

**DISERTASI**

**UJI MODEL KAPASITAS TARIK ANGKUR TANAH  
TYPE LIPAT (*FOLDING TYPE*) PADA TANAH KOHESIF**

***MODEL TEST OF THE PULL-UP CAPACITY OF  
FOLDING TYPE GROUND ANCHORS IN COHESIVE SOIL***

**MUHAMMAD IDHIL MAMING  
D013171001**



**PROGRAM STUDI S3 ILMU TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**DISERTASI**

**UJI MODEL KAPASITAS TARIK ANGKUR TANAH  
TYPE LIPAT (*FOLDING TYPE*) PADA TANAH KOHESIF**

***MODEL TEST OF THE PULL-UP CAPACITY OF  
FOLDING TYPE GROUND ANCHORS IN COHESIVE SOIL***

**MUHAMMAD IDHIL MAMING  
D013171001**



**PROGRAM STUDI S3 ILMU TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

UJI MODEL KAPASITAS TARIK ANGKUR TANAH  
TYPE LIPAT (*FOLDING TYPE*) PADA TANAH KOHESIF

*MODEL TEST OF THE PULL-UP CAPACITY OF  
FOLDING TYPE GROUND ANCHORS IN COHESIVE SOIL*

Disusun dan Diajukan oleh

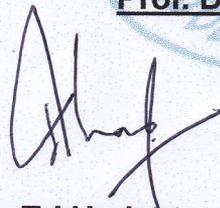
**MUHAMMAD IDHIL MAMING**  
NIM. D013171001

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi  
Pada tanggal 8 Desember 2022  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui  
Komisi Penasehat



Prof. Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, MT.  
Promotor



Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST., MT  
Co-Promotor



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



Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin  
Prof. Dr. Eng. Ir. M. Isran Ramli, ST. MT. IPM



Ketua Program Studi  
S3 Teknik Sipil  
Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST. MT

## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama : Muhammad Idhil Maming

Nomor Induk : D013171001

Program Studi : S-3 Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan 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, Desember 2022

Yang Menyatakan,



Muhammad Idhil Maming

## ABSTRAK

**MUHAMMAD IDHIL MAMING.** *Uji Model Kapasitas Tarik Angkur Tanah Tipe Lipat (Folding Type) pada Tanah Kohesif* (dibimbing oleh **Abdul Rachman Djamaluddin, Tri Harianto** dan **Achmad Bakri Muhiddin**).

Penelitian ini bertujuan menganalisis kapasitas tarik angkur tipe lipat pada tanah kohesif, yang merupakan modifikasi angkur bentuk bintang. Pengujian fisik dilakukan di laboratorium dan skala penuh di lapangan, kemudian membandingkan hasil kapasitas tarik yang didapat. Model angkur terdiri dari 4 daun dengan luasan dan kedalaman yang berbeda. Mempunyai sifat fleksibel dapat tertutup dan terbuka seperti payung terbalik. Pada pengujian laboratorium, luasan efektif masing-masing angkur  $A_1=30.00 \text{ cm}^2$ ,  $A_2=57.60 \text{ cm}^2$  dan  $A_3=147.20 \text{ cm}^2$ . Diuji dalam bak kolom tes dan diisi dengan tanah kohesif yang dipadatkan secara statis dengan tinggi 30 cm pada 4 lapisan. Setiap model diuji 3 variasi kedalaman yaitu 30 cm, 60 cm dan 90 cm. Pada pengujian lapangan, luasan efektif masing-masing angkur yaitu  $B_1=57.60 \text{ cm}^2$ ,  $B_2=147.20 \text{ cm}^2$  dan  $B_3=600 \text{ cm}^2$ . Sifat tanah yang dipilih di laboratorium dan lapangan mempunyai kemiripan yang sama. Setiap model diuji 3 variasi kedalaman yaitu 100 cm, 200 cm dan 300 cm. Pengujian laboratorium dan lapangan menghasilkan kesamaan sifat hasil uji tarik maksimum. Hasilnya menunjukkan perubahan peningkatan luasan setiap model angkur ke masing-masing kedalaman, mengalami kenaikan beban tarik yang signifikan. Akan tetapi pada perubahan peningkatan kedalaman masing-masing variasi angkur, tidak mengalami kenaikan beban tarik yang signifikan. Ini menandakan bahwa, angkur model tipe lipat tidak perlu didesain terlalu dalam. Masing-masing variasi luasan memiliki suatu batasan kritis dimana meskipun kedalaman ditambah tidak lagi akan dengan sendirinya bisa menambah kapasitas tarik maksimum yang lebih besar. Hal ini juga menunjukkan bahwa angkur ini sangat mudah dalam pemasangan dengan menggunakan peralatan yang sederhana di lapangan tanpa menggali atau mengebor tanah.

**Kata Kunci:** Kapasitas Tarik, Angkur Tanah, Empat Elemen, Tipe Lipat, Tanah Kohesif.

## ABSTRACT

**MUHAMMAD IDHIL MAMING.** *Model Test of the Pull-up Capacity of Folding Type Ground Anchors in Cohesive Soil* (supervised by: **Abdul Rachman Djamaluddin, Tri Harianto and Achmad Bakri Muhiddin**).

The purpose of this research is to develop a folding anchor model, which is a modification of the star-shaped plate anchor, and to investigate the pull-up capability operating in cohesive soils. Physical testing is performed in the laboratory and on a full scale in the field, with the findings of the pull-up capacity achieved compared. The anchor model is made up of four leaves with varying widths and depths. It is flexible and may be closed and opened like an inverted umbrella. The effective area of each anchor was determined in laboratory experiments to be  $A_1=30.00$ ,  $A_2=57.60$ , and  $A_3=147.20 \text{ cm}^2$ , evaluated in a test column bath and filled with statically compressed, cohesive soil in four layers to a height of 30 cm. Each model was evaluated at three different depths: 30, 60, and 90 cm. The effective area of each anchor in field testing is  $B_1=57.60$ ,  $B_2=147.20$ , and  $B_3=600 \text{ cm}^2$ . The qualities of the soils chosen in the laboratory and in the field are identical. Each model was tested at three different depths: 100, 200, and 300 cm. The most resemblance to pull-up test results was found in laboratory and outdoor testing. The findings indicated that the area of each anchor model increased at each depth, resulting in a considerable rise in pull-up load. The change in depth of each anchor variation, however, did not result in a substantial increase in pull-up load. This implies that the folding type model anchors do not need extensive design. Each area change has a fundamental constraint in that adding depth will no longer result in a higher maximum pull-up capability. It also shows that these anchors are relatively simple to install in the field using basic tools without excavating or drilling the soil.

**Keywords:** Pull-up Capacity; Ground Anchors; Four Elements; Folding Type; Cohesive Soil.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirabil'amin. Puji syukur kehadiran Allah Subhana Wata'allah Tuhan Yang Mahakuasa, Berkat rahmat dan karunianya yang telah diberikanNya hamba hingga disertasi ini terwujud, dengan judul : Uji Model Kapasitas Tarik Angkur Tanah Type Lipat (*Folding Type*) pada Tanah Kohesif. Berbagai pihak telah banyak memberikan Bantuan selama penelitian dan penulisan laporan disertasi ini berlangsung. melalui kesempatan ini perkenankan saya menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada yang terhormat :

Bapak Prof. Dr. Ir. Abdul Rachman Djamaluddin, MT selaku ketua Komisi Penasihat (Promotor), Bapak Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST., MT dan Ir. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc., Ph.D selaku Co-Promotor atas bimbingan dan arahan sejak penulusuran topik penelitian, selama melakukan penelitian dan penulisan naskah disertasi ini.

Bapak Prof. Dr. Ir. Fabian Johannes Manoppo, M.Agr, selaku penguji Eksternal, Bapak Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST, MT, Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Ali, MT, Bapak Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST, MT, dan Bapak Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST, M. Eng.Sc. Masing-masing selaku anggota tim penguji atas masukan dan saran-saran yang sangat konstruktif untuk perbaikan naskah ini sejak seminar proposal dan seminar hasil penelitian.

Selanjutnya ucapan terima kasih juga disampaikan dengan hormat kepada Rektor Universitas Hasanuddin dan jajarannya, Direktur Program Pascasarjana Unhas dan jajarannya, Dekan Fakultas Teknik Unhas dan jajarannya, Ketua Departemen Sipil Unhas dan jajarannya, Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil Unhas dan seluruh staf yang telah membantu penulis selama proses perkuliahan, penelitian dan penyelesaian administrasi akademik.

Kepada teman-teman mahasiswa S3 angkatan 2017 dan teman-teman di konsentrasi Geoteknik yang saya tidak dapat sebutkan namanya

satu persatu yang telah banyak membantu selama proses persiapan pelaksanaan penelitian, pengolahan data dan naskah disertasi ini.

Kedua orang tua penulis, Ibunda Hj. Andi Normaeny Mandji dan ayahanda Drs. M. Sunusi Maming (alm) serta Drs. H, M. Jufri Maming, MM (alm) dengan segala doa, kasih sayang dan usaha yang tulus dan tidak pernah lelah demi keberhasilan anak-anaknya. Kedua mertua, H. Muh. Daming Opu Dg. Situju dan Hj. St. Sunduseng Kuruseng (alm) dengan segala doa dan dorongan yang tak henti-hentinya.

Istri tercinta Dr. Hj. Sri Undai Nurbayani, S.E, M.Si, CPF atas segala kasih sayang dan doa serta dorongan moril yang tidak henti-hentinya. Anakda penulis, A. Muh. Rezky Andriady Idhil, ST, M.Eng dan menantu Bellania Nurritz, S.M, M.BA, drg. A. Maghfira Andriany Idhil, S.KG dan A. Nurul Isri Indriany Idhil, S.Ked atas bantuan doanya.

Saudara-saudara penulis, Dr.Hj. Djumidah Maming, SE, MM, Fitriana Maming, S.P, Hasmiliah Maming, S.E, Muh. Sadli Maming, S.P, Marlang, ST, Sri Wahyuni, S.E, Sumadi, S.E, Juwita Sari, S.Pd, Heri Riyadi, S.Pd. atas segala bantuan, perhatian dan doanya.

Segenap rekan sejawat dosen dan karyawan di jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Makassar.

Kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas segala dorongan nya, bantuan dan kontribusinya dalam penyelesaian naskah ini.

Di samping itu sekaligus menyampaikan permohonan maaf atas segala kekurangan dan kesalahan yang diperbuat, baik sengaja maupun tidak disengaja. Semoga Allah selalu memberikan perlindungan berbagai kesulitan yang dialami dapat diatasi dengan tenang dan bahagia. Amin, Alhamdulillah Rabil' Alamin.

