

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH KEDALAMAN TERHADAP GAYA TARIK  
ANGKUR LIPAT PADA TANAH LUNAK**

***EFFECT OF DEPTH ON FOLDING TYPE GROUND ANCHOR  
TENSILE FORCE IN SOFT SOIL***

**MUHAMMAD ILHAM AKBAR MALLOMBASANG  
D111 16 321**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**

**PENGARUH KEDALAMAN TERHADAP GAYA TARIK ANGKUR LIPAT PADA  
TANAH LUNAK**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD ILHAM AKBAR MALLOMBASANG**


**D111 16 321**

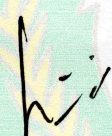
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 8 Maret 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,



Pembimbing I,

Pembimbing II,

  
**Prof. Dr. Ir. Abd. Rahman Djamaluddin, MT**  
NIP: 195910101987031003

  
**Ir. Ariningsih Suprapti, ST, MT.**  
NIP: 197307122000032002

Ketua Program Studi,

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

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Muhammad Ilham Akbar Mallombasang, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"Pengaruh Kedalaman Terhadap Gaya Tarik Angkur Lipat Pada Tanah Lunak"**, 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, 10 Maret 2023

Yang membu



Muhammad Ilham Akbar M.

NIM: D111 16 321

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur atas kehadiran Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda Rasulullah SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Kedalaman Terhadap Gaya Tarik Angkur Lipat Pada Tanah Lunak” merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak hanya dari penulis sendiri melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng., selaku Ketua dan Bapak Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T., selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, M.T, selaku dosen pembimbing I sekaligus Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan Ibu Ir. Ariningsih Suprpti, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu Bapak Dr. Ir. Syamsul Bahri M.Si dan Ibu Dr. Dharmawaty M. Taher S.Pd., M.Si atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu. Begitu

juga untuk kedua adik saya Muhammad Ardiansyah dan Qurraty Aini Fadillah

2. Kepada Bapak Dr. H. Muhammad Idhil Maming, ST, MT yang telah mengizinkan penulis mengikuti penelitiannya sehingga tugas akhir ini dapat terealisasi
3. Kepada saudari Natasya Alia Andina Faro S.Ars yang telah meluangkan waktu membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Teman-teman KKD Geoteknik 2016 yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman-teman SERIGALA TERAKHIR sebagai rekan penulis yang sudah mau berjuang sampai titik akhir.
6. Saudara-saudari PATRON 2017 atas waktu, cerita, kenangan, dan semangatnya yang tak lekang oleh masa, semoga tetap solid dan maju, terima kasih karena telah menjadi salah satu pendukung setia dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas semua dukungan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 8 Maret 2023

Muhammad Ilham Akbar M.

## ABSTRAK

Tanah lunak merupakan salah satu jenis tanah yang umum ditemukan di Indonesia, namun dalam konstruksi, tanah tipe ini seringkali menjadi permasalahan yaitu terhadap stabilitas tanah pada proses pembuatan struktur bangunan. Dalam upaya mengetahui stabilitas tanah atau lereng, digunakan angkur sebagai media ukur. Beberapa struktur telah menggunakan angkur dan telah dikembangkan guna berbagai keperluan seperti pada perkuatan lereng, dinding penahan tanah (turap), stabilitas terowongan, dan sebagainya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kedalaman angkur tanah tipe lipat (*folding type*) terhadap gaya tarik serta menganalisa perbandingan gaya tarik hasil pengujian eksperimental laboratorium dengan pengujian skala penuh lapangan.

Metode Penelitian ini dilakukan dengan uji gaya tarik angkur tipe lipat skala Laboratorium dengan kedalaman 30cm, 60cm dan 90cm dan uji skala lapangan menggunakan angkur tipe lipat dengan kedalaman 100cm, 200cm dan 300cm.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium maupun lapangan dapat disimpulkan bahwa angkur model tipe lipat tidak perlu didesain terlalu dalam karena angkur tersebut mempunyai suatu batasan kritis dimana meskipun kedalaman ditambah tidak lagi menambah gaya tarik maksimum yang lebih besar. Selain itu, Perbandingan gaya tarik hasil pengujian eksperimental laboratorium dengan pengujian skala penuh lapangan menghasilkan kesamaan sifat hasil uji tarik maksimum

Kata Kunci : Angkur Tipe Lipat, Tanah Lunak, Gaya Tarik

## ABSTRACT

Soft soil is one type of soil that is commonly found in Indonesia, but in construction, this type of soil is often a problem, namely for soil stability in the process of making building structures. In an effort to determine the stability of the soil or slope, an anchor is used as a measuring medium. Several structures have used anchors and have been developed for various purposes such as slope reinforcement, retaining walls, tunnel stability, and so on. This research aims to analyse the effect of the depth of folding type soil anchor on the tensile force and to analyse the comparison of the tensile force of laboratory experimental testing results with full-scale field testing.

The research method was carried out by testing the tensile force of laboratory-scale folding type anchors with depths of 30cm, 60cm and 90cm and field-scale tests using folding type anchors with depths of 100cm, 200cm and 300cm.

From the results of tests that have been carried out in the laboratory and the field, it can be concluded that the folding type model anchor does not need to be designed too deep because the anchor has a critical limit where even though the depth is increased it no longer adds a greater maximum tensile force. In addition, the comparison of the tensile force of the laboratory experimental test results with the field full-scale testing resulted in similar properties of the maximum tensile test results

Key Word : Folding Type Anchor, Soft Soil, Tensile Force

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	5
C. Tujuan Penelitian .....	5
D. Manfaat Penelitian .....	5
E. Batasan Masalah.....	6
F. Sistematika Penulisan .....	6
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>8</b>
A. Angkur Tanah ( <i>Ground Anchor</i> ) dan Gaya Tarik Angkur .....	8
B. Tanah dan Klasifikasi Tanah .....	12
C. Daya Dukung Tanah .....	30
D. Berat Jenis .....	31
E. Batas-batas Atterberg .....	32
F. Kadar Air .....	34



G. Analisa Saringan .....	35
H. Hidrometer.....	36
I. Penelitian Terdahulu .....	37
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>43</b>
A. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	43
B. Metode Pengumpulan Data.....	44
C. Kerangka Alir Penelitian .....	45
D. Pengujian Sampel .....	52
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>58</b>
A. Hasil Uji Laboratorium .....	58
B. Hasil Uji Skala penuh Lapangan .....	65
C. Perbandingan Hasil Uji Laboratorium Dan Uji Skala Penuh Di Lapangan.....	75
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>77</b>
A. Kesimpulan.....	77
B. Saran.....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>79</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Menentukan Gaya Tarik Batas Secara Grafis .....	10
<b>Gambar 2.</b> Klafikasi Tanah berdasarkan Tekstur oleh .....	27
<b>Gambar 3.</b> Lokasi Penelitian .....	43
<b>Gambar 4.</b> Bagan Alir Penelitian .....	45
<b>Gambar 5.</b> Bagan Alir Proses Pengujian di Laboratorium .....	46
<b>Gambar 6.</b> Bagan Alir Proses Pengujian di Lapangan .....	47
<b>Gambar 7.</b> Angkur Lipat yang Digunakan dalam Pengujian .....	49
<b>Gambar 8.</b> Bak Uji Laboratorium .....	49
<b>Gambar 9.</b> Hidrolik untuk Pengujian Laboratorium .....	50
<b>Gambar 10.</b> Kompresor .....	51
<b>Gambar 11.</b> Mesin Bor untuk Pengujian Skala Lapangan .....	51
<b>Gambar 12.</b> Pengujian Laboratorium .....	62
<b>Gambar 13.</b> Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Gaya Tarik Angkur di Laboratorium .....	64
<b>Gambar 14.</b> Grafik Batas Cair ( <i>Liquid Limit</i> ) .....	67
<b>Gambar 15.</b> Grafik Gradasi Butiran Tanah .....	68
<b>Gambar 16.</b> Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Perpindahan Geser .....	70
<b>Gambar 17.</b> Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser .....	70
<b>Gambar 18.</b> Pengujian Skala Penuh Lapangan .....	72
<b>Gambar 19.</b> Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Gaya Tarik Angkur di Lapangan .....	74
<b>Gambar 20.</b> Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Gaya Tarik Angkur di (a) Laboratorium dan (b) Lapangan .....	75

