reinforcement as base layer</i>	Dalam penyelidikan ini, tanah laterit distabilkan dengan berbagai presentase <i>zeolite</i> olahan 4%, 8%, 12%, 16%, dan 20% dan diaktifkan dengan menggunakan 2%, 4%, dan 6% <i>waterglass</i> dari berat kering tanah yang kemudian diterapkan dalam model lapisan pondasi jalan.	Hasil penelitian ini menunjukkan <i>zeolite</i> dan <i>waterglass</i> merupakan kombinasi terbaik antara <i>activator</i> dan <i>stabilisator</i> untuk tanah laterit. Daya dukung tanah laterit meningkat secara signifikan sebesar 376% dibandingkan dengan tanah tanpa stabilisasi dengan menggunakan geogrid sebagai perkuatan meningkat hingga 150%.
Auliya Rabbani Sutrisno, (2019)	<i>Unconfined compressive test of laterite with zeolite stabilization and waterglass activation</i>	Penelitian perbaikan tanah ini mengamati tentang karakteristik kuat tekan tanah laterit setelah ditambahkan <i>zeolite</i> dan aktivator <i>waterglass</i> . Variasi campuran <i>zeolite</i> adalah 4%, 8%, 12%, 16%, 20% dan variasi <i>waterglass</i> 2%, 4%, dan 6% dari berat total.	Dari hasil pengujian diperoleh hasil bahwa tanah laterit memiliki nilai kuat tekan sebesar 1,00 kg/cm <sup>2</sup> , sehingga jenis tanah ini termasuk tanah yang buruk jika digunakan sebagai tanah dasar. Hasil pengujian terhadap tinjauan nilai kuat tekan bebas setelah ditambahkan <i>zeolite</i> dan aktivator <i>waterglass</i> terjadi peningkatan nilai, yaitu ketika ditambah 4%, 8 %, 12%, 16% dan 20% <i>zeolite</i> dan 2%, 4%, dan 6% <i>waterglass</i> mengalami



			kenaikan nilai secara berturut-turut menjadi 4,48 kg/cm <sup>2</sup> , 5,01 kg/cm <sup>2</sup> , 5,37 kg/cm <sup>2</sup> , 5,99 kg/cm <sup>2</sup> , dan 6,56 kg/cm <sup>2</sup> . Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan <i>zeolite</i> dan aktivator <i>waterglass</i> dapat meningkatkan kekuatan dari tanah laterit.
--	--	--	--