Akhir kata, atas penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya untuk pengembangan ilmu pengetahuan. Amin

Makassar, Desember 2022

Muhammad Idhil Maming

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN DISETASI .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
UCAPAN TERIMA KASIH .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xvii
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian.....	6
D. Batasan Masalah .....	6
E. Manfaat Penelitian.....	7
F. Sistematika Penulisan .....	8
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Isu Stretegis Permasalahan Tanah Kohesif .....	10
B. Gambaran Umum Angkur Tanah.....	12
C. Angkur Tanah Tipe Lipat .....	34
D. Kapasitas Tarik Ultimit Angkur Lipat .....	37
E. Pemetaan Empirik-Teoritis Studi Terdahulu .....	40
 <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
A. Lokasi Penelitian .....	47
B. Rancangan Penelitian .....	48
C. Rancangan Model Sampel dan Data Penelitian .....	54
D. Metode Pengujian dan Elaborasi Data .....	58

E. Analisa Data .....	64
F. Pengujian Skala Penuh di Lapangan .....	65

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Hasil Uji Laboratorium	
A.1. Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah .....	71
A.2. Perilaku Beban Tarik dan Deformasi Angkur .....	75
A.3. Kapasitas Tarik Ultimit Angkur .....	82.
A.4 Pengaruh Kedalaman Pemasukan Angkur Terhadap Kapasitas Tarik .....	89
B. Hasil Uji Skala Penuh Lapangan	
B.1. Karakteristik Mekanis Tanah .....	92.
B.2. Perilaku Hubungan Beban Tarik dengan Perpindahan Angkur.....	93
B.3. Kapasitas Tarik Ultimit Angkur .....	103
B.4. Pengaruh Kedalaman Pemasukan Angkur Terhadap Kapasitas Tarik .....	109
C. Rekapitulasi Hasil Uji Laboratorium dan Uji Skala Penuh di lapangan.....	113
D. Novelty dan Temuan Empirik .....	117
E. Rekomendasi Keberlanjutan Penelitian.....	118

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan .....	119
B. Saran .....	120

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN-LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Angkur Pada Dinding Penahan Tanah .....	14
Gambar 2. Angkur Pada Penahan Galian .....	14
Gambar 3. Angkur Pada Penahan Sementara Galian Bawah Tanah .....	15
Gambar 4. Angkur Pada Penahan Tekanan Gaya Apung .....	16
Gambar 5. Sistem Kepala Angkur .....	17
Gambar 6. Bagian – Bagian Utama Dari Angkur .....	18
Gambar 7. Sketsa Kasar dari Angkur Adukan Semen .....	18
Gambar 8 . Macam-macam Angkur Tanah.....	20
Gambar 9. Tipe-tipe Angkur .....	21
Gambar 10. Angkur Skyhook .....	22
Gambar 11. Sistem Angkur Skyhook.....	23
Gambar .12. Frustum Cone Angkur Skyhook .....	24
Gambar 13. Kekuatan Leleh Dari Angkur .....	26
Gambar 14. Metode Angkur Dengan Tabung Tekanan .....	28
Gambar 15. Metode Angkur Dengan Inti di Pancang .....	29
Gambar 16. Metode Angkur Plat .....	30
Gambar 17. Keruntuhan Pada Angkur .....	32
Gambar 18. Posisi angkur Di Dalam Tanah .....	33

Gambar 19. Klasifikasi Angkur Berdasarkan Mekanisme Keruntuhan .....	37
Gambar 20. Menentukan Kapasitas Tarik Batas ( $P_u$ ) Angkur secara Grafis .....	39
Gambar 21. Lokasi Penelitian ditinjau dari Google Earth.....	47
Gambar 22 Model Angkur Lipat yang ditentukan untuk digunakan di Pengujian Laboratorium dan Pengujian skala Lapangan ..	49
Gambar 23. Bagan Alir Penelitian .....	50
Gambar 24. Bagan Alir Proses Penyiapan contoh Tanah (Lanjutan)	51
Gambar 25. Bagan Alir Proses Penyiapan dan Uji Tarik di Laboratorium .....	52
Gambar 26. Bagan Alir Proses Penyiapan dan Uji Tarik di Lapangan (Lanjutan) .....	53
Gambar 27. Alat Uji Hand Penetrometer .....	56
Gambar 28. Alat Dongkrak Hidrolik, Bak Uji Kolom Test dan Kompresor .....	56
Gambar 29. Tipikal model angkur lipat 4 daun untuk Uji Laboratorium.....	58
Gambar 30. Tipikal model angkur lipat 4 daun untuk Uji Lapangan ..	58
Gambar 31. Skema Diagram Uji Model Angkur .....	64
Gambar 32. Alat Mesin Hidrolik Penarik Angkur di lapangan .....	66
Gambar 33. Alat Mesin Hidrolik yang dimodifikasi Menjadi Alat Sondir .....	67
Gambar 34. Alat Uji Geser Baling-baling ( <i>Vane Shear Test</i> ) .....	68
Gambar 35. Pengambilan Sampel UDS (Undisturbed Sampel) dan DS(Disturbed Sampel) di lapangan .....	68

Gambar 36. Mesin Hidrolik Pengujian Angkur Tanah Lipat di Lapangan...	69
Gambar 37. Penarikan Angkur Tanah Lipat .....	69
Gambar 38. Grafik hubungan perpindahan angkur dengan beban kapasitas tarik dengan variasi kedalaman model angkur tanah tipe lipat A1 .....	76
Gambar 39. Grafik hubungan perpindahan angkur dengan beban kapasitas tarik dengan variasi kedalaman model angkur tanah tipe lipat A2 .....	76
Gambar 40.. Grafik hubungan perpindahan angkur dengan beban kapasitas tarik variasi kedalaman dengan model angkur tanah tipe lipat A3 .....	77
Gambar 41. Grafik hubungan perpindahan angkur dengan beban tarik dengan variasi model angkur tanah lipat kedalaman 30 cm....	79
Gambar 42. Grafik hubungan perpindahan angkur dengan beban kapasitas tarik dengan variasi model angkur tanah lipat kedalaman 60 cm .....	80
Gambar 43. Grafik hubungan perpindahan angkur dengan beban kapasitas tarik dengan variasi model angkur tanah lipat kedalaman 90 cm .....	80
Gambar 44. Grafik Penentuan kapasitas tarik batas ( $P_u$ ) angkur tipe A3 pada kedalaman 90 cm .....	83
Gambar 45. Grafik Penentuan kapasitas tarik batas ( $P_u$ ) angkur tipe A3 pada kedalaman 60 cm .....	83
Gambar 46. Grafik Penentuan kapasitas tarik batas ( $P_u$ ) angkur tipe A3 pada kedalaman 30 cm .....	84
Gambar 47. Hubungan kapasitas tarik batas maksimum ( $P_u$ ) untuk semua variasi model angkur dengan kedalaman .....	85
Gambar 48. Prosentase Perubahan Luas Efektif Angkur dan Prosentase Penurunan Beban Tarik terhadap tipe Lipat A1 .....	86
Gambar 49 Kurva Hubungan Kapsitas Tarik maksimum dengan Kedalaman Pemasukan Angkur.....	89
Gambar 50. Kurva Prosentase Perubahan Luas Efektif Angkur dan Prosentase Penurunan Beban Tarik terhadap tipe Lipat A1...	89

Gambar 51. Kurva Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur Tipe B1 Terhadap Variasi Kedalaman.....	94
Gambar 52. Kurva Hubungan Kapasitas Tarik sampai tercabut dengan Perpindahan angkur Tipe B1 Terhadap Variasi Kedalaman.....	94
Gambar 53. Kurva Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur Tipe B2 Terhadap Variasi Kedalaman .....	95
Gambar 54. Kurva Hubungan Kapasitas Tarik sampai tercabut dengan Perpindahan angkur Tipe B2 Terhadap Variasi Kedalaman.....	95
Gambar 55. Kurva Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur Tipe B3 Terhadap Variasi Kedalaman.....	96
Gambar 56. Kurva Hubungan Kapasitas Tarik sampai tercabut dengan Perpindahan angkur Tipe B3 Terhadap Variasi Kedalaman.....	96
Gambar 57. Derah Pemakaran Angkur, Kapasitas Tarik Maksimum, Keruntuhan, dan Cabut Pada Angkur Tipe B3.....	97
Gambar 58. Model Variasi Type Angkur pada kedalaman 1.00 m, 2.00 m dan 3.00 m.....	99
Gambar 59. Grafik Beban tarik dengan perpindahan angkur dengan variasi Model pada kedalaman 3.00 m .....	99
Gambar 60. Grafik Beban tarik sampai tercabut dengan perpindahan angkur dengan variasi Model pada kedalaman 3.00 m.	100
Gambar 61. Grafik Beban tarik dengan perpindahan angkur dengan variasi Model pada kedalaman 2.00 m. ....	100
Gambar 62. Grafik Beban tarik sampai tercabut dengan perpindahan angkur dengan variasi Model pada kedalaman 2.00 m.	101
Gambar 63. . Grafik Beban tarik sampai tercabut dengan perpindahan angkur dengan variasi Model pada kedalaman 1.00 m.	101
Gambar 64. Grafik Kapasitas Tarik Angkur Lipat kedalaman 3.00 m .....	104
Gambar 65. Grafik Kapasitas Tarik Angkur Lipat kedalaman 2.00 m .....	104
Gambar 66. Grafik Kapasitas Tarik Angkur Lipat kedalaman 1.00 m .....	105

Gambar 67. Hubungan kapasitas tarik batas maksimum ( $P_u$ ) untuk semua variasi model angkur dengan kedalaman.....	106
Gambar 68. Prosentase Perubahan Luas Efektif Angkur dan Prosentase Penurunan Beban Tarik terhadap tipe Lipat B1 .....	107
Gambar 69. kurva kapsitas tarik maksimum dengan kedalaman pemasukan angkur untuk masing-masing model type angkur. ....	110
Gambar 70. Kurva Prosentase Perubahan Luas Efektif Angkur dan Prosentase Penurunan Beban Tarik terhadap tipe Lipat B.....	110
Gambar 71 Uji Laboratorium, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur Tipe A1 Terhadap Kedalaman.....	113
Gambar 72 Uji Lapangan, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur Tipe B1 Terhadap Kedalaman.....	113
Gambar 73 Uji Laboratorium, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur Tipe A2 Terhadap Kedalaman.....	113
Gambar 74 Uji Lapangan, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur Tipe B2 Terhadap Kedalaman.....	113
Gambar 75 Uji Laboratorium, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur Tipe A3 Terhadap Kedalaman.....	114
Gambar 76 Uji Lapangan, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur Tipe B3 Terhadap Kedalaman.....	114
Gambar 77 Uji Laboratorium, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur pada kedalaman 30 cm Terhadap Variasi Tipe Angkur.....	114
Gambar 78 Uji Lapangan, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur pada kedalaman 100 cm Terhadap Variasi Tipe Angkur.....	114
Gambar 79 Uji Laboratorium, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur pada kedalaman 60 cm Terhadap Variasi Tipe Angkur.....	115
Gambar 80 Uji Lapangan, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur pada kedalaman 200 cm Terhadap Variasi Tipe Angkur.....	115

Gambar 81 Uji Laboratorium, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur pada kedalaman 90 cm Terhadap Variasi Tipe Angkur.....	115
Gambar 82 Uji Lapangan, Hubungan Kapasitas Tarik dengan Perpindahan angkur pada kedalaman 300 cm Terhadap Variasi Tipe Angkur .....	115

