

DISERTASI

**MODEL UJI KOLOM STABILISASI TANAH
EKSPANSIF DENGAN INJEKSI KAPUR
MENGUNAKAN SHALLOW MIXING METHOD**

*(Column Test Model of Expansive Soil Stabilized with Lime
Injection using Shallow Mixing Method)*

DENNY BOY PINASANG

NIM. D013171028



PROGRAM STUDI S3 ILMU TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

LEMBAR PENGESAHAN

MODEL UJI KOLOM STABILISASI TANAH EKSPANSIF DENGAN
INJEKSI KAPUR MENGGUNAKAN SHALLOW MIXING METHOD

COLUMN TEST MODEL OF EXPANSIVE SOIL STABILIZED WITH LIME
INJECTION USING SHALLOW MIXING METHOD

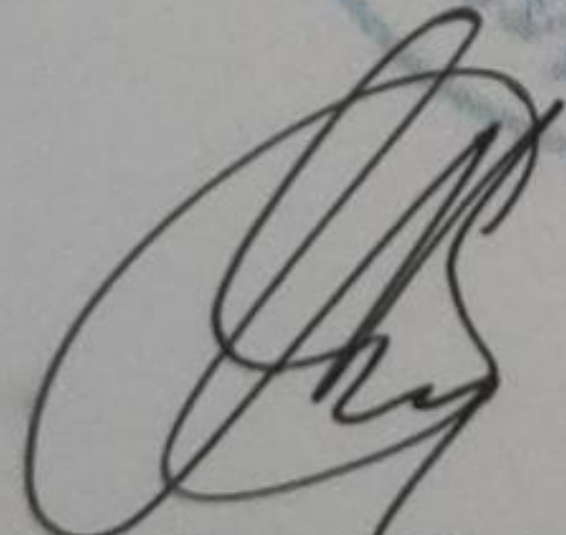
Disusun dan Diajukan oleh

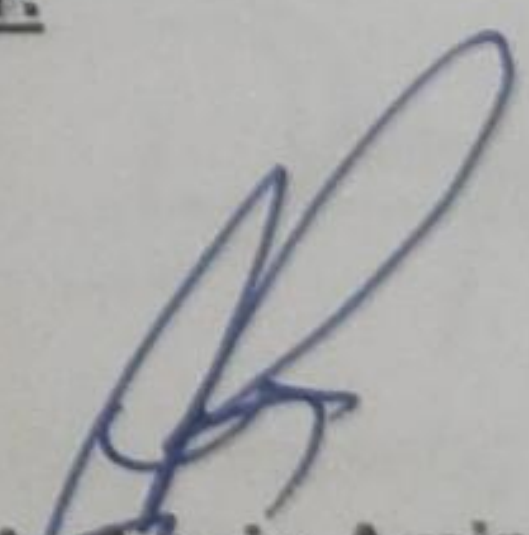
DENNY BOY PINASANG
NIM. D013171028

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi
Pada tanggal 13 Januari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Komisi Penasehat

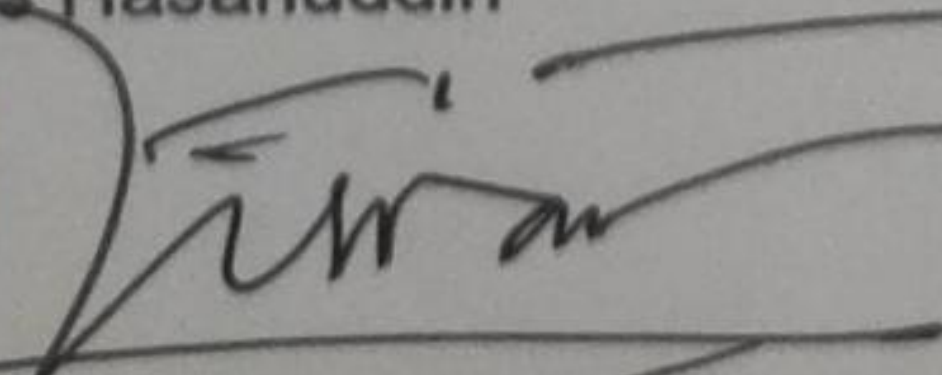

Dr. Eng. Ir. Tri Harlanto, ST., MT.
Promotor

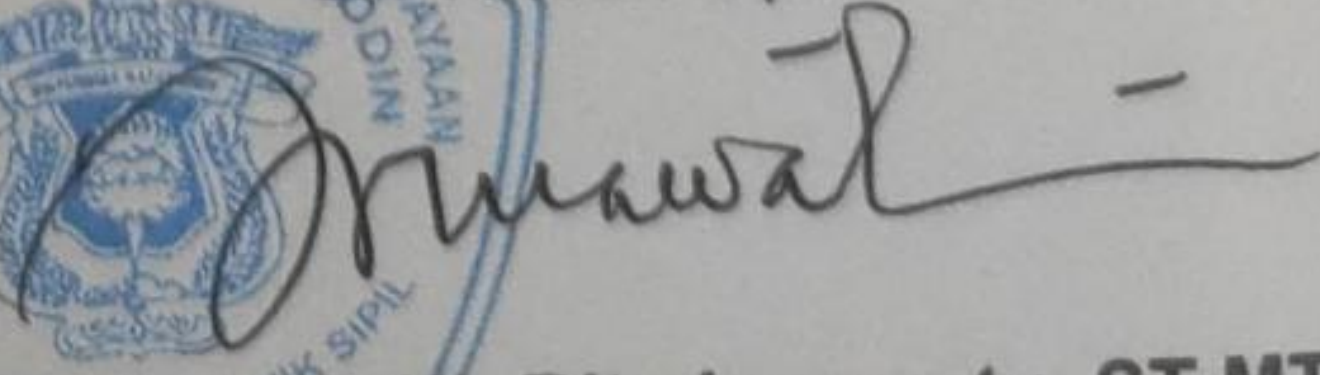

Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc.Ph.D
Co-Promotor


Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.
Co-Promotor

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Ketua Program Studi
S3 Teknik Sipil


Prof. Dr. Eng. Ir. M. Isran Ramli, ST. MT. IPM


Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST. MT

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Denny Boy Pinasang

Nomor Induk : D013171028

Program Studi : S-3 Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti dan dapat dibuktikan bahwa sebagian atau seluruh isi disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 13 Januari 2023

Yang Menyatakan

Denny Boy Pinasang

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni **“Model Uji Kolom Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Injeksi Kapur Menggunakan Shallow Mixing Method”** dapat terselesaikan. Dalam melaksanakan penelitian ini upaya dan perjuangan keras saya lakukan dalam menyelesaikannya.

Saya ucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Dr. Eng. Tri Harianto, ST., MT, selaku Promotor atas bimbingan, arahan dan petunjuknya sehingga penelitian dan penyusunan disertasi ini dapat saya laksanakan dengan baik. Ucapan dan penghargaan yang sama saya sampaikan kepada Ir. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc.,Ph.D dan Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST., MT selaku Co-Promotor yang banyak memberikan waktu, arahan dan bimbingannya kepada saya. Terima kasih dan penghargaan juga disampaikan kepada Tim Penguji : Prof. Dr-Ing. Ir. Herman Parung, M.Eng, Prof. Dr. Ir. Muh. Wihardi Tjaronge, ST.,M.Eng, Prof. Dr. Ir. Abd. Rahman Djamaluddin, MT, Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST., M.Eng.Sc. juga kepada Dr. Eng. Ir. Steeva Gaily Rondonuwu, ST., M.Agr sebagai Penguji External.