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Uji Model laboratorium pada Angkur Horizontal di Tanah tanpa Kohesi.....	12
<b>Tabel 2.</b> Uji Model Laboratorium pada Angkur Vertikal di Tanah tanpa Kohesi.....	12
<b>Tabel 3.</b> Pengaruh Pemisahan Tekstur Tanah pada Beberapa Sifat Tanah .....	15
<b>Tabel 4.</b> Klasifikasi berdasarkan USCS.....	22
<b>Tabel 5.</b> Sistem Klasifikasi Tanah berdasarkan USCS.....	23
<b>Tabel 6.</b> Sistem Klasifikasi Tanah berdasarkan AASHTO .....	25
<b>Tabel 7.</b> Berat Jenis Tanah ( <i>specific gravity</i> ).....	32
<b>Tabel 8.</b> Nilai Indeks Plastisitas dan Macam-macam Tanah .....	34
<b>Tabel 9.</b> Karakteristik Pengujian Tanah Sampel.....	58
<b>Tabel 10.</b> Rekapitulasi Hasil Pengujian Gaya Tarik Angkur di Laboratorium .....	63
<b>Tabel 11.</b> Karakteristik Pengujian Tanah Lapangan .....	65
<b>Tabel 12.</b> Rekapitulasi Hasil Pengujian Gaya Tarik Angkur di Lapangan .....	73

## BAB 1. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan mempunyai lebih dari 3.700 pulau berpenghuni dan garis pantai sepanjang 80.000 km. Wilayah pantai pada umumnya digunakan oleh penduduk untuk melakukan berbagai aktivitas untuk memenuhi kebutuhannya seperti sebagai Kawasan industri, pelabuhan, aktivitas perikanan, pertanian, Kawasan pemerintahan dan kawasan pariwisata , maka dibutuhkan berbagai prasarana dan sarana yang akan dibangun sepanjang pesisir pantai.

Kebanyakan wilayah pantai di Indonesia banyak ditemukan tanah lunak (*soft soil*) baik di daerah pantai, perairan lepas pantai, dan daratan. Aktivitas yang banyak dilakukan khususnya untuk bangunan di daerah pantai (*shore*) dan lepas pantai (*offshore*) yang terkait dengan pemanfaatan sumber daya maka harus membangun infrastruktur seperti *floating break water, mooring dolphin, floating doc*, anjungan lepas pantai terapung, rumpon, rumah terapung dan sebagainya. Seluruh bangunan tersebut membutuhkan kestabilan, baik untuk bangunan sementara maupun permanen. Masalah utama yang akan dihadapi untuk bangunan di pantai atau lepas pantai yaitu kestabilan struktur akibat pergerakan air laut baik secara vertikal akibat pasang surut maupun pergerakan horizontal akibat arus, angin dan gelombang. Untuk menjaga kestabilan akibat pergerakan

vertikal gaya apung (*uplift*) maka diperlukan suatu struktur penahan yang dikenal dengan angkur (*anchor*).

Di dalam kehidupan kita sehari-hari, tanah menjadi satu hal yang penting dan tidak terlepas dari pandangan, sentuhan, dan dari perhatian kita. Kita melihat, menginjaknya, menggunakan dan memperhatikannya. Kita bergantung dari tanah dan sebaliknya tanah juga bergantung kepada kita dan bagaimana cara kita memperlakukan dan mempergunakan tanah agar dapat menghasilkan tanah yang baik, subur dan sesuai kebutuhan kita. Tanah merupakan salah satu bahan konstruksi yang langsung tersedia di lapangan. Tanah mempunyai peranan yang sangat penting dalam bidang teknik sipil, hal ini disebabkan karena sebagian besar pekerjaan teknik sipil berada di atas permukaan tanah.

Di dalam bidang teknik sipil, ilmu geoteknik sangat berperan penting dalam perencanaan pembangunan infrastruktur. Ilmu ini terbagi dalam beberapa pemahaman salah satunya adalah mekanika tanah. Pengetahuan tentang mekanika tanah adalah hal paling dasar dan sangat diperlukan untuk mengetahui sifat-sifat tanah, cara menganalisis sifat-sifat tersebut, ketahanan tanah dan untuk menentukan metode yang tepat dalam memperhitungkan sifat-sifat tanah tersebut dalam perencanaan suatu bangunan.

Dalam perencanaan pembangunan prasarana dan sarana di daerah pantai, sering ditemukan tanah yang lunak atau yang memiliki daya dukung tanah rendah. Tanah lunak dalam konstruksi seringkali bahkan selalu

menjadi permasalahan, oleh karena itu dibutuhkan stabilitas tanah untuk keperluan penempatan bangunan, untuk struktur bangunan, maupun untuk bahan bangunan. Stabilisasi tanah adalah perubahan atau perawatan terhadap satu atau beberapa properti tanah untuk meningkatkan kondisi material tanah/butiran. Stabilisasi tanah juga secara umum merupakan suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser.

Dalam upaya mengetahui stabilitas tanah atau lereng, digunakan angkur sebagai media ukur. Beberapa struktur telah menggunakan angkur dan telah dikembangkan guna berbagai keperluan seperti pada perkuatan lereng, dinding penahan tanah (turap), stabilitas terowongan, dan sebagainya. Studi tentang kapasitas batas tarik angkur telah dilakukan oleh beberapa peneliti yaitu R.S Merifield and S.W Sloan (2006) dan Djamaludin, R (2013). Beberapa hasil penelitian yang lainnya berperan untuk memahami perilaku dari angkur pada tanah kohesif dan non-kohesif baik akibat beban statis maupun siklik/dinamis.

Untuk mendapatkan berapa besar gaya penarikan maksimum, maka perlu diteliti gaya tarik angkur (*pulling force*) pada kondisi tanah tertentu, agar didapatkan besaran gaya tarik angkur yang akan direncanakan, sampai tanah tersebut tidak runtuh (*failure*).

Terdapat banyak tipe angkur yang telah dikembangkan untuk berbagai keperluan tergantung kepada besar dan tipe beban, tipe struktur,

dan kondisi lapisan tanah setempat dan sebagainya. Penelitian tentang penggunaan angkur telah banyak dilakukan sebelumnya, baik yang dilakukan secara analisis numerik, eksperimental, maupun pengujian skala lapangan yang menunjukkan beberapa perilaku dari angkur menyangkut gaya tarik (*pulling force*) dan model keruntuhan tanah pada saat terjadi runtuh akibat beban tarik.