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perkiraan kasar dari perlawanan geser yang bekerja pada permukaan angkur .....	25
Tabel 2. Faktor Keamanan Pada Golongan Angker .....	34
Tabel 3. Hubungan antara $q_u$ dengan konsistensi tanah .....	55
Tabel 4. Hubungan antara Kepadatan Relative, Sudut Geser, Nilai $n$ SPT dan Nilai Konus menurut Mayerhoff dan Peck .....	57
Tabel 5. Korelasi antara nilai Hand Penetrometer dengan konsistensi tanah .....	61
Tabel 6. Rekapitulasi Hasil pemeriksaan Karakteristik Tanah .....	73
Tabel 7. Rekapitulasi kapasitas tarik batas maksimum ( $P_u$ ) pada Pengujian Laboratorium .....	77
Tabel. 8. Prosentase Perubahan Luas Efektif Angkur dan Prosentase Penurunan Beban Tarik terhadap tipe Lipat A1 .....	84
Tabel 9. Rekapitulasi kapasitas tarik batas maksimum ( $P_u$ ) pada Pengujian Skala Penuh di Lapangan .....	105
Tabel. 10. Prosentase Perubahan Luas Efektif Angkur dan Prosentase Penurunan Beban Tarik terhadap tipe Lipat B1 .....	107

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
A	Luas pelat jangkar
B	Luas pelat jangkar
C	Kohesi tanah
$C_u$	Kohesi <i>undrained</i>
D	Diameter pelat
$\Delta$	delta
E	<i>Young modulus</i>
e	regangan
et al.	Et al, dan kawan-kawan
$\varepsilon$	Ragangan
$f$	Fungsi tegangan
G	Shear modulus
$\gamma$	Berat volume
H	Kedalaman penanaman jangkar
K	<i>Bulk modulus</i>
ln	<i>National Logarithm</i>
$N_c$	<i>Faktor break-out</i>
$N_{co}$	<i>Faktor break-out</i> tanpa berat
$N_{cy}$	<i>Faktor break-out</i> dengan berat
$N_c^*$	Nilai batas factor <i>break-out</i>
q	kuat geser tanah

$Q_u$	Kapasitas <i>pull-out ultimate</i>
$q_u$	Kuat Geser tanah kondisi <i>undrained</i>
S	Faktor bentuk
$\sigma$	Tegangan normal
$\tau$	Tegangan geser
$\phi$	Sudut geser dalam tanah
vel	Velocity, kecepatan tarik
$\psi$	Sudut pelebaran

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Indonesia sebagai negara maritim 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.

Di beberapa wilayah pantai di Indonesia, banyak dijumpai deposit tanah lunak baik di daerah pantai, perairan lepas pantai, dan daratan. Tanah lunak merupakan salah satu kendala geologi teknik yang dapat menimbulkan permasalahan dalam pembangunan infrastruktur dan penataan ruang. Tanah lunak sering kali menimbulkan permasalahan dalam konstruksi akibat rendahnya daya dukung sehingga berpotensi terjadi settlement. Persoalan utama yang dihadapi untuk bangunan dipantai atau lepas pantai adalah masalah 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.

Karena konstruksi angkur bekerja berdasarkan bentuk angkur dan daya lekat, maka besarnya daya lekat yang mungkin timbul sangat ditentukan oleh besar kecilnya angkur dan keadaan geologi umumnya dimana angkur tersebut akan ditempatkan. Bentuk kepala angkur yang akan diteliti adalah berbentuk angkur lipat (*folding type*). Daya lekat unit angkur berbeda untuk setiap jenis tanah yang berbeda, sedangkan perbandingan daya lekat unit pada tanah lebih kecil dibanding batuan. Daya lekat unit angkur pada tanah tersebutlah yang menjadi gaya tahanan geser.

Untuk mendapatkan berapa besar gaya penarikan maksimum, maka perlu diteliti kapasitas tarik angkur (*pullup capacity*) 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 kapasitas tarik (*pullup capacity*) dan model keruntuhan tanah pada saat terjadi runtuh akibat beban tarik. Memodelkan kapasitas tarik jangkar tanah menggunakan pemilihan fitur Multi-objektif (Mohanty. R, and Suman. S, 2016). Hal tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor. Kebanyakan penelitian menggunakan model angkur

berbentuk plat massif dengan berbagai model seperti bentuk bintang, bentuk persegi panjang, dan bentuk bujursangkar, dengan variasi dimensi, luasan, kedalaman dan tipe beban yang diberikan.

Studi eksperimental tentang perilaku pelat angkur bulat dengan uji uplift tes di tanah kohesif telah dilakukan oleh Niroumand et al, (2012), kapasitas cabut jangkar pelat bentuk bintang pada tanah kohesif terkompaksi, oleh Abdul Rachman Djameluddin (2013). Ada beberapa hasil penelitian yang lainnya berusaha untuk memahami perilaku dari angkur pada tanah kohesif dan nonkohesif baik akibat beban dinamis maupun statis. Selain itu pengembangan secara teoritis dan eksperimental, kebanyakan yang fokus kepada perilaku keruntuhan dan kapasitas tarik angkur yang dilakukan kepada tanah non kohesif dan hanya sedikit yang meneliti masalah tanah kohesif. Studi yang lebih komprehensif tentang perilaku angkur pada tanah lunak dilakukan oleh Das, (2012) dan Merfield et al. (2001). Peneliti berusaha untuk mengetahui perilaku angkur di lapangan dengan melakukan simulasi uji model tes laboratorium dengan pengembangan metode numerik atau formulasi teoritis. Telah dilakukan uji model tes di laboratorium oleh Adams dan Hayes (1967). Para peneliti mengalami kesulitan dalam penggunaan angkur pelat massif yaitu pada saat akan dilakukan instalasi di lapangan. Hal tersebut terutama jika pemasangan angkur dilakukan di daerah perairan pada tanah kohesif yang jenuh air, karena harus dilakukan penggalian terlebih dahulu sampai kedalaman yang diinginkan, kemudian angkur dipasang, setelah dipasang baru ditimbun kembali.

Salah satu peneliti terdahulu merekomendasikan untuk dilakukan penelitian lanjut mengenai pengembangan bentuk dan model angkur yang dapat dikembangkan (dimekarkan) pada saat angkur sudah ditanam pada posisi kedalaman yang ditentukan dan mudah diaplikasikan dilapangan dan memiliki kemudahan dalam pemasangan namun tetap memiliki kapasitas tarik cukup besar (A.R DJamaluddin, 2013), khususnya untuk penggunaan angkur pada tanah kohesif (*cohesivesoil*) yang memiliki ketebalan yang besar. Khusus penggunaan angkur pada tanah kohesif atau tanah lunak, memungkinkan untuk dilakukan inovasi dengan menggunakan elemen angkur dengan berbagai perubahan dimensi atau luasan. Salah satu bentuk angkur yang merupakan inovasi terbaru yang akan dikembangkan pada penelitian ini adalah model angkur tanah type lipat (*folding type*) yang terdiri dari 4 (empat) daun. Angkur tanah tipe lipat ini dalam merupakan modifikasi dari angkur plat berbentuk bintang. Penggunaan angkur tipe lipat pada tanah kohesif dengan kedalaman yang sudah ditentukan dengan asumsi elemen angkur akan mekar atau terbuka dengan sendirinya pada saat angkur ditarik secara perlahan-lahan agar didapat peningkatan gaya tahanan geser sampai pembacaan manometer (*dial gauge*) tidak terjadi lagi kenaikan gaya tarik. Sebagai tahap awal pengembangan angkur tipe lipat ini, maka akan dilakukan tes uji model kapasitas tarik angkur type lipat pada tanah kohesif (tanah lunak) dengan variasi dimensi dan kedalaman angkur. Untuk mendapatkan berapa besar gaya tarik maksimum, maka perlu

diteliti kapasitas tarik angkur (*pullup capacity*), agar didapatkan besaran gaya tarik angkur maksimum yang akan direncanakan.

Berdasarkan alasan tersebut di atas, maka pada penelitian ini akan didesain model angkur type lipat (*folding type*) sekaligus mengkaji kinerja angkur yang akan dibangun terutama dalam hal kapasitas tarik maksimum untuk beberapa variasi luasan dan kedalaman angkur yang dimasukkan kedalam tanah kohesif dengan judul

**”Uji Model Kapasitas Tarik Angkur Tanah Type Lipat (*Folding Type*) pada Tanah Kohesif”.**

## **B. Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana cara merancang angkur pada tanah kohesif yang dapat diaplikasikan dengan mudah di lapangan dan memiliki kapasitas tarik yang besar.
2. Berapa besar kapasitas tarik maksimum (*pullup*) angkur tanah type lipat (*folding type*) yang digunakan untuk menahan gaya geser tanah dengan variasi dimensi (luasan).
3. Bagaimana pengaruh kedalaman terhadap kapasitas tarik angkur.
4. Bagaimana perbandingan kapasitas tarik hasil pengujian eksperimental laboratorium dengan uji skala penuh lapangan.

### **C. Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Menciptakan atau merancang angkur pada tanah kohesif yang dapat diaplikasikan dengan mudah di lapangan dan memiliki kapasitas tarik yang besar.
2. Mendapatkan besaran kapasitas tarik angkur tanah tipe lipat (pullup capacity) terhadap variasi dimensi (luasan) yang ditentukan.
3. Menganalisis pengaruh kedalaman angkur tanah tipe lipat (folding type) terhadap kapasitas tarik untuk masing-masing variasi dimensi (luasan).
4. Mengevaluasi perbandingan kapasitas tarik hasil pengujian eksperimental laboratorium dengan pengujian skala penuh lapangan.

### **D. Batasan Masalah**

Penelitian ini mencakup pengujian eksperimental laboratorium dan pengujian skala penuh lapangan terhadap angkur tanah type lipat pada tanah kohesif. Agar penelitian ini dapat berjalan dengan efektif dan mencapai tujuan yang disarankan, maka peneliti dibatasi pada :

1. Jenis tanah sebagai media percobaan di laboratorium dengan menggunakan satu jenis tanah saja yaitu tanah kohesif.
2. Pengujian model hanya menggunakan angkur type lipat saja yang sifatnya fleksibel, dapat tertutup dan terbuka seperti payung terbalik.

3. Menggunakan tiga variasi model angkur lipat yang dilengkapi dengan empat elemen/daun dengan luasan efektif angkur yang berbeda dan variasi kedalaman untuk masing-masing pengujian di laboratorium dan pengujian skala penuh di lapangan.
4. Pengukuran dibatasi sampai pada besaran kapasitas tarik angkur (*pullup capacity*).

### **E. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar untuk menciptakan model angkur type lipat yang lebih mudah dalam pelaksanaan pemasangan (instalasi) dan memiliki kapasitas tarik yang cukup besar khususnya pada tanah kohesif.
2. Dapat digunakan sebagai bahan informasi dan masukan bagi para ahli dan praktisi khususnya dibidang pengembangan teori geoteknik yang bekerja dalam infra struktur pantai dan lepas pantai yang membutuhkan struktur angkur untuk menjaga kestabilan bangunan terutama jika harus di angkur pada lapisan tanah kohesif.
3. Jika angkur tanah type lipat (*folding type*) ini dapat diciptakan dan dapat berfungsi sesuai yang diharapkan, maka diharapkan bisa diusulkan untuk mendapatkan HAKI.

## **F. Sistematika Penulisan**

Gambaran umum mengenai isi penelitian ini, disusun secara singkat dengan sistematika penulisan yang terdiri dari lima Bab sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini dijelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah menjelaskan permasalahan yang diamati dan dilaksanakan, tujuan dan manfaat penelitian ini dilakukan, ruang lingkup sebagai batasan masalah dalam penulisan, manfaat penelitian menjelaskan keluaran penelitian serta sistematika penulisan tentang pengenalan isi per bab dalam penulisan ini.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Memaparkan teori-teori dasar tentang angkur tanah yang digunakan sebagai landasan untuk menganalisis dan membahas permasalahan penelitian serta tinjauan terhadap penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini..