Penghargaan yang setinggi tingginya kepada; Rektor Universitas Hasanuddin (Prof. Dr. H. Jamaluddin Jompa, M.Sc), Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., IPM. ASEAN. Eng (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), Prof. Dr. Ir. Muh. Wihardi Tjaronge, ST.,

M. Eng (Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), Dr. Eng. Ir. Rita Irmawaty, ST., MT (Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin) dan bapak/ibu dosen Program studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing dalam proses perkuliahan. Bapak/ibu staf Pascasarjana Unhas dan staf Prodi S3 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada sahabat-sahabat “Pejuang Disertasi 2017” mahasiswa Program Studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin (Enci Olivia, Ibu Thelly, Pak Jasman, Ibu Zulia, Ibu Novisca, Ibu Renny, Ibu Rona, Ibu Irnawaty, Pak Asep, Pak Hamzah, Pak Ferry, Ibu Mitha, Pak Idhil), Juga kepada Dr. Efraty, Dr. Sandry, Dr.Herman, Dr, Carter, Dr Daisy dan Ibu Syane yang telah membantu Penulis sehingga Disertasi ini dapat diselesaikan.

Dengan tulus diucapkan terima kasih buat keluarga terkasih terutama istri Junita A. Pangemanan, SS, anak-anak Glory, Matthew, Mark dan Luke papa Joshep Pangemanan serta kakak-kakak dan adiku semuanya.

Kiranya Disertasi ini dapat bermanfaat buat semua pihak yang meneliti topik terkait, baik bidang Teknik sipil maupun di bidang lainnya.

Makassar, Januari 2023

Salam,

Denny Boy Pinasang

ABSTRAK

DENNY BOY PINASANG *Model Uji Kolom Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Injeksi Kapur menggunakan Shallow Mixing Method* (dibimbing oleh Tri Harianto, Achmad Bakri Muhiddin dan A. Arwin Amiruddin).

Tanah ekspansif merupakan tanah mempunyai sifat kembang susut yang tinggi sehingga menyebabkan kerusakan pada bangunan struktur yang dibangun di atasnya seperti jalan dan bangunan. Sampel tanah diambil dari lokasi di kota Manado. Tanah ekspansif dicampur dengan kapur padam Ca(OH)_2 dengan volume 100 kg/m^3 , 150 kg/m^3 , 200 kg/m^3 atau setara dengan persentase kapur sebesar 10%, 15%, 20% dari berat tanah kering, perbandingan air dan kapur yaitu 1.0; 1.2; dan 1.5 dengan *curing time* 7, 14, 28 dan 90 hari untuk mendapatkan nilai batas atterberg, indeks plastisitas, *linear shrinkage*, *unconfined compression test* terhadap perilaku kembang susut dan kekuatan tanah. Dari hasil pengujian didapatkan karakteristik lempung ekspansif diklasifikasi lempung plastisitas tinggi (CH) dengan potensi mengembang tinggi dengan kandungan mineral montmorillonite. Penambahan volume kapur 200 kg/m^3 setara dengan 20 % kapur dengan water lime rasio $w/l = 1.0$ pada tanah ekspansif menurunkan indeks plastisitas tanah sebesar 92.3 %, *Linear shrinkage* sebesar 53.36 % perubahan volume critical menjadi non critical, nilai q_u meningkat sebesar 607.8 % dengan $w/l=1.2$ pada curing time 90 hari dari lempung sedang menjadi lempung keras. Hasil uji kembang susut grup kolom kapur dalam bak uji, persentase pengembangan direduksi akibat perbaikan tanah dengan kolom kapur sebesar 43.07 %.

Kata kunci : Ekspansif, Indeks plastisitas, *Linear Shrinkage*, *Slurry*.

ABSTRACT

DENNY BOY PINASANG *Model Test Column Expansive Soil Stabilization With Lime Injection Using Shallow Mixing Method* (supervised by Tri Harianto, Achmad Bakri Muhiddin dan A. Arwin Amiruddin).

Expansive soil is soil that has high plasticity, causing damage to buildings built on it, such as roads and buildings. Soil samples were taken from locations in the city of Manado. Expansive soil mixed with hydrated lime $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with a volume of 100 kg/m^3 , 150 kg/m^3 , 200 kg/m^3 or equivalent to a lime ratio of 10%, 15%, 20% of the dry weight of the soil, the ratio of water and lime is 1,0; 1.2; and 1.5 with curing time of 7,14,28 and 90 days to obtain the atterberg limit value, plasticity index, linear shrinkage, unconfined compression test on shrinkage and swell behavior and soil strength. From the test results, the characteristics of expansive clay are classified as high plasticity (CH) clays with high swelling potential with montmorillonite mineral content. The addition of lime volume of 200 kg/m^3 is equivalent to 20% lime with a ratio of lime water $w/l = 1.0$ in expansive soil, the plasticity index of the soil decreases by 92.3%, linear shrinkage of 53.36% changes the critical volume to non-critical, the value of q_u increased by 607.8% with $w/l=1.2$ at 90 days curing time from medium to hard clay. The results of the expansion and shrinkage test of the lime column group in the test basin showed that the percentage of development decreased with the result of soil improvement with a lime column of 43.07 %.

Key words: Expansive , plasticity index, Linear Shrinkage, Slurry.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
E. Kerangka Pikir dan Sistematika Penulisan	6
F. Kebaruan/Novelti	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Karakteristik Tanah Ekspansif.....	8
B. Identifikasi Tanah Lempung Akspansif.....	12
C. Stabilisasi Tanah	14
D. Perbaikan Tanah dengan Metode Grouting	17
E. Mekanisme Kegagalan menurut Prandtl	18
F. Matriks Penelitian Terdahulu.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Bagan Alir Penelitian.....	24

B. Lokasi Penelitian.....	26
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data	28
D. Alat dan Bahan Penelitian.....	28
E. Prosedur Penelitian.....	30
F. Uji Elemen Campuran Slurry Air Kapur.....	34
G. Desain Alat Shallow Mixing.....	38
H. Skema Proses Injeksi Kolom Kapur dengan Alat Bor Shallow Mixing.....	43
I. Perhitungan Volume Injeksi Kapur	47
J. Pengujian Kembang Susut pada Kotak Uji	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Karakteristik Material Tanah ekspansif	54
B. Karakteristik Material Kapur	66
C. Karakteristik Fisik dan Mekanik Campuran Tanah Ekspansif dengan kapur	69
D. Hasil Pengujian Unconfined Compression Test	79
E. Hasil Pengujian Kembang Susut di Bak Uji	91
F. Karakteristik kolom kapur.....	96
G. Produktivitas alat shallo mixing.....	99
H. Temuan/Novelty	101
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	102
B. Saran	104

DAFTAR PUSTAKA	105
-----------------------------	------------

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Hubungan potensi mengembang dengan indeks plastisitas	13
2.	Jenis dan Standar pengujian karakteristik Kapur	32
3.	Standar pengujian Tanah Ekspansif	32
4.	Hubungan Jenis Pengujian, Parameter, Metode Klasifikasi	33
5.	Standar pengujian sifat-sifat fisik dan mekanik tanah Ekspansif.	33
6.	Persentase dan jumlah benda uji.	37
7.	Hasil uji indeks tanah	55
8.	Analisis tingkat pengembangan tanah cara Chen	57
9.	Analisis tingkat pengembangan tanah ekspansif Cara Seed et al	58
10.	Analisis tingkat pengembangan tanah ekspansif cara <i>USBR</i> ...	58
11.	Korelasi tingkat keaktifan dengan potensi pengembangan tanah	59
12.	Hubungan activity dengan mineral (Seed et al. 1962).....	61
13.	Data batu gamping di Provinsi Sulawesi Utara	66
14.	Pengaruh penambahan volume bahan pengikat 100 kg/m ³ pada tanah ekspansif terhadap Atterberg limits	69
15.	Pengaruh penambahan volume bahan pengikat 150 kg/m ³ pada tanah ekspansif terhadap Atterberg limits	70