Dalam menentukan gaya tarik pada angkur tanah tipe lipat maka yang dilakukan adalah melakukan beberapa variasi perlakuan terhadap angkur tanah tipe lipat yaitu variasi terhadap kepadatan pada kondisi tanah lunak (*soft*,  $q_c=14-40\text{kg/cm}^2$ ). Menentukan besar gaya tarik maksimum, maka perlu diteliti gaya tarik angkur (*pulling force*) terhadap kedalaman, dengan kondisi keadaan variasi di atas, agar didapatkan besaran gaya tarik angkur. Dalam penelitian ini, akan dibahas mengenai besar pengaruh kedalaman terhadap gaya tarik pada angkur lipat. Dan dari uraian yang dikemukakan di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul:

**“Pengaruh Kedalaman Terhadap Gaya Tarik Angkur Lipat Pada Tanah Lunak”**

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, yang menjadi pokok masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh kedalaman terhadap gaya tarik angkur lipat?
2. Bagaimana perbandingan gaya tarik hasil pengujian eksperimental laboratorium dengan uji skala penuh lapangan?

## **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis pengaruh kedalaman angkur tanah tipe lipat (folding type) terhadap gaya tarik untuk masing-masing variasi kedalaman.
2. Menganalisa perbandingan gaya tarik hasil pengujian eksperimental laboratorium dengan pengujian skala penuh lapangan.

## **D. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai bahan studi tentang pengaruh kedalaman terhadap gaya tarik angkur lipat.
2. Sebagai acuan bagi penelitian serupa, khususnya mengenai model dan gaya angkur lipat.



### **E. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis tanah sebagai media percobaan di laboratorium dengan menggunakan satu jenis tanah saja yaitu tanah lunak
2. Menggunakan satu model angkur lipat yang dilengkapi dengan empat elemen/daun dengan luasan efektif angkur dengan variasi kedalaman untuk masing-masing pengujian di laboratorium dan pengujian skala penuh di lapangan.
3. Pengukuran dibatasi sampai pada besaran gaya tarik angkur (*Pulling Force*).

### **F. Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi suatu gambaran secara singkat dan jelas tentang latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilaksanakan. Pada bab pendahuluan ini telah memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan diuraikan mengenai konsep teori yang relevan dan memberikan gambaran mengenai metode pemecahan masalah yang akan digunakan pada penelitian ini.

## BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta cara pengolahan data hasil penelitian termasuk juga kerangka alur penelitian.

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh oleh peneliti dari hasil serta pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan penulisan tugas akhir yang berisi tentang kesimpulan yang disertai dengan saran-saran mengenai keseluruhan penelitian maupun untuk penelitian yang akan datang.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Angkur Tanah (*Ground Anchor*) dan Gaya Tarik Angkur**

Salah satu metode yang digunakan untuk memberikan proteksi terhadap bahaya kelongsoran pada lereng galian tanah dan abutmen jembatan adalah dengan memasang angkur tanah. Jangkar tanah/ angkur adalah suatu jenis pondasi yang cukup tipis/kecil yang dirancang dan dikonstruksi khusus untuk memperkuat tanah dan bangunan penahan tanah untuk menahan gaya guling dan cabut.

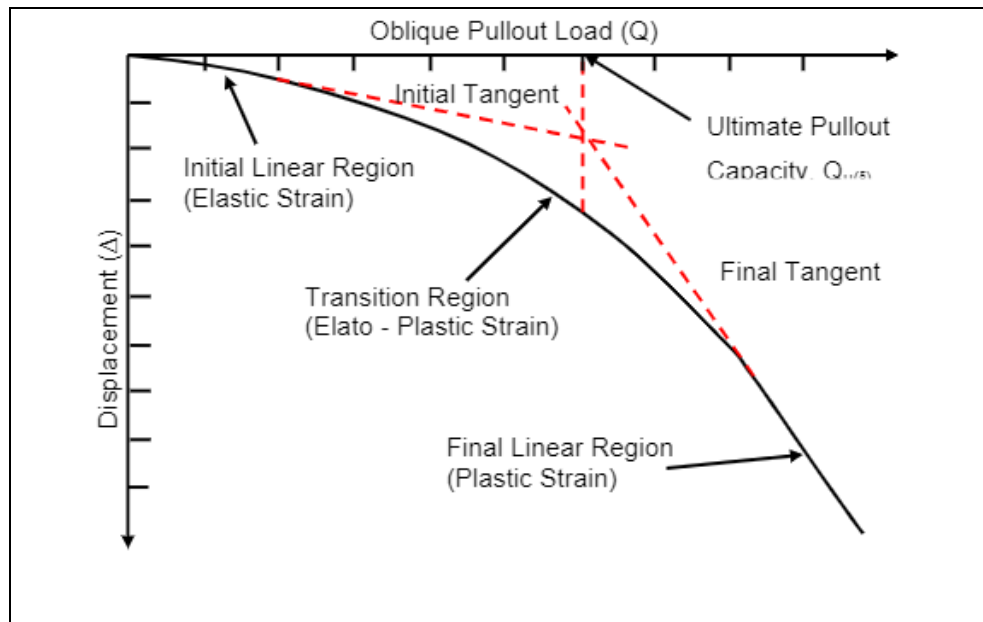
Penggunaan angkur digunakan pada bangunan tanah seperti dinding penahan tanah dan turap, untuk menahan gaya cabut pada beberapa struktur seperti menara transmisi, cerobong asap pada pabrik dan untuk daerah perairan seperti sungai, danau, pantai, lepas pantai dimana untuk menjaga stabilitas bangunan akibat pengaruh gaya apung akibat pasang surut dan pergeseran akibat arus, angin, dan gelombang.

Pemasangan angkur tanah pada umumnya disertai dengan pelaksanaan tes pembebanan untuk mengetahui apakah angkur tanah sudah mampu menahan beban rencana. Pencegahan kelongsoran pada tanah merupakan hal yang penting dalam dunia konstruksi, salah satu contoh pencegahannya adalah dengan menggunakan dinding penahan tanah. Kondisi tanah pada saat jenuh maupun tidak jenuh mempengaruhi keruntuhan yang dapat terjadi.

Dinding penahan tanah berfungsi untuk menahan beban lateral serta menyokong tekanan tanah dan air. Faktor terpenting dalam merencanakan dan membangun dinding penahan tanah adalah mengusahakan agar dinding penahan tanah tidak mengalami perpindahan yang melebihi batas ijin akibat gaya lateral, sehingga dinding penahan tanah harus diberikan perkuatan oleh *ground anchor* untuk menahan beban lateral dari timbunan tanah di belakang dinding penahan tanah.

Bhardwaj dan Sunil (2013), menggunakan metode garis singgung seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, sebagai metode yang paling cocok menentukan gaya cabut/tarik batas secara grafis. Dalam metode ini, penting untuk mempertimbangkan kurva beban-perpindahan hingga daerah linier akhir saja, karena setelah ini kadang-kadang penambahan beban kecil dari beban dapat menghasilkan perpindahan besar dan kurva dapat menjadi sejajar dengan perpindahan sumbu, ini dapat mengakibatkan hasil yang tidak diharapkan. Praktis akan lebih mudah untuk mengukur perpindahan dalam arah horizontal dan vertikal lebih ke arah beban, dan usaha yang terpisah gaya ultimate atas dasar perpindahan vertikal dan horizontal membantu untuk mengetahui nilai perkiraan sudut kritis yaitu sudut pada mode perubahan dari aksial ke lateral. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, gaya tarik/cabut batas ditentukan dari kedua pertemuan dua garis singgung dari grafik yang terbentuk dari

hubungan beban cabut dan perpindahan jangkar/angkur seperti yang terlihat pada gambar 1 berikut :



**Gambar 1.** Menentukan Gaya Tarik Batas Secara Grafis

(Sumber : Bhardwaj dan Sunil, 2013)

Pemodelan uji tarik angkur dengan menggunakan box uji kolom test dengan memberi variasi kepadatan dengan tujuan mengamati kuat tarik angkur. Sejumlah hasil tes di laboratorium dan tes lapangan yang dipublikasikan untuk menentukan gaya tarik dari angkur pelat untuk kondisi jangka pendek yang ditanam di dalam tanah lunak dirangkum oleh Das (1990) dimana persamaan untuk menentukan gaya jangka pendek pelat angkur sebagai berikut :

$$Q_u = Q_o + W_a + F_s$$

dengan :

$Q_u$  = Gaya tarik kotor dari angkur,

$Q_o$  = Gaya tarik bersih,

$W_a$  = berat efektif dari pelat jangkar dan

$F_s$  = mud suction force yang merupakan fungsi dari  $C_u$  dan  $k$ .