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Menerangkan teknis penelitian yang dilakukan, kerangka konseptual penelitian, menguraikan tentang urutan kerja dan tata cara kerja penelitian mulai dari pengambilan contoh tanah, pengujian karakter fisik dan mekanis tanah sebagai media percobaan, penjelasan model angkur type

lipat dan skematik peralatan uji model pada pengujian eksperimental laboratorium dan pengujian skala penuh lapangan

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang hasil penelitian yang meliputi karakteristik fisik dan mekanis tanah sebagai media pengujian, hasil pengujian laboratorium, hasil pengujian skala penuh lapangan, perbandingan hasil pengujian laboratorium dengan hasil pengujian skala penuh lapangan, temuan penelitian dan rekomendasi kelanjutan penelitian.

#### **BAB V KESIMPULAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Isu Stretegis Permasalahan Tanah Kohesif**

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari sebagian besar butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat tanah lunak adalah gaya gesernya kecil, kemampatannya besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan mempunyai daya dukung rendah jika dibandingkan dengan tanah lempung lainnya (Toha, F. X. 1989).

Tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kuat geser rendah
2. Bisa kadar air bertambah, kuat gesernya berkurang
3. Bila struktur tanah terganggu, kuat gesernya berkurang
4. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat
5. Menyusut bila kering dan membesar bila basah
6. Memiliki kompresibilitas yang besar
7. Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkakan pada beban yang konstan
8. Merupakan material kedap air.

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-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.

Tanah kohesif dalam konstruksi seringkali menjadi permasalahan. Hal ini disebabkan oleh rendahnya daya dukung tanah tersebut. Daya dukung yang rendah dapat menyebabkan kerugian, mulai dari kerugian dari sisi biaya konstruksi yang semakin mahal, hingga terancamnya keselamatan konstruksi, yaitu struktur yang dibuat tidak mampu berdiri secara stabil dan bisa roboh.

Khusus untuk tanah kohesif di daerah pantai (*shore*) dan lepas pantai (*offshore*) yang banyak aktifitas yang terkait dengan pemanfaatan sumber daya, harus membangun infrastruktur seperti *floating doc*, *mooring dolphin*, *floating break water*, anjungan lepas pantai terapung, bagang, rumah terapung, rumpon dan sebagainya. Semua bangunan tersebut memerlukan solusi untuk menjaga stabilitas bangunan yang akan dibangun di atas tanah kohesif, baik bangunan sementara maupun permanen. Persoalan utama yang dihadapi untuk bangunan dipantai atau lepas pantai adalah masalah kestabilan struktur akibat pergerakan air laut baik secara vertikal akibat pasang surut maupun pergerakan horizontal akibat arus, angin dan gelombang. Untuk menjaga stabilitas akibat pergerakan vertikal akibat gaya apung (*uplift*) maka diperlukan suatu struktur penahan yang dikenal dengan angkur (*anchors*). Ada beberapa penelitian mengenai investigasi teoritis dan eksperimental pada angkur

tanah di bawah air laut (Sciacca. L, 2012) mempelajari perilaku angkur akibat pergerakan air laut.

Struktur yang menggunakan angkur telah banyak dikembangkan untuk berbagai keperluan seperti pada perkuatan lereng, dinding penahan tanah (turap), stabilitas terowongan, pondasi menara transmisi untuk menahan gaya cabut, guling dan sebagainya.

Beberapa penelitian sebelumnya tentang angkur yang menggunakan pelat masif yang mengharuskan penggalian terlebih dahulu dalam pemasangannya, sehingga akan mengalami kesulitan dalam pemasangan, sehingga diperlukan inovasi baru untuk mengembangkan model angkur yang lebih mudah dalam pemasangan namun tetap memiliki kapasitas tarik cukup besar. (Chalmovský.J, and Stefanak.J. 2015).

## **B. Gambaran Umum Angkur Tanah**

### **1. Metode Angkur Tanah**

Metode angkur tanah disebut juga dengan nama Alluvian Anchor, Ground Anchor atau Tieback Anchor. Dalam metode ini pemboran dilakukan didalam tanah baik terdiri dari lapisan pasir, lapisan kerikil, lapisan tanah kohesif berbutir halus ataupun batuan yang lapuk, dimana suatu bagian menahan gaya tarik berupa semen dengan kabel baja atau semen dengan batang baja serta plat dengan batang baja yang

dimasukkan kedalam lubang hasil pemboran tersebut, kemudian disertai dengan suatu gaya tarik setelahnya untuk memperkuat konstruksinya.

Angkur ini dapat dilaksanakan pada hampir semua tipe tanah guna menghasilkan gaya terpusat yang besar, akan tetapi pada pondasi tertentu gaya yang bekerja bukan gaya tekan melainkan gaya tarik. Hal ini sulit dilaksanakan, karena tanah tidak dapat menahan tarikan, oleh sebab itu dipakailah sistem angker pada tanah dimana pada prinsipnya gaya tarik atau gaya cabut ditahan oleh angker yang ditanam jauh kedalam tanah.

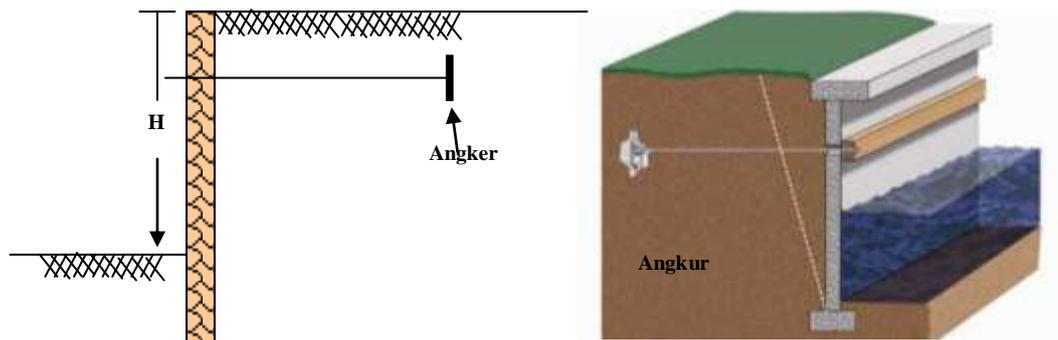
Dari penjelasan diatas angkur dapat didefenisikan sebagai bagian dari struktur yang berfungsi menyalurkan gaya tarik dari struktur utama ke lapisan-lapisan tanah di sekeliling angkur. Gaya tarik ini ditahan oleh kekuatan geser tanah, oleh sebab itu semakin tinggi kekuatan gesernya maka semakin besar pula daya dukung angkur.

Penggunaan angkur tanah yang pertama kali diperkenalkan, dibuat oleh Coyne untuk memperkuat Checefardam di Algeria pada pertengahan tahun 1930. Keuntungan dari penggunaan angkur adalah pelaksanaannya tidak memerlukan lapangan khusus. Berikut ini contoh penggunaan angkur pada berbagai konstruksi.

#### 1. Penggunaan Angkur pada dinding penahan tanah

Penggalian untuk jalan, gedung / konstruksi dibawah permukaan tanah seringkali memerlukan dinding penahan tanah non konvensional karena terbatasnya tempat dan pertimbangan

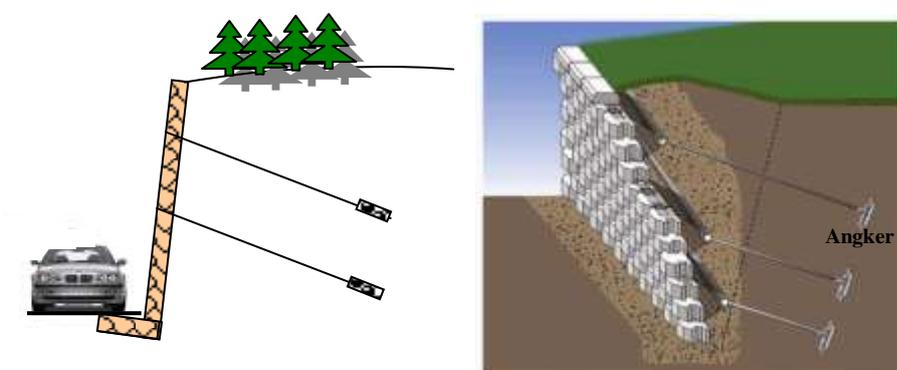
biaya, penggunaan anker tanah disini sangat besar sekali manfaatnya ditinjau dari segi praktis maupun pembiayaannya. Pemilihan letak anker yang tepat dapat mengurangi tebal dinding.



**Gambar 1. Anker Pada Dinding Penahan Tanah**

## 2. Penggunaan Anker Pada Penahan Galian

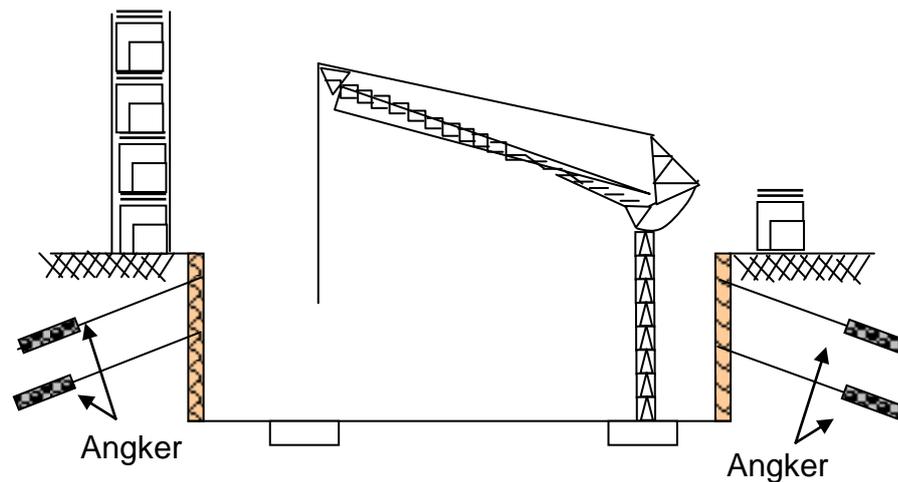
Galian pada jalan raya atau jalan kereta api, setelah beberapa tahun menjadi tidak stabil karena hasil pelapukan. Variasi tekanan air pori atau proses geologi tak terlihat. Anker tanah bisa dipakai dengan atau tanpa lapisan pelindung guna menghasilkan pemecahan yang permanen terhadap masalah stabilitas.