16.	Pengaruh penambahan volume bahan pengikat 200 kg/m ³ pada tanah ekspansif terhadap Atterberg limits	70
17.	Hubungan kekuatan tekan bebas (q_u) tanah lempung dengan konsistensinya (Hardiyatmo, 2006).....	79
18.	Hasil <i>Unconfined Compression Test</i> volume kapur 100 kg/m ³ setara 10 % Kapur.....	81
19.	Hasil <i>Unconfined Compression Test</i> volume kapur 150 kg/m ³ setara 15 % Kapur.....	84
20.	Hasil <i>Unconfined Compression Test</i> volume kapur 200 kg/m ³ setara 20 % Kapur.....	87
21.	Rekapitulasi hasil <i>Unconfined Compression Test</i>	89
22.	Data pengujian Batas-batas Atterberg kolom kapur dilapangan	97
23.	Data pengujian <i>unconfined compression test</i> kolom kapur dilapangan.....	98
24.	Data pengujian berat isi tanah kolom kapur dilapangan.....	98

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	Kerusakan jalan dan rumah penduduk.....	2
2.	Kerangka pikir penelitian	6
3.	Single silika tetrahedral, Isometric silika sheet, Single aluminium oktahedron, Isometric oktahedral shee	10
4.	Struktur <i>montmorillonite</i>	11
5.	Grouting dari bawah ke atas.....	18
6.	Grouting dari atas ke bawah.....	18
7.	Mekanisme keruntuhan menurut Prandtl's, geometry dan letak kolom dibawah pondasi kaku	19
8.	Bagan alir penelitian	26
9.	Lokasi pengambilan sampel tanah ekspansif.....	27
10.	Kapur padam $\text{Ca}(\text{OH})_2$	27
11.	Bahan-bahan untuk pengujian	29
12.	Pengambilan sampel Test Pit.....	31
13.	Pengujian Karakteristik Material	31
14.	Model alat kompressor	38
15.	Tabung mixer injeksi	39
16.	Model alat <i>helix blade hollow</i>	39
17.	Mesin penggerak hidrolik	40
18.	Set alat <i>shallow mixing</i>	41

19.	Hasil pengujian kolom kapur dengan menggunakan alat bor <i>shallow mixing</i>	42
20.	Proses injeksi slurry kapur	43
21.	Proses Pencampuran dan pepadatan	43
22.	Dimensi bak uji.....	49
23.	Persiapan Sampel pada Bak uji	50
24.	Kondisi perubahan kadar air akibat pengaruh cuaca	50
25.	Setup alat shallow mixing pada bak uji.....	52
26.	Pengisian air pada bak uji	52
27.	Pembacaan dial pengembangan.....	53
28.	Proses pembasahan	53
29.	Proses penyusutan.....	53
30.	Lokasi sampel tanah	54
31.	Grafik plastisitas <i>Casagrande</i>	56
32.	Klasifikasi potensi pengembangan tanah berdasarkan Cara Seed <i>et al</i>	60
33.	Bentuk butiran tanah lempung	62
34.	Hasil pengujian XRD dari tanah	64
35.	Hasil pengujian SEM tanah ekspansif (Data primer).....	65
36.	Hasil pengujian SEM mineral montmorillonite (Data sekunder).	65
37.	Karakteristik kapur di daerah Lobong , Bolaangmongondow	65
38.	Bentuk butiran Kapur.....	67
39.	Hasil pengujian XRD dari kapur	68

40.	Hubungan indeks plastisitas dan <i>curing time</i>	71
41.	Hubungan indeks plastisitas dan volume kapur	73
42.	Hubungan <i>Linear shrinkage</i> dan <i>curing time</i>	75
43.	Hubungan Linear shrinkage dan volume kapur	77
44.	Hubungan Tegangan dan Regangan Tanah Ekspansif.....	79
45.	Hubungan Tegangan dan Regangan <i>unconfined compression test</i> dengan penambahan volume kapur 100 kg/m ³	81
46.	Hubungan Tegangan dan Regangan <i>unconfined compression test</i> dengan penambahan volume kapur 150 kg/m ³	84
47.	Hubungan Tegangan dan Regangan <i>unconfined compression test</i> dengan penambahan volume kapur 200 kg/m ³	87
48.	Hubungan Hubungan <i>Unconfined Compression Test</i> dengan slurry air kapur	89
49.	Konfigurasi empat buah kolom kapur pada bak uji.....	91
50.	Penampang dan tampilan titik pengukuran pengembangan dan penyusutan pada bak uji	92
51.	Hubungan kembang susut titik 1,2,3,4,5,6 dan titik tengah terhadap waktu.....	93
52.	Hubungan kembang susut titik 7,8,9,10,11,12 dan titik tengah terhadap waktu.....	94
53.	Pengujian kuat tekan kolom kapur	96

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Arti dan keterangan
SNI	Standar Nasional Indonesia
ASTM	American Society for Testing and Materials
LL	Batas cair
PL	Batas plastis
PI	Indeks plastisitas
LS	Linear shrinkage
w	Kadar air
Gs	Berat Jenis
Yb	Berat isi tanah basah
Yd	Berat isi tanah kering
CH	Lempung plastisitas tinggi
SSM	Shallow Mixing Method
UCS	Unconfined comprehension strength
qu	Nilai kuat tekan
rpm	rotation per minute
bar	Tekanan
α	Volume bahan pengikat
W/L	Perbandingan air dan kapur
Wsluury	Berat air pengikat kapur
C	Fraksi lempung
A	Activity
Ca(OH) ₂	Kalsium hidroksida
MPa	Mega pascal, satuan tekanan
°C	Celsius, satuan temperature
Si-O-Al	Silica-oksida-alumina, Ikatan kimia
C-S-H	calcium silicate hydrate, ikatan kimia
N-A-S-H	Sodium aluminosilicate hydrate, ikatan kimia
SEM	Scanning Electron Microscope

EDX	Energy Dispersive X-Ray spectroscopy
XRF	X-Ray Fluorescence
XRD	X-Ray Diffraction
Mm	millimeter, satuan Panjang
μm	mikrometer, satuan panjang
Si	Silika
Al	Alumina
O	Oksigen
Fe	Besi
Na	Natrium, sodium
C	Karbon
Mg	Magnesium
H ₂ O	hidroksida, air
CaO	Kalsium oxide

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di Indonesia ditinjau dari kejadian tanahnya hampir 65% tanah yang ada di Indonesia merupakan tanah laterit, tanah ini merupakan tanah ekspansif yang mempunyai kembang susut besar. Tanah lempung ekspansif hampir terdapat di seluruh Indonesia mulai dari Nangroeh Aceh Darusalam (NAD) sampai ke Papua.(Sudjianto et al,2012)

Di Sulawesi utara terdapat tanah ekspansif seperti di Bolaang Mongondow timur. (Denny Boy Pinasang dan , O.B.A Sompie,2016), memiliki potensi mengembang tinggi dengan kandungan mineral lempung montmorillonite. Hasil uji indeks properties menunjukkan nilai plastisitas Indeks sebesar 44.08 %, batas susut linear 19.44 % dan activity sebesar 1.84. Dari metode indeks tunggal, tanah berpotensi mengembang tinggi (Holtz,Gibbs, 1959.), tanah memiliki derajat mengembang tergolong tinggi Dari metode klasifikasi USBR tanah memiliki derajat mengembang tinggi dan berdasarkan klasifikasi USCS, klasifikasi tanah termasuk pada kelompok CH (lempung plastisitas tinggi). Akibat perilaku tanah yang memiliki kembang susut tinggi sehingga menimbulkan kerusakan pada jalan dan rumah tinggal penduduk.