Harga  $Q_o$  menurut Vasic (1971)

$$Q_o = A (\gamma H + F_c \cdot C_u)$$

dengan :  $A$  = Luas dari pelat angkur,  $\gamma$  = Berat volume tanah jenuh,  $F_c$  = Break out factor dan  $C_u$  = Kohesi tak teralirkan. Selanjutnya  $F_c$  merupakan fungsi dari  $C_u$  dan rasio penanaman angkur. Merujuk kepada Das (1990):

$$F_c = n(H/D) \leq F^*c = 9$$

nilai  $n$  berkisar antara 2 – 5,9 tergantung kepada nilai  $c_u$ . Untuk setiap model angkur dibenamkan dengan kedalaman 120 cm dengan variasi kepadatan  $q_c = 15 - 30 \text{ kg/cm}^2$ ,  $q_c = 30 - 40 \text{ kg/cm}^2$ . Kepadatan di bak uji kolom test diukur dengan menggunakan *Hand Penetrometer*. Setelah itu didiamkan kemudian dites. Tes tarik dilakukan menggunakan alat dengan diagram skema alat tes tarik seperti pada gambar 4 dan 5. Setelah diamati lalu dianalisa gaya tarik untuk semua model angkur yang diuji. Hasilnya dapat ditentukan dari perilaku hubungan beban dengan deformasi tarik selama pengujian.

**Tabel 1.** Uji Model laboratorium pada Angkur Horizontal di Tanah tanpa Kohesi

Source	Type of testing	Anchor shape	Anchor size (mm)	Friction angle (°)	Anchor roughness (°)	H/B or H/D
Das and Seeley 1975	Chamber	Square; rectangular; $L/B = 1-5$	51	31	?	1-5
Rowe 1978	Chamber	Square; rectangular	51	32	16.7	1-8
Ovesen 1981	Centrifuge; field	Circular; square	20	29.5-37.7	?	1-3.39
Murray and Geddes 1987	Chamber	Circular; rectangular; $L/B = 1-10$	50.8	44, dense; 36, medium dense	11, smooth; 42, rough	1-10
Frydman and Shamam 1989	Field chamber (summary)	Strip; rectangular	19; 200	30, loose; 45, dense	?	2.5-9.35
Dickin 1988	Centrifuge chamber	Square; rectangular; $L/B = 1-8$	25; 50	38-41, <sup>a</sup> loose; 48-51, <sup>a</sup> dense	?	1-8
Tagaya et al. 1988	Centrifuge	Circular; rectangular	15	42	?	3-7.02
Murray and Geddes 1989	Chamber	Square; rectangular; $L/B = 1-10$	50.8	43.6, dense; 36, medium dense	10.6	1-8

Note:  $D$ , anchor diameter;  $L$ , anchor length.  
<sup>a</sup>Plane strain friction angle.

**Tabel 2.** Uji Model Laboratorium pada Angkur Vertikal di Tanah tanpa Kohesi

Source	Type of testing	Anchor shape	Anchor size (mm)	Friction angle (°)	Anchor roughness (°)	H/B
Neely et al. 1973	Chamber	Square; rectangular	50.8	38.5	21	1-5
Das 1975	Chamber	Square; circular	38-76	34	?	1-5
Akinmusuru 1978	Chamber	Strip; rectangular; square; circular; $L/B = 2, 10$	50	24; 35	?	1-10
Ovesen 1981	Centrifuge; field	Square	20	29.5-37.7	?	1-3.39
Dickin and Leung 1983, 1985	Centrifuge chamber	Square; rectangular; strip	25; 50	41 <sup>a</sup>	Polished, 29	1-8; 1-13
Hoshiya and Mandal 1984	Sand chamber	Square; rectangular; $L/B = 2, 4, 6$	25.4	29.5	?	1-6
Murray and Geddes 1989	Sand chamber	Square; rectangular; $L/B = 1-10$	50.8	43.6, dense	10.6	1-8

<sup>a</sup>Mobilized plane strain friction angle,  $\phi'_{mp}$ .

## B. Tanah dan Klasifikasi Tanah

### B.1. Pengertian Tanah

Tanah menjadi hal terpenting dalam setiap kehidupan, tanpa tanah manusia tidak dapat hidup bahkan bumi ini tidak dapat dihuni sampai sekarang jika tidak ada tanah di dalamnya. Tanah merupakan campuran dari bahan organik, cairan, mineral, gas dan organisme-organisme yang mendukung kehidupan secara bersama-sama.

Sebagian besar tanah memiliki kerapatan curah kering (kerapatan tanah dengan mempertimbangkan rongga saat kering) antara 1,1 dan 1,6 g / cm<sup>3</sup>, sedangkan kerapatan partikel tanah jauh lebih tinggi, dalam kisaran 2,6 hingga 2,7 g / cm<sup>3</sup>.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi evolusi atau perubahan tanah, yaitu : parent material, cuaca, iklim, organisme, waktu, dan topografi. Sifat-sifat fisik tanah, dalam urutan semakin berkurang pentingnya jasa ekosistem seperti produksi tanaman, adalah tekstur, struktur, kerapatan curah, porositas, konsistensi, suhu, warna, dan resistivitas. Tekstur tanah ditentukan oleh proporsi relatif dari tiga jenis partikel mineral tanah, yang disebut memisahkan tanah: pasir, lanau, dan tanah liat. Pada skala yang lebih besar berikutnya, struktur tanah yang disebut peds atau lebih umum agregat tanah dibuat dari tanah terpisah ketika besi oksida, karbonat, tanah liat, silika dan humus, melapisi partikel-partikel dan menyebabkannya melekat pada struktur sekunder yang lebih besar dan relatif stabil.

Kepadatan curah tanah, ketika ditentukan pada kondisi kelembaban standar, merupakan perkiraan pemadatan tanah. Porositas tanah terdiri dari bagian volume tanah yang kosong dan ditempati oleh gas atau air. Konsistensi tanah adalah kemampuan bahan-bahan tanah untuk saling menempel. Temperatur dan warna tanah menentukan sendiri. Tahanan mengacu pada resistensi terhadap konduksi arus listrik dan mempengaruhi laju korosi struktur



logam dan beton yang terkubur di dalam tanah. Properti ini bervariasi melalui kedalaman profil tanah, yaitu melalui cakrawala tanah. Sebagian besar dari sifat-sifat ini menentukan aerasi tanah dan kemampuan air untuk menyusup dan ditahan di dalam tanah.