**Gambar 2. Anker Pada Penahan Galian**

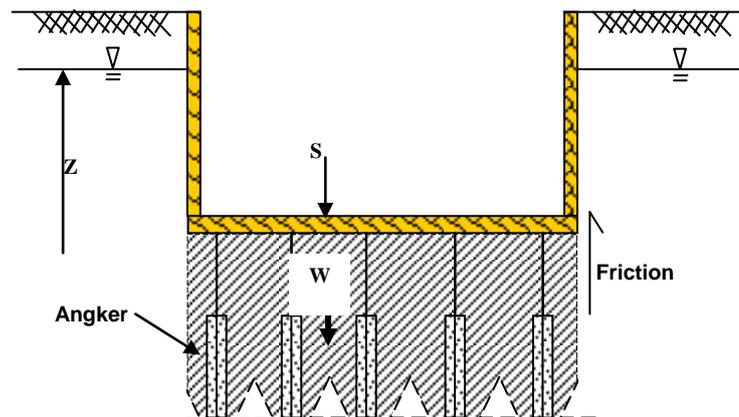
### 3. Penggunaan Angker Pada Penahan Sementara Galian Ruang Bawah Tanah

Kecenderungan membangun ruang bawah tanah pada bangunan gedung menimbulkan persoalan pelaksanaan penyangga sementara muka galian makin dalam galian maka semakin memerlukan penyangga yang lebih kuat (Adams, 1967). Menggunakan angker merupakan salah satu solusi dari masalah tersebut.



**Gambar 3. Angker Pada Penahan Sementara Galian Bawah Tanah**

Gaya keatas akan bekerja pada konstruksi dasar waduk / sungai dibawah muka air tanah bila beban hidup dan beban mati rendah. Dengan menggunakan angker masalah tersebut dapat diatasi (Thanh. N.N., and Phuong Duy. N. 2020).



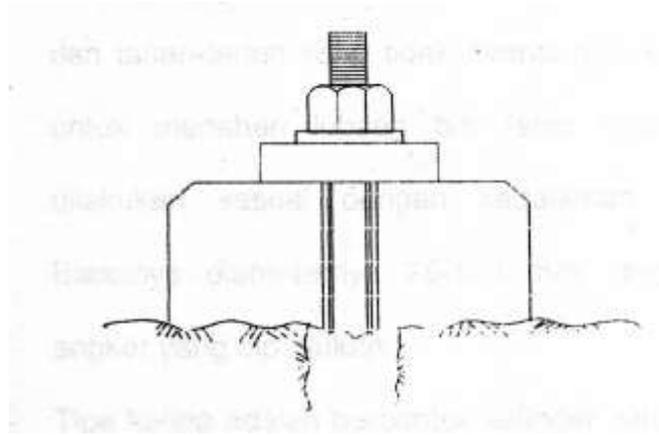
**Gambar 4. Angker Pada Penahan Tekanan Gaya Apung**

## 2. Komponen Dari Angkur

Suatu angkur terdiri dari 3 bagian utama yaitu :

### 1. Kepala Angkur

Batang angkur terdiri dari suatu sistem kepala angkur yang sederhana, terdiri dari plat landasan dan cincin penahan di atas bantalan beton. Detail dari sistem kepala angkur seperti itu diperlihatkan pada Gambar 2.8.. Pada seluruh sistem kepala angkur adalah penting sekali bahwa beban dari tendon akan dilimpahkan secara terpusat, bantalan direncanakan dengan baik untuk menerima beban yang bekerja atau over-pembebanan tanpa pergeseran yang berarti atau rotasi. Pengaruh tegangan sekunder akibat kecenderungan dari kepala angkur untuk tergelincir atau berotasi, berada dalam batas-batas minimum.



**Gambar 5. Sistem Kepala Angkur**

## 2. Bagian tertekan (*Tension Member*)

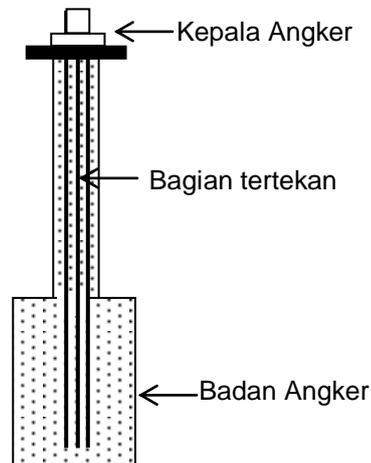
Tension member atau bagian yang menerima penegangan adalah elemen baja atau batang baja (rod) yang fungsinya untuk mentransmisi gaya dari kepala angkur sampai bagian kaki angkur (bond length). Jarak antara kepala angkur dengan kaki angkur dikenal sebagai panjang bebas atau free tendon length, dimana pada bagian ini terjadi perpanjangan sewaktu stressing. Bentuk dari panjang bebas ini akan tergantung dari batasan-batasan kondisi sebagai berikut :

- Jangka waktu pakai, temporary atau permanent ini untuk menentukan besarnya perlindungan terhadap korosi dan kerusakan mekanis.
- Letak atau konstruksi angkur
- Memungkinkan penggrouting kembali pada angkur

## 3. Badan angkur (Anchor Body)

Untuk pembentukan badan angkur ini adalah dengan semen grout diinjeksikan ke dalam lubang angkur, dimana bagian ini akan menyalurkan gaya kepada tanah atau batuan.

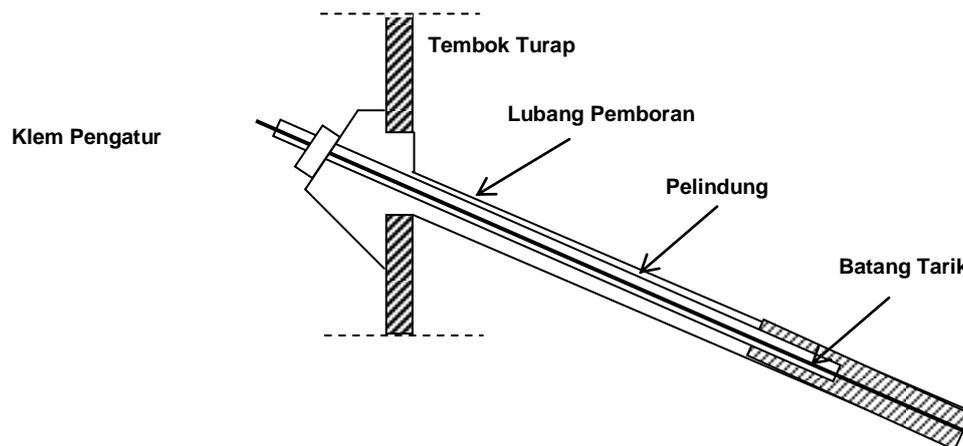
(Parsapajouh. A, 2012). Panjang dari badan angker ini ditentukan dari sifat-sifat teknis dari batuan atau tanah.



**Gambar 6. Bagian – Bagian Utama Dari Angker**

### 3. Macam-Macam Pengangkuran Tanah

Dalam pelaksanaan pekerjaan penjangkaran tanah adalah melubangi tanah dengan mesin bor lalu dimasukkan kedalamnya batang tarik dan kemudian di grout seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7. Sketsa Kasar dari Angker Adukan Semen**

LittleJhon (1993), mengungkapkan persamaan teoritis angker pada pasir mengenai tahanan ultimit dari sebuah angker untuk tercabut keluar

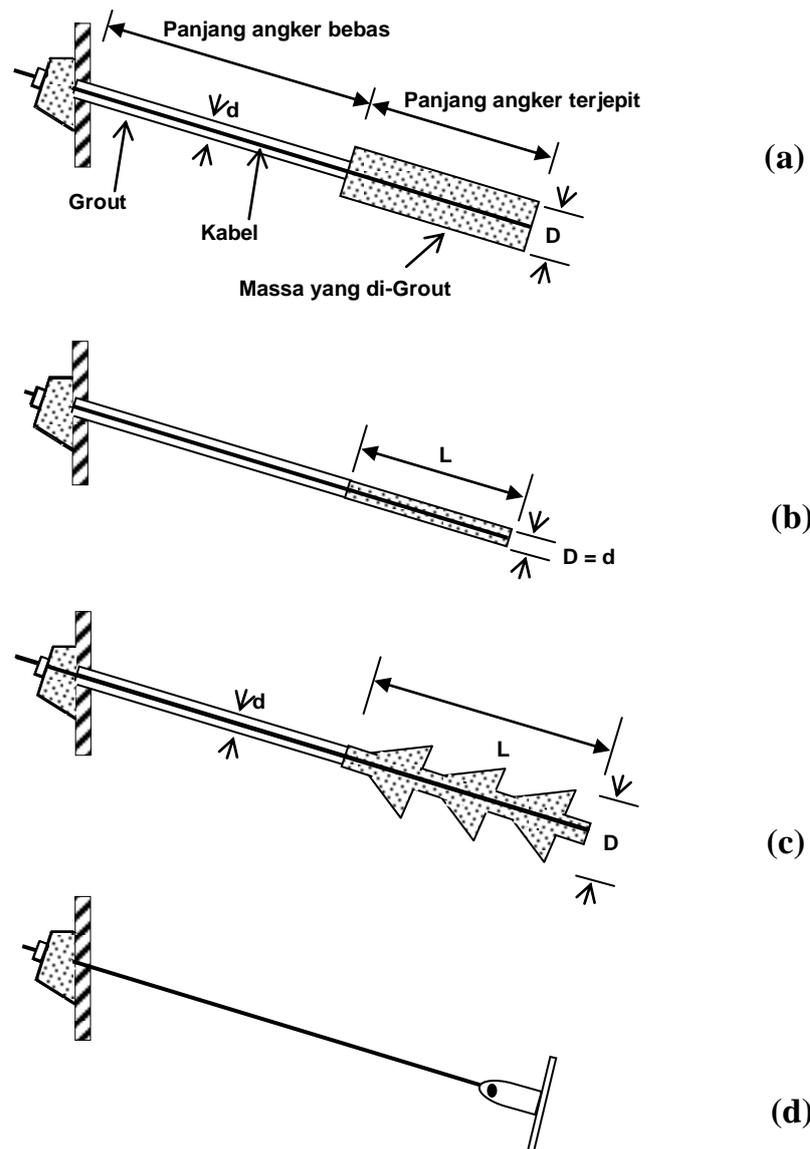
sama dengan jumlah tahanan sisi dan tahanan ujung dari massa yang digrout, yaitu :

$$Q_f = A \gamma' \left( h + \frac{L}{2} \right) \pi D L \tan \phi + B \gamma h \frac{\pi}{2} (D^2 - d^2) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- Q<sub>f</sub> = Kapasitas beban ultimit angker
- A = Rasio tekanan normal pada daerah pertemuan terhadap tekanan efektif akibat tanah di atasnya.
- B = Faktor daya dukung
- H = Kedalaman lapisan tanah di atasnya
- L = Panjang angker terjepit
- D = Diameter angker terjepit
- d = Diameter lubang bor

Telah diusulkan bahwa nilai A lazimnya berada dalam rentang 1 sampai 2, faktor B analog dengan faktor daya dukung N<sub>q</sub> dalam kasus tiang pancang, dan telah di usulkan bahwa rasio N<sub>q</sub> / B berada dalam rentang 1,3 sampai 1,4 dengan memakai nilai N<sub>q</sub> dari Berezantev, Khistoforov, dan Gulibkov.