Gambar 1. Kerusakan jalan dan rumah penduduk

Untuk itu perlu dilakukan perbaikan sifat fisik tanah dengan cara stabilisasi untuk meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi nilai pengembangannya. Upaya stabilisasi tanah lempung sudah banyak dilakukan dengan stabilisator yang beraneka ragam seperti : kapur, semen, kombinasi semen dan abu terbang, GEOSTA, aspal dan lain-lain. Alasan penggunaan bahan-bahan tersebut adalah kesesuaiannya dengan jenis tanah, mudah didapat, murah harganya, dan tidak mencemari lingkungan (Hatmoko & Lulie,2007).

Ada beberapa metode stabilisasi tanah yang biasanya digunakan dalam upaya untuk memperbaiki mutu tanah dasar yang kurang baik mutunya. Metode tersebut antara lain yaitu stabilisasi mekanik, kimiawi antara lain adalah portland cement, lime, bitumen, fly ash dan lain-lain.

Salah satu upaya untuk mendapatkan sifat tanah yang memenuhi syarat-syarat teknis tertentu adalah dengan metode stabilisasi tanah. Metode stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi 2 klasifikasi utama yaitu berdasarkan sifat teknisnya dan berdasarkan pada tujuannya, dimana

beberapa variasi dapat di gunakan. Dari sifat teknisnya, stabilisasi dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu: stabilisasi mekanis, stabilisasi fisik, dan stabilisasi kimiawi (Smaida et al, 2021).

Stabilisasi tanah secara mekanis ini dilakukan dengan cara mencampur tanah ekspansif dengan tanah non ekspansif, diharapkan dengan mencampur kedua jenis tanah ini dapat memperbaiki sifat dari tanah ekspansif. Tinggi dari timbunan tanah non ekspansif harus tepat agar didapat kekuatan yang diinginkan. Tidak ada petunjuk yang tepat, berapa tinggi timbunan tersebut.

Stabilisasi kimiawi dengan menambahkan bahan kimia tertentu sehingga terjadi reaksi kimia. Bahan yang biasanya digunakan antara lain portland cement, kapur tohor dan bahan kimia lainnya. Stabilisasi ini dilakukan dengan dua cara yaitu mencampur tanah dengan bahan kimia kemudian diaduk dan dipadatkan, cara kedua adalah memasukan bahan kimia kedalam tanah (grouting).

Stabilisasi tanah dengan kapur telah banyak digunakan pada proyek-proyek jalan di banyak negara. Untuk hasil yang optimum kapur yang digunakan biasanya antara 3% sampai dengan 7%. Thomson (1968) menemukan bahwa dengan kadar kapur antara 5% sampai dengan 7% akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar dari kadar kapur 3%.

Dasar dari konsep pencampuran tanah telah dilakukan lebih dari 50 tahun yang lalu di Amerika Serikat, penelitian dan teknik konsep untuk teknologi pencampuran tanah secara modern dikembangkan dan

digunakan di Jepang dan Swedia, selama lima dekade terakhir. Pada tahun 1954, Intrusion Prepakt Co. (Amerika Serikat) mengembangkan Teknik Piling Campuran di Tempat (MIP). Pada tahun 1960-an Jepang dan Swedia telah mengembangkan program penelitian tentang pencampuran tanah dalam, yang terdiri dari uji laboratorium dan lokasi. Selama tahun 1970-an, beberapa teknologi dikembangkan dan digunakan dalam proyek-proyek, terutama di Jepang dan Swedia: *soil mix wall* (SMW), Pencampuran Kapur Dalam (DLM) dan *Cement Deep Mixing* (CDM). Teknologi Eropa pertama yang dikembangkan di tempat lain selain Skandinavia adalah teknologi Colmix, yang diperkenalkan oleh Perusahaan Bachy di Perancis, di mana tanah semennya dipadatkan dan dicampur dalam waktu yang sama. Pencampuran Tanah Dalam (DSM) dan Pencampuran Tanah Dangkal (SSM) terungkap pada akhir tahun 1980-an. Perkembangan lebih lanjut dari teknologi yang disebutkan di berkembang sampai tahun 2000, dan teknologi baru seperti Geomix, Trenchmix, dan Springsol, diperkenalkan oleh Soletanche Bachy (Oana Caraşca,2016).

Teknologi diatas bisa dilakukan pada stabilisasi tanah dangkal dan pencampuran tanah dalam yang memerlukan teknologi tinggi yang sulit dilakukan pada daerah-daerah tertinggal seperti di desa-desa oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian tentang metode baru yang sederhana tidak menggunakan teknologi tinggi dengan menggunakan teknologi tepat guna dapat mengatasi persoalan stabilisasi tanah ekspansif yang terjadi di Indonesia.

B. Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang, maka masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mendapatkan karakteristik fisik dan mekanis tanah ekspansif?
2. Bagaimana karakteristik mekanis tanah ekspansif akibat penambahan volume kapur?
3. Bagaimana perilaku kolom tiang tanah ekspansif injeksi kapur menggunakan metode pencampuran dangkal?

C. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis karakteristik fisik dan mekanis tanah ekspansif.
2. Mengevaluasi karakteristik mekanis tanah ekspansif akibat penambahan volume kapur.
3. Mengembangkan prototipe kolom tiang tanah ekspansif dengan metode pencampuran dangkal.

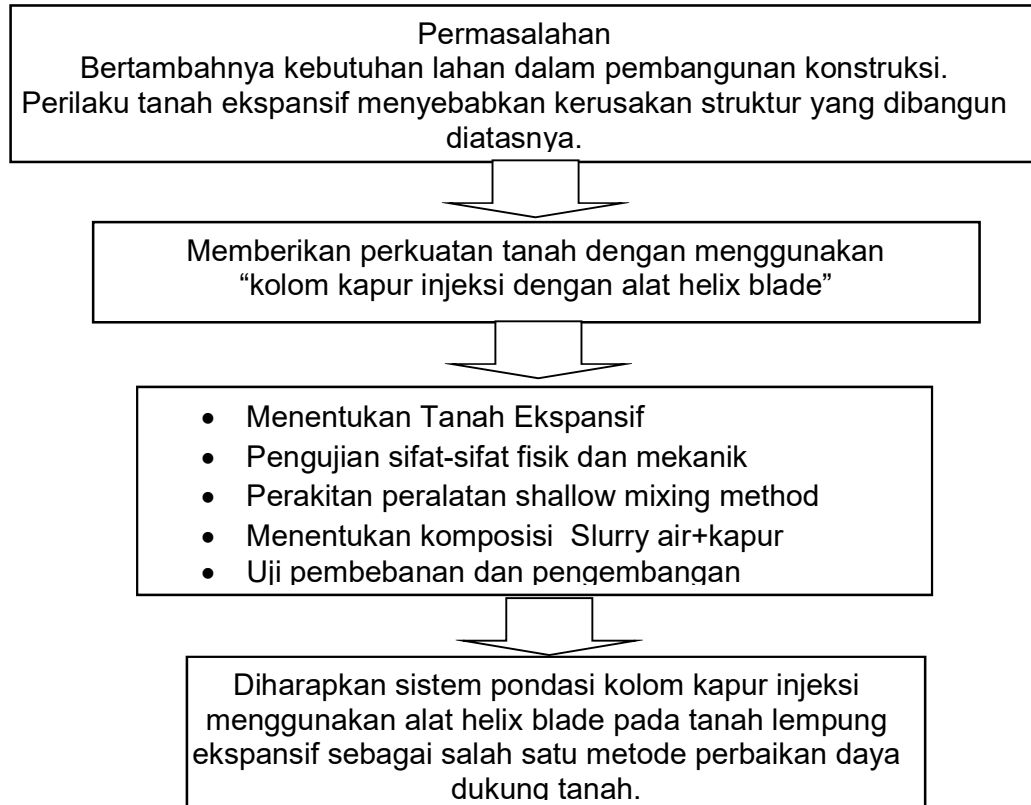
D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Memberikan solusi alternatif dalam usaha mengatasi kerusakan akibat perilaku tanah ekspansif dengan menggunakan sistem pondasi kolom stabilisasi tanah ekspansif injeksi kapur menggunakan alat *shallow mixing method*.