**Tabel 3.** Pengaruh Pemisahan Tekstur Tanah pada Beberapa Sifat Tanah

<b><i>Property/behavior</i></b>	<b><i>Sand</i></b>	<b><i>Silt</i></b>	<b><i>Clay</i></b>
<i>Water-holding capacity</i>	<i>Low</i>	<i>Medium to high</i>	<i>High</i>
<i>Aeration</i>	<i>Good</i>	<i>Medium</i>	<i>Poor</i>
<i>Drainage rate</i>	<i>High</i>	<i>Slow to medium</i>	<i>Very slow</i>
<i>Soil organic matter level</i>	<i>Low</i>	<i>Medium to high</i>	<i>High to medium</i>
<i>Decomposition of organic matter</i>	<i>Rapid</i>	<i>Medium</i>	<i>Slow</i>
<i>Warm-up in spring</i>	<i>Rapid</i>	<i>Moderate</i>	<i>Slow</i>
<i>Compactability</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>
<i>Susceptibility to wind erosion</i>	<i>Moderate</i> <i>(High if fine sand)</i>	<i>High</i>	<i>Low</i>

<i>Susceptibility to water erosion</i>	<i>Low (unless fine sand)</i>	<i>High</i>	<i>Low if aggregated, otherwise high</i>
<i>Shrink/Swell Potential Low</i>	<i>Very Low</i>	<i>Moderate to very</i>	<i>high</i>
<i>Sealing of ponds, dams, and landfills</i>	<i>Poor</i>	<i>Poor</i>	<i>Good</i>
<i>Suitability for tillage after rain</i>	<i>Good</i>	<i>Medium</i>	<i>Poor</i>
<i>Pollutant leaching potential</i>	<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low (unless cracked)</i>
<i>Ability to store plant nutrients</i>	<i>Poor</i>	<i>Medium to High</i>	<i>High</i>
<i>Resistance to pH change</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>

(Sumber : Brady, Nyle C, 1984)

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

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

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

- a. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 (sampai 300 mm dan untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
- b. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm sampai bahan halus yang berukuran < 1 mm.
- d. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,0074 mm.

- e. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
- f. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

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

## **B.2. Klasifikasi Tanah**

Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi ini menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai kemungkinan pemakainya (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah serta mengelompokkannya sesuai dengan perilaku umum dari tanah tersebut. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan suatu kondisi fisik tertentu.

Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Dalam mengklarifikasi tanah, terdapat penelitian mengenai tekstur tanah. Tekstur tanah merupakan suatu kondisi tanah dengan tingkat kehalusan (smooth) yang terjadi pada tanah karena adanya perbedaan kandungan fraksi Liat/Lempung, Lanau maupun Pasir yang terkandung pada tanah (BAN). Diameter dari ketiga fraksi berdasarkan USDA, yaitu :

- a. < 0.002 mm (Lempung)
- b. 0.05-0.002 mm (Lanau)
- c. 2-0.05 mm (Pasir)

Keadaan tekstur tanah ini sangat memengaruhi keadaan sifat-sifat tanah seperti porositas, permeabilitas tanah dan lain-lain.

Menurut Verhoef (1994), tanah dapat dibagi dalam tiga kelompok:

1. Tanah berbutir kasar (pasir, kerikil)
2. Tanah berbutir halus (lanau, lempung)
3. Tanah campuran

Perbedaan antara pasir/kerikil dan lanau/lempung dapat diketahui dari sifat-sifat material tersebut. Lanau/lempung seringkali terbukti kohesif (saling mengikat) sedangkan material yang berbutir (pasir, kerikil) adalah tidak kohesif (tidak saling mengikat). Struktur dari tanah yang tidak berkohesi ditentukan oleh cara penumpukan butir (kerangka butiran). Struktur dari tanah yang berkohesi ditentukan oleh konfigurasi bagian-bagian kecil dan ikatan diantara bagian-bagian kecil ini.

Tanah dapat diklasifikasikan secara umum sebagai tanah tidak kohesif dan tanah kohesif, atau tanah berbutir kasar dan berbutir halus (Bowles, 1984). Namun klasifikasi ini terlalu umum sehingga memungkinkan terjadinya identifikasi yang sama untuk tanah-tanah yang hampir sama sifatnya.

Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah, antara lain:

1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified System Sistem*

klasifikasi tanah ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan teknik fondasi seperti bendungan, bangunan dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini biasa digunakan untuk desain lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan. Klasifikasi berdasarkan Unified System (Das,1988), tanah dikelompokkan menjadi:

- a. Tanah berbutir kasar (*Coarse-grained-soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanahnya lolos dari saringan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan 10 huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) dan S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir. Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W untuk tanah bergradasi baik dan P untuk tanah bergradasi buruk.
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*) yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanahnya lolos dari saringan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT



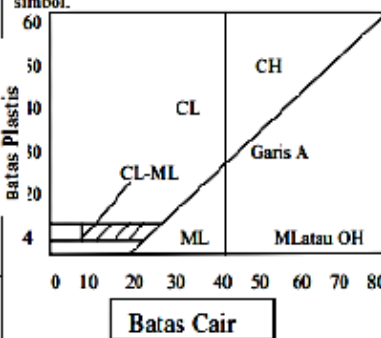
digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi. Plastisitas dinyatakan dengan L untuk plastisitas rendah dan H untuk plastisitas tinggi.

**Tabel 4.** Klasifikasi berdasarkan USCS

Jenis Tanah	Prefiks	Subkelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasibaik	W
		Gradasiburuk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	$w_l < 50$ persen	L
Organik	O	$w_l > 50$ persen	H
Gambut	Pt		

(Sumber : Bowles, 1999)

Tabel 5. Sistem Klasifikasi Tanah berdasarkan USCS

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (banyak kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Aterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas <i>Aterberg</i> berada di daerah sirdaridial gramplastisitas, maka dipakai simbol I Bila batas <i>Aterberg</i> berada di daerah sirdaridial gramplastisitas, maka dipakai simbol I
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas <i>Aterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
		Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (banyak pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
				SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
	Pasir dengan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Aterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas <i>Aterberg</i> berada di daerah sirdaridial gramplastisitas, maka dipakai simbol I Bila batas <i>Aterberg</i> berada di daerah sirdaridial gramplastisitas, maka dipakai simbol I
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	Batas-batas <i>Aterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Aterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batas klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" ( <i>lean clays</i> )	
		OL		Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus dia tomac, atau lanau dia tomac, lanau yang elastis		
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" ( <i>fat clays</i> )			
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488			

Sumber: Hary Christady, 1996.

## 2. Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO awalnya membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk subkelompok. Sistem yang direvisi (Proc. 25 th Annual Meeting of Highway Research Board, 1945) mempertahankan delapan kelompok dasar tanah tadi tapi menambahkan dua subkelompok dalam A-1, empat kelompok dalam A-2, dan dua subkelompok dalam A-7. Kelompok A-8 tidak diperlihatkan tetapi merupakan gambut atau rawang yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan hanya analisis saringan dan batas-batas Atterberg (Bowles, 1984).