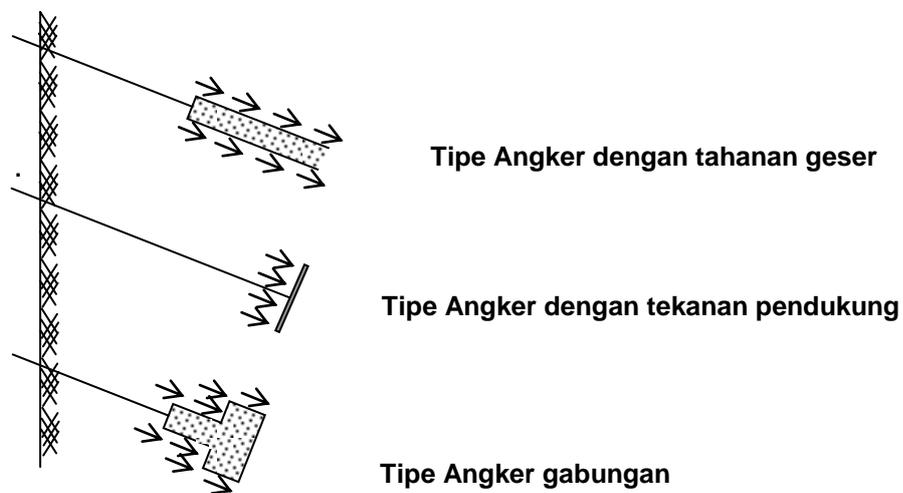
**Gambar 8 .** Macam-macam Angkur Tanah (a) Angker tanah Massa yang di-Grout yang dibentuk dengan suntikan tekanan, (b) Silinder adukan semen, (c) Angker dengan pelebaran ujung majemuk, (d) angker dengan ujung plat.

Panjang jepit angker adalah bagian dari tendon angker yang berada jauh dari struktur yang ditahan, dimana gaya tarik dilimpahkan ketanah sekelilingnya.

Panjang bebas angker adalah bagian dari tendon angker antara ujung atas dari panjang jepit angker dan struktur yang ditahan , dimana tidak ada gaya tarik yang dilimpahkan ketanah sekelilingnya. Hal ini

dimungkinkan dengan menggunakan selimut pencegah gesekan (packer) disekeliling tendon. Selimut ini sebagai pencegah korosi pada panjang bebas angker.

Dapat ditambahkan bahwa banyak metode-metode baru yang dipakai dengan menggunakan bentuk baru dari batang tarik ataupun metode-metode pelaksanaannya, Grouting dengan semen misalnya dapat diganti dengan urethan system, cairan kimia yang bisa mengembang atau suatu epoxiresin, ataupun metode mekanis dimana setelah dipasang jangkarnya maka bagian tersebut diputar dari permukaan tanah atau suatu daun pengunci untuk memegang jangkar tersebut didalam tanah



**Gambar 9. Tipe-tipe Angkur**

1. Pengangkeran dengan tahanan geser, jenis ini memakai batang jangkar yang silindris kemudian digrout di dalam lubang bor dan

gaya tarik ditimbulkan dari tahanan geser yang bekerja disekelilingnya.

2. Pengangkeran dengan Plat pemikul / tekanan pendukung. Jenis ini menggunakan suatu plat massif yang dipasang di dalam tanah sehingga tekanan tanah pasifnya yang bekerja dapat menahan gaya tarik.
3. Pengangkeran gabungan. Di mana ada bagian-bagian yang diperbesar dan tekanan pasip bersama-sama tahanan geser batangnya yang menahan gaya tarik, sehingga dapat disebut sebagai gabungan dari kedua metode terdahulu. Untuk membuat pengangkeran dengan diameter besar pembuatan lubangnya perlu menggunakan mata bor khusus atau semburan air bertekanan tinggi.

### **Sistem Angker Skyhook**

Sistem Angker Skyhook sudah cukup dikenal dalam bidang teknik sipil atau bangunan dan terbukti baik, Sistem ini cukup efektif dengan alternatif biaya yang lebih efisien dari pada metode yang konvensional yang sudah kita kenal.



**Gambar 10. Angker Skyhook**

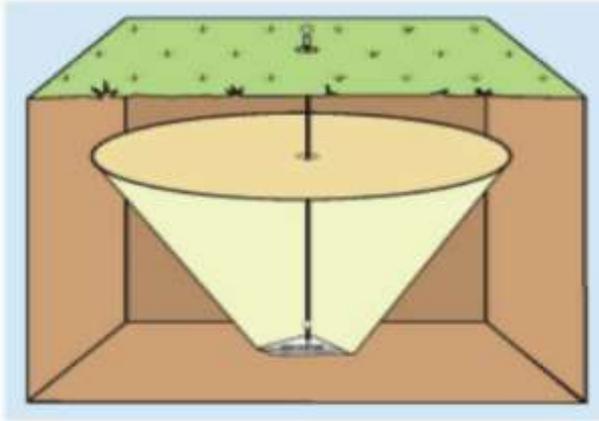
Angker Skyhook adalah suatu sistem angker yang terdiri dari sebuah pangkal (kepala) yang mana, ketika dikunci dalam posisi kerja, menyediakan suatu bidang-dukung beban dengan permukaan tanah sehingga terjadi "Frustum Cone". Bidang gaya tersebut yang berbentuk kerucut (cone) membawa suatu beban yang didistribusikan ke pangkal/kepala oleh suatu batang/tangkai yang kaku atau suatu kabel/kawat tendon yang fleksibel yang dihubungkan ke pangkal / kepala.



**Gambar 11. Sistem Angker Skyhook**

Cara kerja dari sistem angkur ini berkaitan dengan bentuknya dan titik pemasangan offset dari kabel / kawat. Ketika suatu beban diterapkan, angker akan berputar dari permukaan tanah hingga sudut  $90^\circ$  serta dilakukan penguncian (loadlock). Selanjutnya beban tersebut berinteraksi dengan tanah maka secara perlahan-lahan tanah akan mengeras oleh bekerjanya sistem angkur tersebut. Area di atas angker yang di bawah permukaan, dimampatkan hingga adanya reaksi kepada angker dengan

pergerakan lebih lanjut. Luas area seperti pada gambar 12. kita sebut dengan 'Frustum Cone'



**Gambar .12. Frustum Cone Angker Skyhook**

#### 4. Perencanaan Angkur

Untuk keperluan perencanaan angkur suatu penyelidikan tanah adalah sangat penting dan jenis lapisan tanah serta tingkat kepadatannya perlu benar-benar diselidiki. Selain itu dalam perencanaan suatu angkur hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

1. *Kekuatan leleh dari angker* : kekuatan tarik suatu angker tergantung dari tahanan geser di satu pihak, tahanan pasip yang bekerja di muka angker dengan penampang yang besar di lain pihak, seta gabungan antara keduanya. Suatu persamaan untuk menghitung gaya tarik batas (Kazuto Nakazawa, 2000) adalah sebagai berikut :

$$Tu = \pi D_1 \int_{Z_1}^{Z_1+l_1} \tau_z \cdot dz + q \cdot s + \pi D_2 \int_{Z_2}^{Z_2+l_2} \tau_z \cdot dz \dots\dots\dots$$

**(2)**

Dimana :

$T_u$  = Kekuatan batas leleh

$D_1$  = Garis tengah jangkar

$D_2$  = Garis tengah batang jangkar yang membesar

$\tau_z$  = Tahanan tarik dari jangkar terhadap pondasi dan kedalaman  $z$

$q$  = Tahanan tarik dari bagian jangkar yang membesar

$s$  = Luas dari bagian jangkar yang membesar

Dalam hal penjangkaran dengan tahanan geser maka suku pertama saja dibagian kanan persamaan diatas tidak menimbulkan persoalan dan suku kedua perlu dipertimbangkan pada jenis penjangkaran dengan plat pemikul. Dari hasil-hasil percobaan terdahulu maka suatu perkiraan kasar dari tahanan tarik dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Perkiraan kasar dari perlawanan geser yang bekerja pada permukaan angker (berdasarkan pada Persatuan angker tanah)**

Macam dari tanah		Perlawanan Geser (Kg/m <sup>2</sup> )	
Batuan Dasar	Batuan keras	15 – 25	
	Batuan lembek	10 – 15	
	Batuan lapuk	6 - 10	
	Batuan lumpur	6 -12	
kerikil	Nilai $N$ (SPT)	10	1.0 – 2.0
		20	1.7 – 2.5
		30	2.5 – 3.5
		40	3.5 – 4.5
		50	4.5 – 7.0
Pasir	Nilai $N$ (SPT)	10	1.0 – 2.0
		20	1.8 – 2.2
		30	2.3 – 2.7
		40	2.9 – 3.5
		50	3.0 – 4.0
Tanah Kohesif		$\leq 1.0$	

Sumber : Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, Ir. Suyono Sosrodarsono

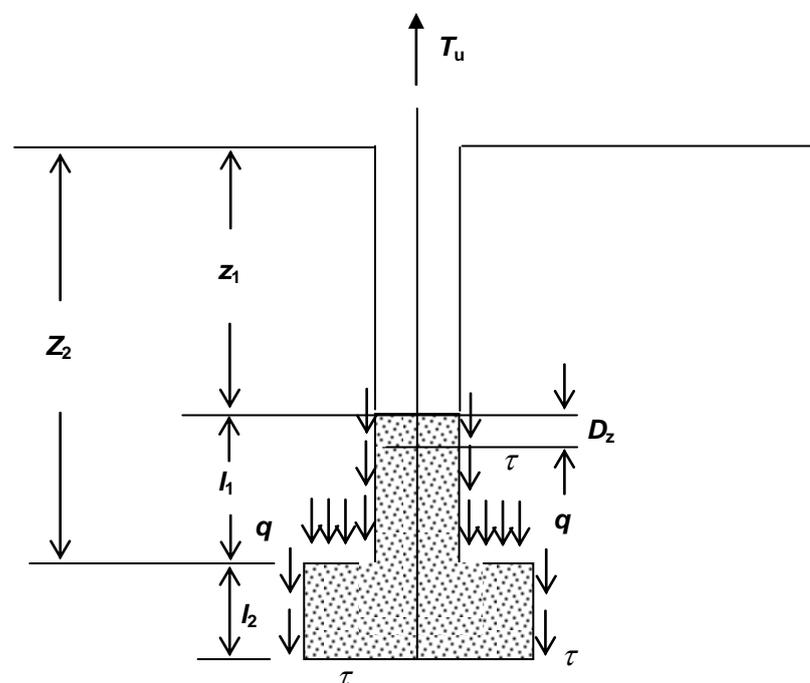
Catatan : 1. Karena nilai-nilai diperoleh dari pengujian tarik dari penjangkaran dengan penekanan seperti angker PS atau angker yang di-grout, maka nilai-nilai diatas harus direduksi untuk jenis pengangkeran yang tanpa penekanan.

2. Bila ketebalan tanah penutup kurang dari 4 m, nilai-nilai tersebut harus direduksi.

2. *Kekuatan leleh yang diperkenankan dari Angker* : kekuatan leleh batas dari angker diperoleh dengan mengalikan nilai kekuatan leleh rencana dengan suatu faktor keamanan (Sabatini, 1999). Jika diasumsikan bahwa kekuatan leleh batas adalah  $T_a$  dan faktor keamanan adalah  $F_s$ , maka kekuatan leleh yang diperbolehkan adalah :

$$T_a = \frac{T_u}{F_s} \dots\dots\dots (3)$$

Biasanya faktor keamanan dianggap lebih besar dari pada nilai-nilai yang berkaitan dengan penggunaan angker tersebut, yaitu 1,5 untuk konstruksi sementara dan 2,5 untuk konstruksi permanen.