2. Dari hasil penelitian diharapkan sistem pondasi kolom stabilisasi tanah ekspansif injeksi kapur menggunakan alat *shallow mixing method* sebagai salah satu metode perbaikan daya dukung tanah.

E. Kerangka Pikir dan Sistematika Penulisan



Gambar 2. Kerangka pikir penelitian

Bab I. Pendahuluan

Pada bab ini dibahas tentang latar belakang penelitian, rumusan permasalahan, tujuan yang ingin dicapai, ruang lingkup dan batasan masalah dan manfaat yang diharapkan akan dicapai.

Bab II. Tinjauan Pustaka

Pada bab ini dibahas tentang teori dasar, prinsip dasar dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian ini. Diharapkan dengan adanya data tersebut agar dapat diperoleh pemecahan masalah, hasil penelitian yang baik dan maksimal.

Bab III. Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan rancangan penelitian, waktu, lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan, metode analisis dan bagan alir penelitian.

F. Kebaruan/Novelti

Inovasi struktur perkuatan tanah ekspansif menggunakan kolom stabilisasi kapur dengan konsep *Shallow Mixing Method* (SSM).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Karakteristik tanah ekspansif

Tanah ekspansif, disebut juga dengan *shrink swell soil*, memiliki kecenderungan menyusut dan mengembang dengan variasi kadar air dan hal ini menyebabkan terjadinya variasi pada tanah tersebut, terjadi distress yang signifikan pada tanah, yang kemudian diikuti oleh kerusakan pada struktur di atasnya. Selama periode kelembapan yang lebih tinggi, seperti musim hujan, tanah ini menyerap air dan mengembang kemudian menjadi lunak dan di musim panas, tanah ini kehilangan kelembapan yang tertahan di dalamnya karena penguapan, yang mengakibatkan terjadi penyusutan (Indiramma et al, 2019). Mineral lempung merupakan senyawa *Aluminium-Silikat* yang kompleks. Mineral ini terdiri dari dua lempeng kristal pembentuk kristal dasar yaitu *Silikat Tetrahedral* dan *Aluminium Oktahedral* (Lambe & Witman, 1969 dan Grim Ralp.E, 1959) sebagaimana dikutip (LIU,2013). Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki tingkat sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air dengan memperlihatkan perubahan volume besar dan penurunan *Shear strenght*.

Menurut (AA_Holtz_and_Kovacs,1981) satuan struktur dasar dari mineral lempung terdiri dari *silica Tetrahedron* dan *Alumina Oktahedron*. Satuan-satuan dasar tersebut bersatu membentuk struktur lembaran. Jenis- jenis mineral lempung tergantung dari kombinasi susunan satuan

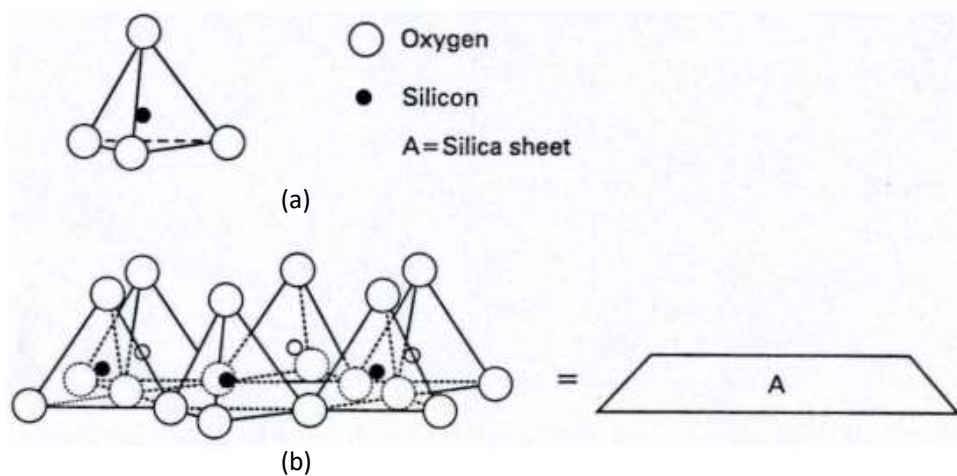
struktur dasar atau tumpukan lembaran serta macam ikatan antara masing-masing lembaran.

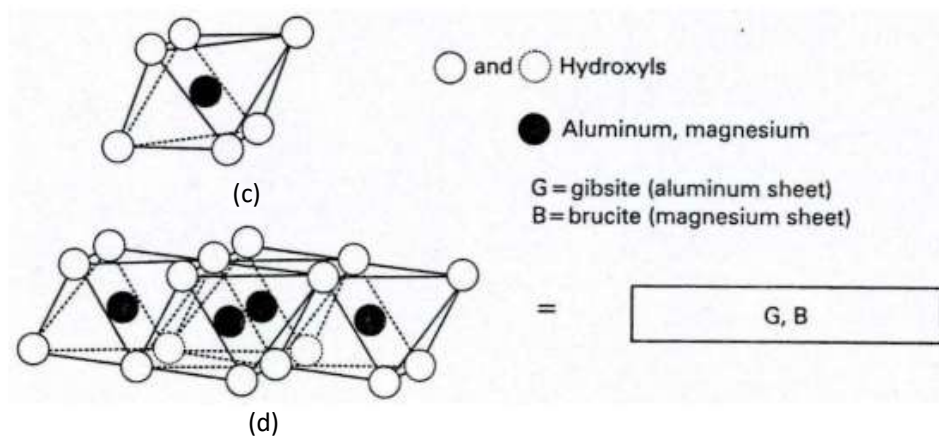
Silika Tetrahedron

Lembaran tetrahedral seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.(b), pada dasarnya merupakan kombinasi dari satuan *silica tetrahedron* yang terdiri dari satu atom *silicon* yang dikelilingi pada sudutnya oleh empat buah atom oksigen, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.(a).

Alumina octahedron

Lembaran oktahedral seperti yang terlihat pada Gambar 3 (d), pada dasarnya merupakan kombinasi dari satuan *Alumina Oktahedron* yang terlihat pada Gambar 3 (c) yang terdiri dari satu atom *alumina* yang dikelilingi oleh atom *Hidroksil* pada keenam sisinya.