**Tabel 6.** Sistem Klasifikasi Tanah berdasarkan AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 41
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-4		A-5	A-6		A-7	
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min 36		Min 36	Min 36		Min 36	
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10		Maks 41 Maks 10	Maks 40 Maks 11		Min 41 Min 11	
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau			Tanah Berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

(Sumber : Das, 1995)

Tanah A-1 sampai A-3 adalah tanah berbutir (*granular*) dengan tidak lebih dari 35 persen bahan lolos saringan No.200. Bahan khas dalam kelompok A-1 adalah campuran bergradasi baik dari kerikil,

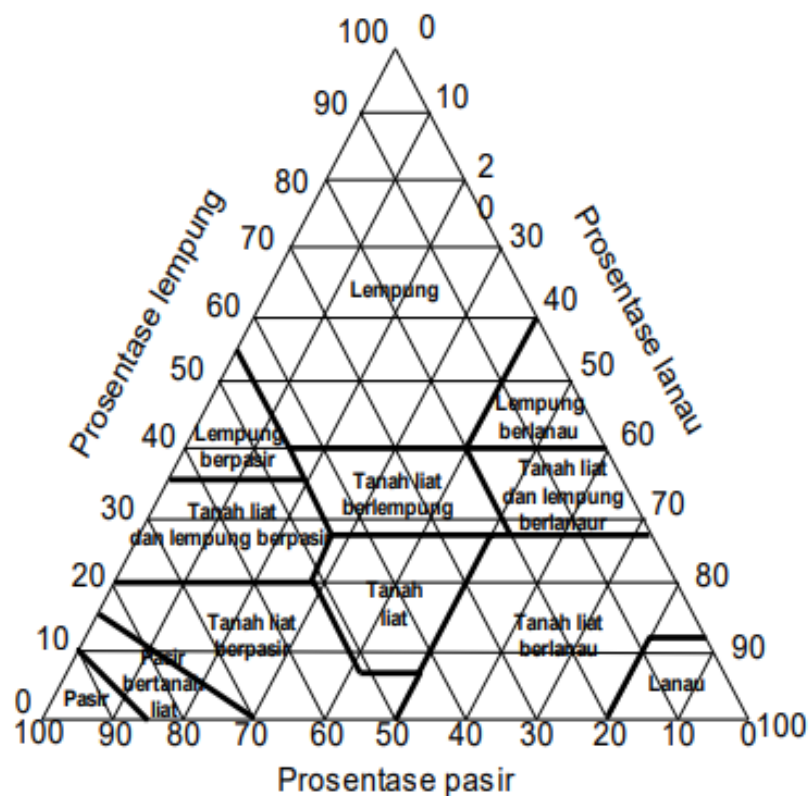
pasir kasar, pasir halus, dan suatu bahan pengikat (*binder*) yang mempunyai plastisitas sangat kecil atau tidak sama sekali ( $I_p \leq 6$ ). Kelompok A-3 terdiri dari campuran pasir halus, bergradasi buruk, dengan sebagian kecil pasir kasar dan kerikil, fraksi lanau yang merupakan bahan tidak plastis lolos saringan No.200. Kelompok A-2 juga merupakan bahan berbutir tetapi dengan jumlah bahan yang lolos saringan No.200 yang cukup banyak (tidak lebih dari 35 persen). Bahan ini terletak di antara bahan dalam kelompok A-1 dan A-3 dan bahan lanau – lempung dari kelompok A-4 sampai A-7. Kelompok A-4 sampai A-7 adalah tanah berbutir halus dengan lebih dari 35 persen bahan lolos saringan No.200.

## 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur dan Ukuran Butiran

Sistem klasifikasi ini didasarkan pada keadaan permukaan tanah yang bersangkutan, sehingga dipengaruhi oleh ukuran butiran tanah dalam tanah. Klasifikasi ini sangat sederhana didasarkan pada distribusi ukuran tanah saja. Pada klasifikasi ini tanah dibagi menjadi kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*) (Das, 1993). Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika dan klasifikasi internasional yang dikembangkan oleh Atterberg. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada dalam tanah. Pada umumnya tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Sistem ini relatif sederhana karena hanya didasarkan

pada sistem distribusi ukuran butiran tanah yang membagi tanah dalam beberapa kelompok, yaitu:

Pasir : Butiran dengan diameter 2,0 – 0,05 mm. Lanau : Butiran dengan diameter 0,005 – 0,002 mm. Lempung : Butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,02 mm.



**Gambar 2.** Klafikasi Tanah berdasarkan Tekstur oleh Departemen Pertanian AS  
(sumber : DAS, 1993)

Menurut Terzaghi (1967), tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lunak apabila mempunyai daya dukung lebih kecil dari 0,5 kg/cm<sup>2</sup> dan nilai standard penetration test lebih

kecil dari 4 ( $N\text{-value} < 4$ ). Berdasarkan uji lapangan, tanah lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan. Menurut Toha (1989), sifat umum tanah lunak adalah memiliki kadar air 80-100%, batas cair 80-110%, batas plastis 30- 45%, saat dites sieve analysis, maka butiran yang lolos oleh saringan no 200 akan lebih besar dari 90% serta memiliki kuat geser 20-40 kN/m.

### **B.3. Struktur Mineral Lempung**

Tanah kohesif atau tanah yang lunak adalah jenis tanah yang di dalam konstruksi seringkali menjadi satu permasalahan. Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm. Hardiyatmo (2010), mengatakan sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran-butiran halus < 0.002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut tinggi dan proses konsolidasi lambat.

Tanah yang kohesif didefinisikan sebagai tanah yang lengket, dan dapat disebut sebagai tanah liat atau tanah liat berlumpur. Ketegangan permukaan air kapiler mengerahkan kekuatan kapiler, yang mengurangi kekuatan tanah.

Sifat dan perilaku lempung terlihat pada komposisi mineral, unsurunsur kimianya, dan partikel-partikelnya serta pengaruh yang ditimbulkan di lingkungan sekitarnya. Sehingga untuk dapat

memahami sifat dan perilakunya diperlukan pengetahuan tentang mineral dan komposisi kimia lempung, hal ini dikarenakan mineralogi adalah faktor utama untuk mengontrol ukuran, bentuk dan sifat fisik serta kimia dari partikel tanah.

Tanah lempung memiliki sifat khas yaitu apabila dalam keadaan kering dia akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air.

Warna tanah pada tanah lempung tidak dipengaruhi oleh unsur kimia yang terkandung didalamnya, karena tidak adanya perbedaan yang dominan dimana kesemuanya hanya dipengaruhi oleh unsur Natrium saja yang paling mendominasi. Semakin tinggi plastisitas, grafik yang dihasilkan pada masing-masing unsur kimia belum tentu sama. Hal ini disebabkan karena unsur-unsur warna tanah dipengaruhi oleh nilai *Liquid Limit* (LL) yang berbeda-beda (Marindo, 2005 dalam Afryana, 2009).

Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks. Mineral ini terdiri dari dua lempung kristal pembentuk kristal dasar, yaitu silika tetrahedral dan aluminium oktahedral. (Das, 1995). Hampir semua mineral lempung berbentuk lempengan yang mempunyai permukaan spesifik (perbedaan antara luas permukaan dan massa) yang tinggi. Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari komposisi susunan satuan struktur dasar atau tumpuan lembaran



serta macam ikatan antara masing-masing lembaran. Jenis-jenis mineral lempung, yaitu *kaolinite*, *illite*, *montmorillonite*. Air sangat mempengaruhi sifat tanah lempung, karena butiran dari tanah lempung sangat halus, sehingga luas permukaan spesifikasinya menjadi lebih besar. Dalam suatu partikel lempung yang ideal, muatan positif dan negatif berada dalam posisi seimbang, selanjutnya terjadi substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan susunannya, sehingga terjadi muatan negatif pada permukaan partikel kristal lempung.