**Gambar 13. Kekuatan Leleh Dari Angker**

3. *Susunan Angker* : Karena tahapan dan jarak antara angker tergantung dari keadaan geologinya maka jenis dan karakteristik bangunan yang perlu pengangkeran ditentukan dengan pertimbangan keamanan dan efisiensinya.

Pada pengangkeran yang berlapis terdapat banyak hal dimana susunan angker ditentukan oleh oleh kekuatan dan jaraknya dari suatu tiang pusat. Jarak vertikal biasanya sekitar 2,5m sampai 5,0m dan jarak mendatar antara 1,5m sampai 4,5m. Tergantung dari jarak angker, pengaruh kelompok perlu dipertimbangkan tetapi data-data pengujiannya masih sulit diperoleh.

4. *Proses perencanaan angker* : perencanaan angker dilaksanakan seperti berikut apabila pekerjaan penyusunan letak angker dan beban rencana telah diperhitungkan.

- a. Bahan baja untuk beban rencana
- b. Kekuatan leleh batas dari pencabutan sesuai dengan pertimbangan faktor keamanan.
- c. Pemilihan mesin bor sesuai keadaan tanah dan garis tengah dari angker
- d. Panjang batas angker
- e. Pengujian adhesinya.

### **5. Berbagai Metode Pengangkuran Tanah**

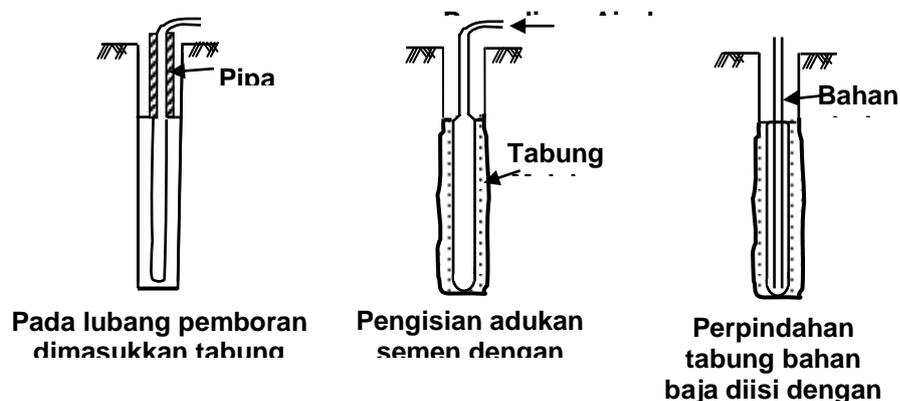
Penjelasan singkat dari beberapa metode pengangkuran yang digunakan saat ini yaitu :

1. Metode pengankuran dengan grouting :

Setelah suatu batang baja atau kabel baja terpasang sebagai batang tarik di dalam lubang hasil pemboran, dilaksanakan grouting dan batang tarik ini dijangkar. Untuk menghindari mengalir keluarnya adukan semen dari lubang waktu sedang grouting, perlu dipasang alat khusus di dalam lubang tersebut yaitu packer untuk menahan tekanan tinggi. Cara ini dimaksudkan untuk mengeraskan dinding lubang secukupnya, yang agak urai karena grouting pada suatu kekuatan leleh yang besar.

2. Metode pengankuran dengan tabung bertekanan :

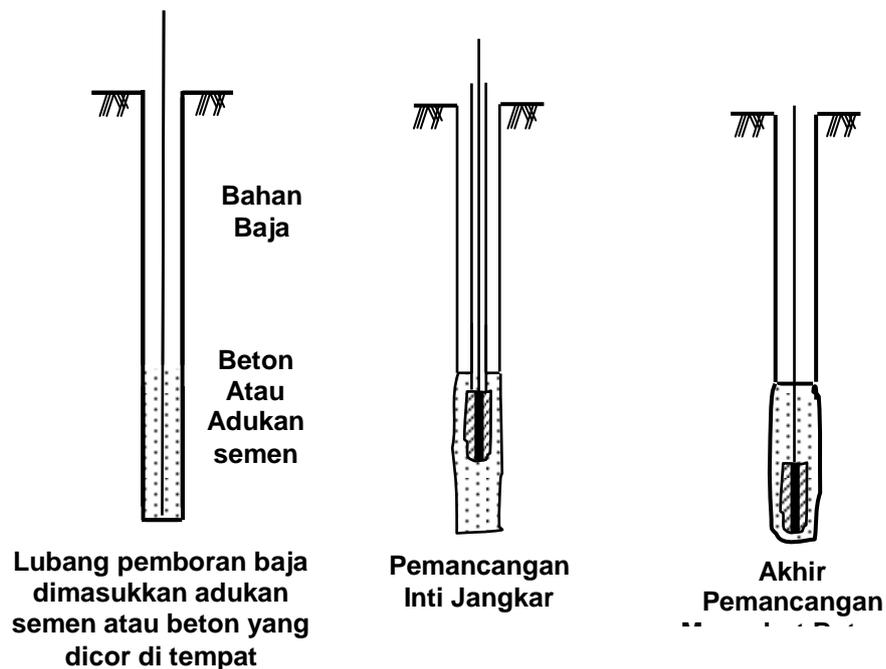
adalah metode di mana suatu tabung yang dapat mengembang dimasukkan ke dalam lubang hasil pemboran dan adukan mengisi bagian luar dari dinding tabung dan kemudian air bertekanan dimasukkan ke dalam tabung tersebut agar mengembang, sehingga bagian luar tabung tertekan dan dapat menjadi keras. Setelah mengeras tabung tersebut dikeluarkan dan batang tarik dimasukkan mengganti tempat tabung tadi dan di beri tambahan adukan, sehingga selesailah pemasangan jangkar tersebut.



**Gambar 14. Metode Angker Dengan Tabung Tekanan**

### 3. Metode pengangkeran dengan penekanan :

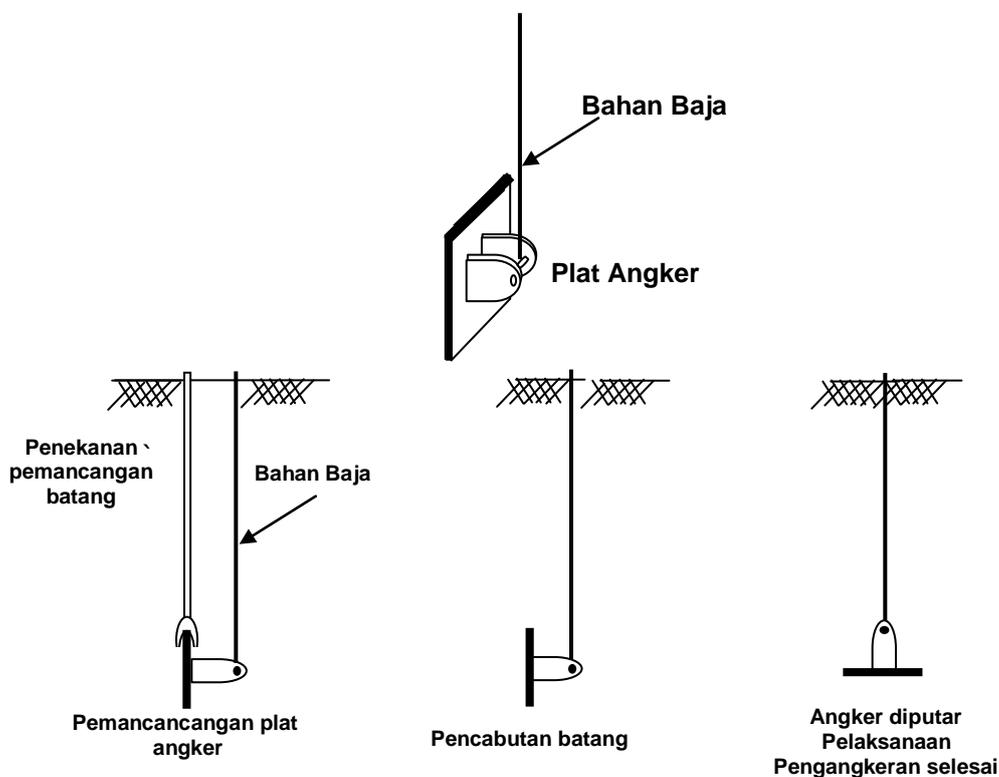
Suatu batang baja dimasukkan ke dalam lubang dan adukan diisikan ke dalam dasar lubang, lalu beton bertulang yang berlubang ditengahnya sebagai inti dari angker ini dengan batang baja tadi sebagai pengarahnya dipukul masuk ke dalam adukannya menyebabkan adukan ini memperbesar dinding lubang, sehingga tahanan cabut dari angker tersebut diperbesar, di sebut juga angker baji.



**Gambar 15. Metode Angker Dengan Inti di Pancang**

#### 4. Metode pengangkeran plat :

Metode ini disebut metode pengangkeran mekanis. Terdiri dari batang baja dan bagian angker yang terbuat dari plat baja dan dimasukkan ke dalam tanah dengan dipukul. Setelah dimasukkan batang baja tersebut ditarik sehingga plat tadi berputar dan menjadi plat penahan. Dalam metode pengangkeran mekanis ini ada juga suatu jenis yang angkernya dimasukkan ke dalam lubang bor, sebagai tambahan dari jenis angker yang dipukul seperti metode angker plat tadi. Jenis angker yang dipukul biasanya dipergunakan untuk beban rencana yang agak kecil dimana gaya tarik kurang dari 20 ton. Hal ini ditandai dari cara pelaksanaannya yang mudah dan prinsipnya sederhana.



**Gambar 16. Metode Angker Plat**

## 6. Mekanisme Kerja Angker

### 1. Lekatan antara badan angker dengan tanah sekelilingnya

Dengan anggapan bahwa distribusi tegangan lekat merata sepanjang fixed part dan keruntuhan diganti dengan gaya geser pada permukaan badan angker. Secara teoritis dapat dikatakan bahwa beban yang dapat didukung oleh angker adalah :

$$T = \pi.d.L.\tau \dots\dots\dots (4)$$

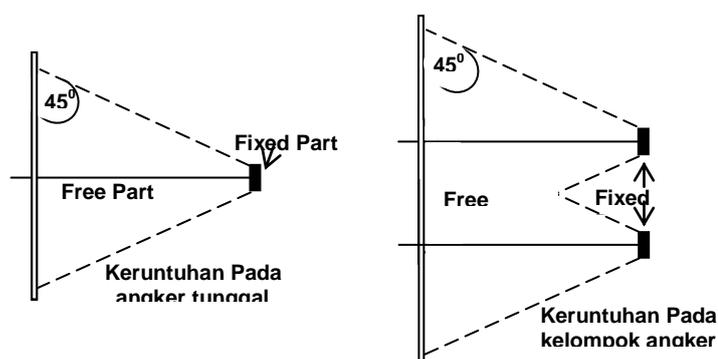
Dimana :    d    = Diameter angker  
               L    = Panjang fixed part  
                $\tau$     = Tegangan lekat yang terjadi

Pembebanan yang dialami angker diteruskan oleh badan angker pada tanah disekelilingnya. Pada kenyataanya teori ideal diatas susah untuk dipakai sebab keruntuhan tidak dapat ditetapkan dengan pasti letaknya, selain itu juga keadaan permukaan lubang angker memungkinkan distribusi tegangan lekat yang tidak merata. Pada umumnya keruntuhan permukaan di pengaruhi oleh kekasaran lubang angker, kekuatan tanah, dan juga oleh adanya gangguan pekerjaan konstruksi yang berdekatan dengan lubang angker. Oleh

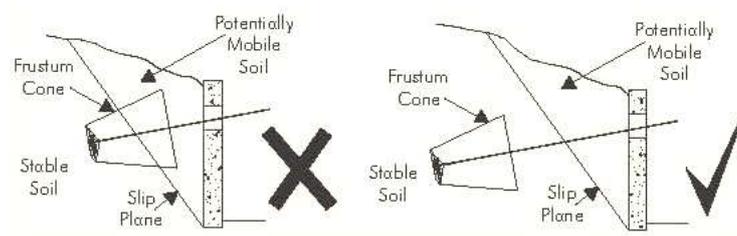
karenanya diadakan pendekatan-pendekatan untuk angker yang ditempatkan dalam berbagai jenis tanah, yaitu pada tanah kohesif, tanah berbutir kasar dan tanah batuan.