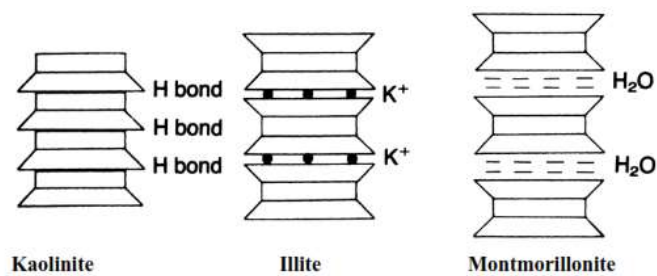


Gambar 3. (a) Single silika tetrahedral, (b) Isometric silika sheet, (c) Single alumunium oktahedron, (d) Isometric oktahedral sheet (Grim, 1959)

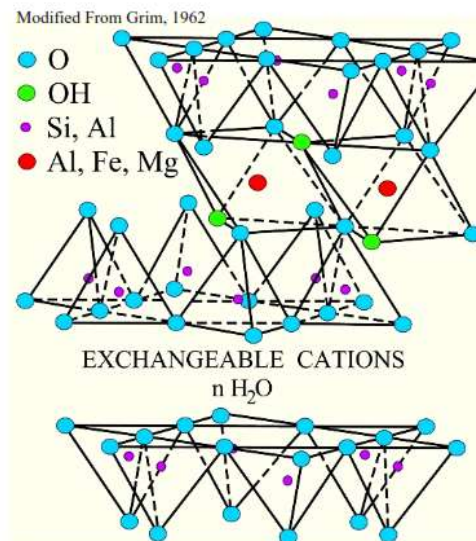
Substitusi dari kation-kation yang berbeda pada lembaran octahedral akan mengakibatkan mineral lempung yang berbeda pula. Apabila ion-ion yang disubstitusikan mempunyai ukuran sama disebut *ishomorphous*. Bila seluruh anion dari lembaran octahedral adalah *hydroxyl* dan dua per tiga posisi kation diisi oleh *alumunium* maka mineral tersebut disebut *gibbsite*, dan bila *magnesium* disubstitusikan kedalam lembaran *alumunium* dan mengisi seluruh posisi kation, maka mineral tersebut disebut *brucite*.

Mineral *Montmorillonite* disebut juga mineral dua banding satu (2:1) karena satuan susunan kristalnya terbentuk dari susunan dua lempeng *silica tetrahedral* mengapit satu lempeng alumina octahedral ditengahnya. Tebal satu satuan unit adalah $9,6 \text{ \AA}$ ($0,96 \mu\text{m}$) seperti ditunjukkan pada gambar 4 (a) dan (b) sebagaimana dikutip Das, Braja M (1985). Hubungan antar satuan unit diikat oleh ikatan gaya *Vander Walls* diantara ujung-ujung

atas dari lembaran silika itu sangat lemah; maka lapisan air (H_2O) dengan kation yang dapat bertukar dengan mudah menyusup dan memperlemah ikatan antar satuan susunan kristal mengakibatkan antar lapisan terpisah. Ukuran gugus kristal *Montmorillonite* sangat kecil tapi mempunyai luasan specific per satuan unit massa sangat besar, dapat menyerap air dengan sangat kuat, mudah mengalami proses pengembangan.



(a)



(b)

Gambar 4. (a) dan (b) Struktur *montmorillonite* (Grim, 1959)

B. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Menurut (Chen,1975) yang dikutip oleh (Asuri dan Keshavamurthy,2016) cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

- Identifikasi Mineralogi
- Cara tidak langsung (*single index method*)
- Cara langsung

a. Identifikasi Mineralogi

Analisa mineralogi sangat berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut suatu tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara :

- Difraksi Sinar X (*X-Ray Diffraction*)
- Penyerapan terbilas (*Dye Absorbsion*)
- Penurunan Panas (*Differensial Thermal Analysis*)
- Analisa Kimia (*Chemical Analysis*)
- Elektron Microscope Resolution

b. Cara Tidak Langsung

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah uji batas-batas Atterberg, linear shrinkage test (uji susut linier), uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid.

- Atterberg Limit

ASTM 4318-00 secara empiris menunjukkan hubungan nilai potensi mengembang dengan indeks plastisitas dari hasil uji Atterberg. Besaran

indeks plastis dapat digunakan sebagai indikasi awal swelling pada tanah lempung (*seed et al, 1962*). Potensi mengembang didefinisikan sebagai persentase mengembang contoh tanah lempung yang dipadatkan pada kadar air optimum metode AASHTO *T 180*, setelah contoh direndam dengan beban 1 psi.

Chen (1975) berpendapat bahwa potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas sehingga *Chen* membuat klasifikasi potensi pengembangan pada tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, seperti yang tercantum dalam Tabel.1.

Tabel 1. Hubungan potensi mengembang dengan indeks plastisitas
(*Chen, 1975*)

Potensi mengembang	Indeks Plastisitas
Rendah	0-15
Sedang	10-35
Tinggi	20-55
Sangat tinggi	>35

C. Stabilisasi tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu cara yang digunakan untuk mengubah atau memperbaiki sifat tanah dasar sehingga diharapkan tanah dasar tersebut mutunya dapat lebih baik dan dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya.

Usaha stabilisasi yang biasa pada tanah berbutir halus dapat dilakukan dengan memberi bahan tambah kimia sehingga terjadi suatu reaksi yang dapat meningkatkan daya dukungnya. Bahan-bahan yang biasa dipergunakan antara lain semen, abu batu bara (*fly ash*), kapur dan campuran antara abu batu bara dan kapur (Ramaji, Amin Esmaeil, 2012). Penelitian-penelitian mengenai stabilisasi tanah telah banyak dilakukan, antara lain penelitian pada tanah lempung ekspansif. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa dengan penambahan kapur dan abu sekam padi (*Rice Husk Ash/RHA*) akan meningkatkan nilai CBR dan menurunkan indeks plastisitas, dengan prosentase kapur yang ditambahkan berkisar antara 5-10%.

Stabilisasi Tanah dan Kapur

Penambahan kapur sebagai mineral reactive adalah sangat tepat dimana proses reaksi yang timbul melalui dua tahapan. Sebagai bahan reaktan pada tanah lempung yang biasanya ditandai dengan nilai plastisitas

indeks dan clay content tinggi (>10%), proses reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

Tahap pertama, reaksi pertama terbentuk dalam selang beberapa jam setelah pencampuran, yaitu setelah terjadinya reaksi pertukaran ion-ion dari mineral dengan kapur yang mana memberikan efek pada penurunan ketebalan diffuse double layers sehingga tarikan tepi permukaan partikel lempung meningkat (*Hilt dan Davidson, 1960*) sebagaimana dikutip (Bell, 1996). Penarikan gaya tarik Van der Waal pada tepi partikel lempung mengakibatkan terjadinya flokulasi partikel-partikel lempung yang mempunyai sifat plastisitas rendah, terxture besar dan lepas. Dalam kondisi kelebihan air terjadinya reaksi isometric pada tanah selama proses pengeringan akan memberikan kemudahan didalam pekerjaan tanah. Reaksi pada tahap ini biasanya dikenal sebagai proses modifikasi.

Tahap kedua, reaksi kedua terjadi segera setelah flokulasi antara partikel-partikel lempung dan kapur, dilanjutkan pembentukan pozzolanic yang memberikan efek kestabilan tanah.