Salah satu cara untuk mengimbangi muatan negatif, partikel tanah lempung menarik muatan positif (*kation*) dari garam yang ada di dalam air porinya. Hal ini disebut dengan pertukaran ion-ion.

Pertemuan antar molekul air dan partikel lempung akan menimbulkan lekatan yang sangat kuat, sebab air akan tertarik secara elektrik dan air akan berada di sekitar partikel lempung yang disebut air lapisan ganda, yaitu air yang berada pada lapisan air resapan. Lapisan air inilah yang menimbulkan gaya tarik menarik antar partikel lempung yang disebut *unhindered moisture film*. Air lapisan ganda inilah yang menyebabkan sifat plastis pada tanah lempung.

### **C. Daya Dukung Tanah**

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk memikul tekanan atau beban maksimum yang diizinkan untuk bekerja pada

pondasi. Untuk mendapat tegangan yang dipakai dalam perencanaan pondasi, besarnya beban dibagi dengan faktor keamanan (*safety factor*). Nilai yang diperoleh disebut dengan tegangan tanah yang diizinkan. penelitian tanah perlu dilakukan di laboratorium untuk menghitung daya dukung tanah yang meliputi uji fisik tanah dan uji mekanik. Uji fisik tujuannya untuk mengetahui sifat-sifat fisik tanah dan uji mekanik untuk memperoleh nilai sudut geser dan kohesi tanah. Pondasi adalah bagian dari struktur bangunan yang berada paling bawah yang berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan di atasnya ke tanah dasar di bawahnya. Nilai yang di dapatkan harus memenuhi syarat daya dukung yang diperlukan sehingga bangunan dapat berdiri dengan stabil dan tidak terjadi penurunan yang terlalu besar.

#### **D. Berat Jenis**

Berat spesifik atau berat jenis (*specific gravity*) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air.  $G_s$  tidak berdimensi. Secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2.65 sampai 2.75. Spesifikasi berat jenis tanah seperti pada Tabel berikut

**Tabel 7.** Berat Jenis Tanah (*specific gravity*)

<b>Macam Tanah</b>	<b>Berat Jenis (Gs)</b>
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 -2,68
Lanau `anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 -2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1, 37
Gambut	1,25 – 1,80

.(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

#### **E. Batas-batas Atterberg**

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk.

Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Menurut Atterberg batas-batas konsistensi tanah berbutir halus tersebut adalah batas cair, batas plastis, batas susut. Batas konsistensi tanah ini didasarkan kepada kadar air yaitu :

1) Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis

2) Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Pengertian batas plastisitas adalah sifat tanah dalam konsistensi, cair, plastis, semi padat, atau padat bergantung pada kadar airnya. Kebanyakan dari tanah lempung atau tanah berbutir halus yang ada di alam dalam keadaan plastis. Secara umum semakin besar plastisitas tanah, yaitu semakin besar rentang kadar air daerah plastis maka tanah tersebut akan semakin berkurang kekuatan dan mempunyai kembang susut yang semakin besar. Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis (interval kadar air pada kondisi tanah masih bersifat platis), karena itu menunjukkan sifat keplastisan tanah

$$PI = LL - PL$$

Dimana :

$PI = \text{Plastis Index (\%)}$

$LL = \text{Liquid Limit (\%)}$

$PL = \text{Plastis Limit (\%)}$

**Tabel 8.** Nilai Indeks Plastisitas dan Macam-macam Tanah

PI	Macam Tanah	Sifat	Kohesi
0	Pasir	Non Plastis	Non Kohesif
<7	Lanau	Rendah	Kohesif Sedang
7-17	Lempung Berlanau	Sedang	Kohesif
>17	Lempung Murni	Tinggi	Kohesif

(Sumber : Hary, 2012)

### 3) Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Suatu tanah akan mengalami penyusutan bila kadar air secara perlahan-lahan hilang dari dalam tanah. Dengan hilangnya air terus menerus akan mencapai suatu tingkat keseimbangan, dimana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume tanah. Kandungan mineral *montmorillonite* mempengaruhi nilai batas konsistensi. Semakin besar kandungan mineral *montmorillonite* semakin besar batas cair dan indeks plastisitas serta semakin kecil nilai batas susut dan batas plastisnya (Hardiyatmo, 2006).

## F. Kadar Air

Pekerjaan teknik sipil banyak dilakukan pada tanah tidak jenuh air (*unsaturated*). Perubahan kedudukan muka air tanah akan

mempengaruhi tingkat kadar air dalam tanah. Pekerjaan teknik sipil banyak dilakukan pada tanah kenyang air sebagian (*unsaturated*) seperti pada pekerjaan pemadatan tanah untuk konstruksi jalan raya. Perubahan kedudukan muka air tanah akan mempengaruhi tingkat kadar air dalam tanah.

Kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air dengan berat tanah kering dengan volume yang sama pada temperature tertentu. Nilai kadar air sangat dibutuhkan dalam pengolahan data hasil pengujian laboratorium dan perhitungan mekanika tanah.

Penentuan kadar air dapat dilakukan dengan cara memasukkan tanah undisturbed ke dalam cawan kemudian di oven selama 24 jam pada suhu 110oC, dinginkan cawan sampai mendekati suhu ruangan, kemudian hitung beratnya. Metode yang digunakan adalah ASTM D-2216-89.

## **G. Analisa Saringan**

Tanah merupakan komponen atau susunan dari hasil lapisan kerak bumi. Dimana sifat-sifat dari suatu urutan tanah tergantung pada ukuran butirnya, karena pengukuran besarnya butir tanah merupakan suatu percobaan yang sering dilakukan dalam bidang mekanika tanah. Untuk membedakan serta menunjukkan dengan tepat masing-masing sifat tanah ini digunakan metode sistematika, sehingga tanah-tanah tertentu dapat dipilih dengan tepat. Suatu tanah bergradasi baik

atau tidak dan seragam apabila terdapat distribusi yang merata dari butir-butir dengan ukuran butiran yang memungkinkan, diantara batas atas dan batas bawah butiran.

Distribusi ukuran partikel tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan saringan. Fungsi dari analisa saringan adalah untuk menentukan distribusi butiran tanah (gradasi) antara saringan No. 4 sampai saringan No. 200 dengan menggunakan saringan standar. Metode yang digunakan adalah Sistem AASHTO dan Sistem Unified.

#### **H. Hidrometer**

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air. Bila suatu contoh tanah dilarutkan dalam air, partikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya.

Untuk mudahnya, dapat dianggap bahwa semua partikel tanah ini berbentuk bola bulat dan kecepatan mengendap dari partikel-partikel tersebut. Proses untuk memisahkan partikel tanah ke dalam jenis-jenis tanah sesuai dengan variasi ukuran partikelnya disebut analisis mekanis. Percobaan ini berfungsi untuk menentukan ukuran dan susunan butir (gradasi) tanah yang lolos saringan No.200.

## I. Penelitian Terdahulu

### 1. A.R. Djamaluddin, 2013

Kapasitas Tarik Angkur Pelat Bentuk Bintang pada Tanah Kohesif Terkompaksi

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berbagai jenis jangkar dengan 5, 4, dan 3 bintang pelat dengan luas penampang dan konstanta diameter ekuivalen. Uji eksperimental dilakukan dengan memodelkan jangkar dengan tebal 5 mm dan 30 lebar mm. Uji tarik dilakukan pada jangkar di tanah yang dipadatkan dimana jangkar ditempatkan di berbagai kedalaman, 300 mm, 600 mm, dan 900 mm. Hasil pengujian menunjukkan pelat angkur dengan diameter ekuivalen yang lebih panjang menghasilkan tegangan tarik yang lebih besar. Kedalaman penjangkaran juga merupakan faktor yang signifikan terhadap kapasitas penarikan.

### 2. Lois Caroline Setiawan, 2018

Analisis Stabilitas Lereng Batuan Dengan Metode Perkuatan Ground Anchor & Soil Nailing Di Labuan Bajo, Ntt

Stabilitas lereng yang akan ditinjau berada di daerah Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur. Bahaya longsor yang dapat terjadi di sekitar lereng sudah dapat teridentifikasi sejak awal perencanaan, namun hal tersebut diabaikan oleh pihak terkait sehingga penggalian tanah dilakukan secara langsung dengan



sudut kemiringan lereng  $70^\circ$  dengan tinggi lereng  $>20$  m tanpa adanya perkuatan. Sehingga pada tanggal 22 Agustus 2017 terjadi longsor yang menyebabkan munculnya retakan pada tepi jalan raya. Maka, diperlukan back analysis untuk memperoleh kestabilan lereng. Perkuatan yang digunakan adalah ground anchors dan soil nailing dengan sudut kemiringan pemasangan  $30^\circ$  dan pemasangan dilakukan setiap jarak 2 m. Back analysis ini dibantu dengan 2 program yaitu Plaxis 2D dan Geoslope Slope/W dengan kondisi undrained dan drained. Setelah dilakukan perkuatan, diperoleh nilai keamanan pada program Plaxis 2D adalah 2.7 untuk kondisi undrained dan 2.4 untuk kondisi drained. Selain itu, pada program Plaxis 2D akan menghasilkan nilai deformasi dan gaya tarik yang terjadi pada masing-masing perkuatan. Sedangkan pada program Slope/W hanya menghasilkan pola keruntuhan dan nilai keamanan. Nilai keamanan yang diperoleh untuk kondisi undrained berkisar 2.5 dan kondisi drained berkisar 2.2-2.4.

### 3. Sinaria Halawa, 2019

#### Kajian Eksperimental Kuat Tarik Angkur Dengan Variasi Jarak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kekuatan dari angkur agar tepat dalam menentukan spesifikasi saat digunakan untuk perkuatan suatu struktur sesuai pembebanan yang direncanakan. Dilakukan pengujian kuat tarik angkur yang

digunakan yang digunakan sebagai alat sambung. Ada dua tipe/ukuran angkur yang diuji yakni M10 dan M12, dan dua sampel beton berbentuk kubus dengan ukuran (I) P=800mm, L=800mm, dan T=200mm, (II) P=800mm, L=800mm, dan T=250mm, dengan mutu beton  $f_c=16.26$  MPa, dan beton berumur 28 hari. Metode yang digunakan adalah angkur ditanam pada beton dengan variasi jarak angkur dan variasi jarak tepi angkur, Penanaman menggunakan alat mesin bor dan kemudian sebanyak 50% dari volume lobang dimasukkan chemical epoxy G5 sebagai bahan perekat. Untuk menguji kekuatan tarik angkur digunakan alat UTHM (Universal Testing Hidrolic Machine). Hasil dari pengujian adalah : semakin besar jarak antar angkur dan jarak tepi angkur M10 dan M12, maka semakin besar beban tarik angkur tersebut.

#### 4. Amirul Huda, 2020

Eksperimen Tarik Angkur Tipe Ekspansi Secara Cast In Place Dan Postinstalled Dengan Kegagalan Breakout Concrete

Penggunaan angkur dalam konstruksi semakin populer untuk menghubungkan konstruksi baja dan beton yang menyalurkan beban tarik yang bekerja ke beton. Penelitian bertujuan untuk mengetahui perbedaan kekuatan angkur berdasarkan metode pemasangan yakni secara cast in place dibandingkan post-

installed melalui pengujian kuat tarik angkur terhadap beton dengan kegagalan breakout concrete. Angkur tipe ekspansi merk “Sanko” M12x100 (hef: 60 mm, diameter 12 mm, panjang 100 mm) dan beton ready mix fc 25 MPa. Dalam pengujian tarik angkur terhadap beton baik pemasangan angkur secara cast in place dan post installed, masing-masing metode pemasangan menggunakan 3 benda uji dengan dimensi 300x300x150 mm. Setiap benda uji terpasang 4 angkur. Hasil pengujian dan hitungan teoritis ditunjukkan dengan kegagalan breakout concrete (jebol beton) akibat tarik, dimana perilaku jebolnya beton disekitar angkur, dengan kekuatan maksimum rata-rata sebesar 40506,67 N untuk pemasangan cast in place dan 38187,33 N untuk pemasangan angkur secara post installed. Kuat tekan beton rata-rata sebesar 25,2 MPa. Kuat tarik (bahan) angkur rata-rata sebesar 338 MPa.

5. Putri Anggarini, 2018

Analisis Perilaku Gerakan Massa Tanah Pada Dinding Penahan Tanah Dan Sheet Pile Dengan Angkur Pada Lereng Sungai Gajah Putih

Sungai Gajah Putih terletak di Kota Surakarta, Jawa Tengah merupakan salah satu sungai yang menjadi sumber kehidupan. Kawasan sungai ini dilindungi dengan dinding penahan tanah untuk menjaga kekuatan lereng sungai. Kegagalan dinding

penahan tanah salah satunya disebabkan oleh pergerakan tanah. Penyebab terjadinya pergerakan tanah diantaranya keadaan tanah, pengaruh muka air tanah, beban luar dan beban gempa. Selain dinding penahan tanah, sheet pile (turap) juga bisa digunakan untuk menahan tanah. Oleh karena itu, dinding penahan tanah dan sheet pile perlu diteliti lebih jauh mengenai kondisi pergerakan tanah.

Penelitian ini didahului dengan pengambilan data sekunder. Analisis penelitian ini dimulai dengan analisis stabilitas dinding penahan tanah pada Sungai Gajah Putih dan perencanaan sheet pile. Analisis dilanjutkan dengan pemodelan konstruksi bangunan menggunakan program Plaxis. Dari hasil pemodelan tersebut, dibandingkan pergerakan dinding penahan tanah pada Sungai Gajah Putih dengan sheet pile yang dipengaruhi oleh beban luar dan beban gempa dengan variasi muka air tanah.

Dari penelitian ini diperoleh stabilitas dinding penahan tanah telah memenuhi faktor aman terhadap penggeseran, penggulingan dan kuat dukung tanah, saat kondisi muka air normal diperoleh masing-masing sebesar 3,864, 9,992, 3,322 yang nilainya lebih besar dari kondisi muka air banjir sebesar 3,417, 8,584, 3,001. Hasil analisis menggunakan Plaxis diperoleh besarnya pergerakan dinding penahan tanah dengan beban luar dan beban gempa kondisi muka air normal dan muka air banjir

masing-masing sebesar 0,0776 cm, 0,0767 cm, 2,823 cm dan 2,817 cm lebih kecil dari sheet pile dengan beban luar dan beban gempa kondisi yang sama masing-masing sebesar 2,674 cm, 2,656 cm, 6,653 cm dan 6,570 cm. Pergerakan dinding penahan tanah juga lebih kecil dari sheet pile diangkur kondisi yang sama dengan beban luar dan beban gempa masing-masing sebesar 2,599 cm, 2,283 cm, 6,096 cm dan 6,085 cm. Hasil tersebut relatif aman terhadap bahaya longsor.