Dalam keadaan alkalis tinggi terjadi peningkatan pelepasan ion silica dan alumina dari mineral lempung yang selanjutnya akan bereaksi dengan ion calcium dari mineral kapur untuk membentuk calcium silicate hydrates dan calcium aluminate hydrates. Hasil reaksi ikatan yang terbentuk memungkinkan tanah mempunyai sifat *durability* dan *strength* yang tinggi.

Efek penambahan kapur pada tanah lempung

Tanah ekspansif memiliki indeks plastisitas dan nilai aktivitas yang tinggi. Injeksi larutan kapur dapat menurunkan plastisitas tanah, dengan penurunan nilai indeks plastisitas akibat nilai batas cairnya turun. Pengamatan pada nilai indeks plastisitas (PI) menunjukkan bahwa dari hari ke 7 sampai hari ke 28 masih terjadi penurunan nilai indeks plastisitas tanah (Sumiyanto and Apriyono). Kapur merubah sifat fisik secara besar pada tanah lempung pada tingkat yang bervariasi (*National Lime Association, 1982*) sebagaimana dikutip Adi, Prasetijo 1991.

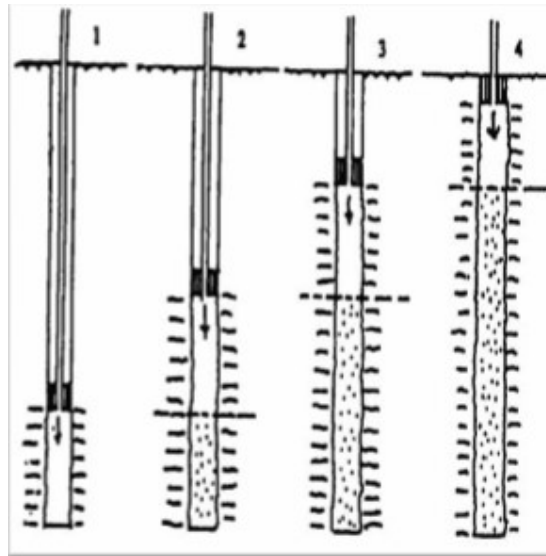
1. Nilai PI turun tajam secara umum LL berkurang dan PL bertambah
2. Tanah merupakan suatu gumpalan pada prinsip mengurangi butiran pengikat (binder) pada tanah.
3. Kapur dan air mempercepat penghancuran gumpalan lempung selama mixing sebagai hasil dari point dua dan point tiga tanah menjadi lepas sehingga mudah dikerjakan.
4. Kapur membuat tanah basah menjadi cepat kering sehingga mempercepat pelaksanaan pemadatan.
5. Sifat mengembang dan menyusut tanah lempung berkurang.
6. Nilai Unconfined Compressive Strength diperkirakan meningkat setelah pemeraman dalam beberapa kasus sekitar kelipatan 14 hari.
7. Terjadi kenaikan nilai CBR maupun regangan dan nilai kohesi.

D. Perbaikan tanah dengan metode grouting

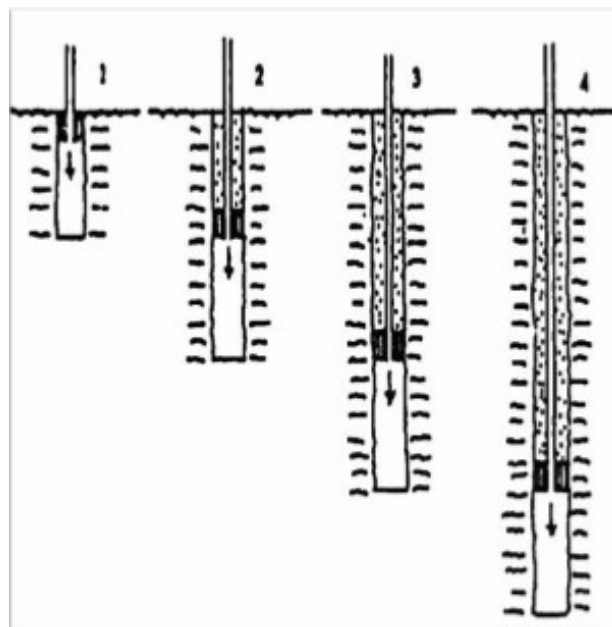
Menurut Bowles, dalam bukunya yang berjudul "*Geotechnical Analysis*" , yang dimaksud dengan Grouting (sementasi) adalah proses dimana material-material cair, baik dalam bentuk suspensi atau larutan yang dimasukkan ke bawah permukaan tanah ataupun batu yang bertujuan untuk mengurangi permeabilitas (penyebaran), meningkatkan kekuatan geser, dan mengurangi kompresibilitas (penekanan).

Maksud dan tujuan grouting adalah untuk menyuntikkan bahan berupa campuran semen atau bahan kimia lain dan air ke dalam lapisan tanah dengan tujuan untuk memperbaiki kekuatan dan daya dukung lapisan tanah di bawah pondasi, juga untuk menurunkan harga koefisien permeabilitas tanah sehingga pergerakan tanah dapat diatasi. Bahan suspensi grouting umumnya menggunakan material berupa : betonit, semen, kapur, aspal, serta bahan larutan lain berupa bahan kimiawi.

Berdasarkan cara pelaksanaannya, grouting dibagi menjadi 2 cara, yaitu : grouting dari bawah ke atas dan grouting dari atas ke bawah. Cara yang akan dipakai tergantung dengan keadaan geologi dari batuan yang dapat dilihat dari pengeboran (*boring log*), pengujian kelulusan air, dan pengujian (*test grouting*).



Gambar 5. Grouting dari bawah ke atas



Gambar 6. Grouting dari atas ke bawah.

E. Mekanisme kegagalan menurut Prandtl

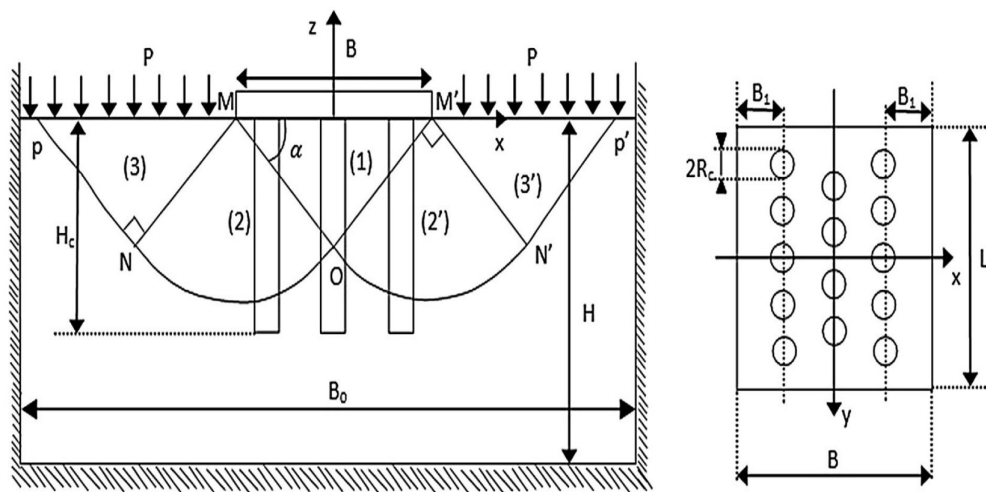
Ada dua model kolom stabilisasi yaitu kolom yang sampai pada tanah keras dan kolom yang tidak sampai pada tanah keras. Untuk kolom simetris

pengaturan batas atas daya dukung dihitung dengan mekanisme kegagalan Prandtl. Model keruntuhan Prandtl untuk kolom tidak sampai pada tanah keras harus memenuhi syarat persamaan dibawah ini:

$$H_c \geq \frac{B}{2 \cos \alpha} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{B}{\sin 2\alpha} < \frac{B_o - B}{2} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : B = Lebar pondasi
 α = Sudut keruntuhan (39.97°)
 Bo = Lebar bak uji
 Hc = Panjang kolom



Gambar. 7. (a) Mekanisme keruntuhan menurut Prandtl's; (b) geometry dan letak kolom dibawah pondasi kaku(Bouassida et al,2009).

F. Matriks Penelitian Terdahulu

Untuk dapat mendukung penelitian ini digunakan referensi sebagai pendukung diantara penelitian yang relevan dengan penelitian ini yang pernah dilakukan adalah :

Agus Setyo Muntohar et.al (2008), Teknik *grouting* dan *deep mixing* adalah teknik yang lebih efektif mengurangi likuifaksi. Pada naskah ini akan disajikan hasil kajian laboratorium tentang pengaruh penggunaan teknik kolom-semen terhadap kekuatan tanah di sekitar kolom-semen. Kolom-semen dibuat dalam skala model laboratorium dengan diameter 0,051 m dan panjang 0,22 m pada media tanah pasir berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,0 m untuk panjang, lebar dan tinggi. Kekuatan tanah di sekitar kolom diukur pada arah radial dan vertikal dengan alat uji sondir konus ganda (*biconus CPT*) yang diuji pada umur kolom-semen 1, 3 dan 7 hari setelah pemasangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tanah baik perlawanan ujung (q_c) dan perlawanan gesek (q_f) di sekitar kolom-semen meningkat setelah pemasangan kolom-semen. Kekuatan tanah berkurang jika jaraknya 33 cm semakin jauh dari kolom-semen. Kekuatan tanah juga meningkat dengan bertambahnya umur kolom-semen. Secara umum dapat dikatakan bahwa pemasangan kolom-semen telah mampu meningkatkan kekuatan tanah di sekitarnya baik pada arah radial maupun vertikal. Peningkatan kekuatan ini merupakan indikasi berkurangnya resiko likuifaksi pada tanah berpasir.

F. Rackwitz dan M. Schubler (2010), Hasil penelitiannya menggunakan *granular column* yang pasang di dalam tanah organik sebagai perkuatan tanah dengan menggunakan uji model laboratorium dengan beban vertikal. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kuat geser, deformasi vertikal, tekanan air pori dan tekan tanah sebelum dan sesudah pemasangan *granular column*. Hasil pengujian didapat perbandingan regangan vertikal yang diukur dengan tes oedometer pada tegangan 25 kPa, tanpa menggunakan *granular column* sebesar 35 % dan dengan menggunakan *granular column* sebesar 17,5 % dan penurunan yang terjadi sebesar 50 %. Sebagian besar penurunan terjadi pada kedalaman 2,5 kali diameter kolom. Dengan adanya *granular column* beban yang diberikan dapat meningkatkan kekuatan tanah organik.

Prof. Dr. Ir. Lawalenna Samang, MS.,M.Eng., Dr.Eng. Tri harianto, ST.,MT. dan Ir. Achmad Zubair, MT (2010), Efektifitas Pondasi *Raft* dan *Pile* Dalam Mereduksi Penurunan Tanah Dengan Metode Numerik. Desain pondasi *Raft* dan *Pile* diperkenalkan dalam studi ini untuk mereduksi penurunan tanah. Metode Elemen Hingga digunakan untuk menginvestigasi efektifitas dari pondasi *raft* dan *pile* mereduksi penurunan tanah khususnya pada jalan raya yang dibangun di daerah rawa. Selanjutnya, model numerik digunakan dalam mempelajari pengaruh dari tipe dan kedalaman pondasi yang dipasang di lapangan. Penurunan dan deformasi tanah dianalisa dalam penelitian ini untuk menentukan efektifitas

dan kemungkinan aplikasi dari model pondasi ini dilapangan. Hasil dari metode elemen hingga yang digunakan menunjukkan bahwa tipe pondasi *raft* dan *pile* secara signifikan menurunkan besarnya penurunan dari badan jalan akibat beban permukaan. Deformasi yang terjadi pada badan jalan tanpa pekuatan mencapai 0,553 m sedangkan dengan pekuatan 3 m dan 5 m masing masing sebesar 0,246 m dan 0,225 m.

Suherman, M (2004), Metode kolom *grouting* untuk mengatasi likuifaksi tanah di bawah pondasi. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa *grouting* merupakan suntikan bahan cair ke dalam rongga-rongga tanah atau ruang antara tanah dengan bangunan di dekatnya, biasanya dilakukan melalui lobang bor dan diberi tekanan. Kebanyakan *grouting* didesain untuk memperoleh perubahan sifat tanah dengan secara serentak atau melalui jangka waktu, setelah dilakukan injeksi. Tujuan utama dari teknik *grouting* adalah untuk mendapatkan yang lebih kuat, lebih padat, dan kurang permeabel pada tanah atau batuan. *Grouting* terhadap tanah pondasi dimaksudkan untuk menambah stabilitas dan mereduksi kompresibilitas baik bersifat permanen maupun sementara. Tanah non kohesif dengan gradasi tidak lebih halus dari pasir medium, pemberian semen *grouting* sering dilakukan dengan menggunakan tekanan rendah.

Tandel Y.K, Solanki C.H dan Desai A.K (2012), Dalam penelitian ini *granular column* dibungkus dengan *geosynthetic* dan dipasang pada tanah

yang dalam yang akan distabilisasikan. Dari hasil pengujian ini didapat *granular column* yang berdiameter kecil lebih baik dibandingkan dengan yang berdiameter besar karena tekanan dalam *column* berdiameter kecil lebih rendah, kapasitas beban *ultimit column* meningkat seiring peningkatan kekakuannya, *granular column* yang dibungkus dengan *geosynthetic* dapat mengurangi penurunan hingga 50 % dari tanah yang tidak menggunakan perkuatan *granular column*, kapasitas beban *ultimit granular column* yang diperkuat *geosynthetic* dapat meningkat 2 sampai 3 kali dari yang tanpa perkuatan granular column dan analisis teoritis serta hasil uji model menghasilkan bahwa *granular column* yang terbungkus *geosynthetic* efisien untuk perbaikan tanah lunak.

Timothy D. Stark (2009), Teknik jet grouting menggunakan cairan jet tekanan / kecepatan tinggi untuk mengikis tanah yang ada dan kemudian mencampur menjadi pasta semen untuk membentuk tanah. Jika tanah asli tidak sepenuhnya tercampur maka kolom yang dihasilkan akan memiliki inklusi tanah yang dapat mengurangi kekuatan kolom dan / atau meningkatkan permeabilitas kolom. Inklusi yang diamati meliputi sejumlah besar butiran halus (tanah liat) dan pasir berbutir kasar (pasir halus dan pasir). Bukti menunjukkan setidaknya dua penjelasan: (1) tanah berbutir halus bisa sulit terkikis dan pecah menjadi partikel yang cukup kecil yang dapat dikeluarkan ke permukaan, terutama jika pada kandungan air alami rendah, dan (2) ketika kolom berdiameter besar sedang digali, atap galian rongga silindris mungkin tidak stabil dan mungkin runtuh.