## 2. Keruntuhan tanah disekitar angker

Pada umumnya sangat kecil kemungkinan terjadinya keruntuhan tanah di sekitar angker. Hal ini disebabkan karena fixed part / badan angker yang jauh masuk kedalam tanah. Baik dari kedudukan vertikal maupun kedudukan horisontalnya pada permukaan tanah, sehingga sulit untuk mengangkat suatu gumpalan tanah yang berbentuk kerucut dalam ukuran besar sekaligus. Biasanya tipe keruntuhan yang lebih sering terjadi adalah keruntuhan akibat hilangnya daya lekatan antara angker dengan tanah sekelilingnya atau keruntuhan akibat longsor secara keseluruhan. Angker yang dimasukkan kedalam tanah harus melewati daerah bidang longsor seperti pada gambar 2.26 . Namun demikian pada keadaan digunakannya angker batuan dilokasi yang terdiri dari batuan dimana angker tidak dapat masuk cukup dalam pada batuan serta gaya luar (aksi) yang bekerja pada angker cukup besar,. Tipe keruntuhan yang umumnya terjadi adalah keruntuhan dalam bentuk kerucut seperti pada gambar .17.



**Gambar 17. Keruntuhan Pada Angker**



**Gambar 18. Posisi angker Di Dalam Tanah**

## 7. Faktor Keamanan

Faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara kapasitas ultimit (*ultimate capacity*) yang dimiliki dengan beban kerja (*working load*) yang digunakan dalam perencanaan.

Faktor keamanan digunakan untuk menghindari terjadinya keruntuhan akibat kesalahan dalam memperkirakan beban atau jika beban kerja yang terjadi ternyata lebih besar dari beban rencana selain itu faktor keamanan berfungsi sebagai pengaman terhadap penambahan beban apabila terjadi keruntuhan angker tanah secara individu dalam sebuah kelompok angker tanah, pengaman terhadap kesalahan dalam interpretasi jenis tanah.

Faktor keamanan ini terbagi atas faktor keamanan minimum untuk tendon, bidang kontak tanah serta faktor beban uji (*proof load faktor*).

Faktor keamanan yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2. selain didasarkan pada lamanya angker dipakai, juga didasarkan pada tingkat bahaya yang ditimbulkan bila terjadi keruntuhan.

Faktor keamanan untuk tendon berkisar antara 1,4 – 2 tersebut didasarkan pada persyaratan dalam british standart yaitu akibat kerja

tegangan yang terjadi pada tendon tidak boleh melebihi 62,5% Fpu untuk angker sementara dan 50% untuk angker permanen. Sehingga faktor keamanannya adalah 1,6 untuk angker sementara dan 2 untuk angker permanen.

**Tabel 2. Faktor Keamanan Pada Golongan Angker**

Golongan angkur	Faktor keamanan minimum		Faktor Batas beban (prof load factor)
	Tendon	Bidang – hubung Grout / tanah	
- Angkur sementara dimana penggunaannya kurang dari 6 bulan dan kegagalannya tidak menimbulkan akibat yang serius dan tidak membahayakan keselamatan umum misalnya penjualan pembebanan tiang (pile test loading)	1,40	2,0	1,10
- angkur sementara dimana penggunaannya mencapai 2 tahun, walaupun kegagalannya tanpa tanda-tanda lebih dahulu dan menimbulkan akibat yang cukup serius, tetapi tidak membahayakan keselamatan umum misalnya : dinding penahan tanah	1,60	2,5*	1,25
- Angkur permanen dan angker sementara dimana resiko korosi tinggi dan / atau kegagalan menimbulkan akibat yang serius misalnya Kabel utama dari jembatan gantung	2,00	3,0*	1,50

\* = Minimum 2

### C. Angkur Tanah Tipe Lipat.

Angkur tanah tipe lipat (*folding type*) merupakan modifikasi dari angkur pelat masif tipe bintang (*stars anchor plate*). Angkur pelat tipe bintang mempunyai sifat kaku, sedangkan angkur tipe lipat mempunyai sifat fleksibel bisa tertutup dan terbuka seperti bentuk payung terbalik.

Belum ada peneliti yang pernah menggunakan angkur tipe lipat. Pendekatan analisis dalam penelitian ini menggunakan pendekatan para peneliti terdahulu yaitu angkur plat berbentuk bintang (*stars anchor plate*). Bedanya hanya sistem kerja angkur plat sifatnya massif/kaku sedangkan angkur lipat sifatnya fleksibel yang dimasukkan dalam tanah dalam kondisi tertutup, setelah mencapai kedalaman yang ditentukan, maka dilakukan penarikan angkur dan angkur bisa mekar/terbuka setelah pembacaan dial gauge tidak terjadi lagi peningkatan kuat tarik, angkur sudah terbuka sempurna, maka dianggap kerja angkur setelah terbuka pendekatan analisisnya dianggap sama dengan angkur plat massif bentuk bintang.

Salah satu aplikasi awal dari penggunaan angkur plat adalah pembangunan menara transmisi. Pada saat menara transmisi dibangun, banyak peneliti melakukan riset tentang perilaku angkur pelat (Balla 1961). Mula-mula pembangunan menara transmisi ini mengandalkan bobot mati besaran plat berupa balok beton untuk menahan gaya tarik/gaya cabut sehingga dibutuhkan biaya besar untuk itu. Karena itulah banyak peneliti yang mendorong berusaha untuk menemukan solusi perencanaan yang lebih ekonomis. Salah satu hasilnya adalah munculnya tiang *balled* atau pondasi jamur. Pengembangan lebih lanjut tentang perilaku angkur plat semakin luas dengan upaya penelitian yang lebih terpadu telah berevolusi dengan hasil penelitian dan telah memberikan alternatif dan solusi yang ekonomis.

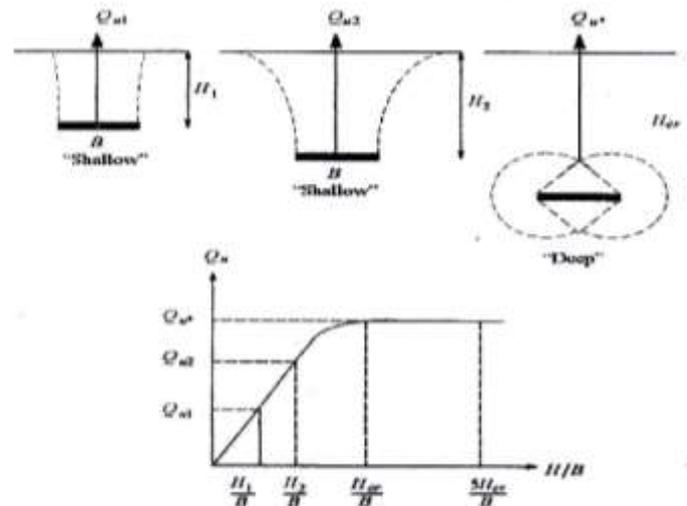
Penelitian awal tentang perilaku angkur plat pada tanah kohesif/tanah lunak menunjukkan dua model keruntuhan tanah yang

dapat dikategorikan atas angkur dangkal dan angkur dalam. Angkur dapat diklasifikasikan apakah dangkal atau dalam tergantung kepada mekanisme keruntuhan tanah disekitar angkur yang tertanam dalam tanah. Angkur dangkal akan terlihat keruntuhan tanah akan kelihatan sampai dipermukaan tanah sedangkan angkur dalam keruntuhan tanah berlokasi disekeliling pelat angkur saja (A.R.Djamaluddin 2013). Dalam beberapa kasus mekanisme keruntuhan tanah belumlah nampak dengan sangat jelas. Pada gambar 19 memperlihatkan bagaimana mekanisme keruntuhan tanah disekitar berbagai kedalaman penanaman jangkar.

Penelitian angkur type lipat ini dilakukan dengan dua pendekatan yaitu experimental dengan pengujian di laboratorium dan pengujian skala penuh lapangan.

Model angkur bentuk lipat yang dipilih terdiri dari, 4 (empat) daun dan terdiri dari 3 (tiga) model yang sama dengan ukuran dan luasan yang berbeda. Pada pengujian di laboratorium, model diuji pada media tanah kohesif pada kolom test ukuran diameter 120 cm dan tinggi 150 cm yang dilengkapi dengan instrumen tes tarik (*pullup*) seperti dongkrak hidrolis kapasitas 10 ton, dial gauge dan kompressor. Setiap model diuji dengan variasi kedalaman yaitu pada kedalaman 30 cm, kedalaman 60 cm dan kedalaman 90 cm. Pada pengujian skala penuh lapangan, media diuji pada tanah kohesif yang dipilih karakteristik tanahnya mirip pada pengujian laboratorium dengan bantuan mesin penarik hidrolis (mesin bor tanah dimodifikasi dan dipasang manometer/*dial gauge*). Setiap model

diuji dengan kedalaman tanah lunak yang bervariasi yaitu 1.00 m, 2.00m



**Gambar 19. Klasifikasi Angkur Berdasarkan Mekanisme Keruntuhan**  
(Sumber Maricar, Iskandar., et al, 2013)

#### D. Kapasitas Tarik Ultimit Angkur Lipat

Dengan menggunakan pendekatan para peneliti terdahulu yaitu angkur plat berbentuk bintang (*stars anchor plate*), ada beberapa hasil test di laboratorium dan tes skala penuh di lapangan yang dipublikasikan untuk menentukan kapasitas tarik/cabut dari angkur plat untuk kondisi jangka pendek yang ditanam di dalam tanah kohesif/lunak dirangkum oleh Das, B.M., and Shukla, K.S. (2013), dimana persamaan untuk menentukan kapasitas angkur pendek pelat angkur seperti persamaan 1 berikut :

$$Q_u = Q_o + W_a + F_s \quad (5)$$

dengan :  $Q_u$  = Kapasitas cabut jangka pendek kotor dari jangkar,  $Q_o$  = Kapasitas cabut 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)

$$Q_o = A (\gamma H + F_{ccu}) \quad (6)$$

dengan :  $A$  = Luas dari pelat jangkar,  $\gamma$  = 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 jangkar.

Merujuk kepada Das (2013):

$$F_c = n(H/D) \leq F^*c = 9 \quad (7)$$

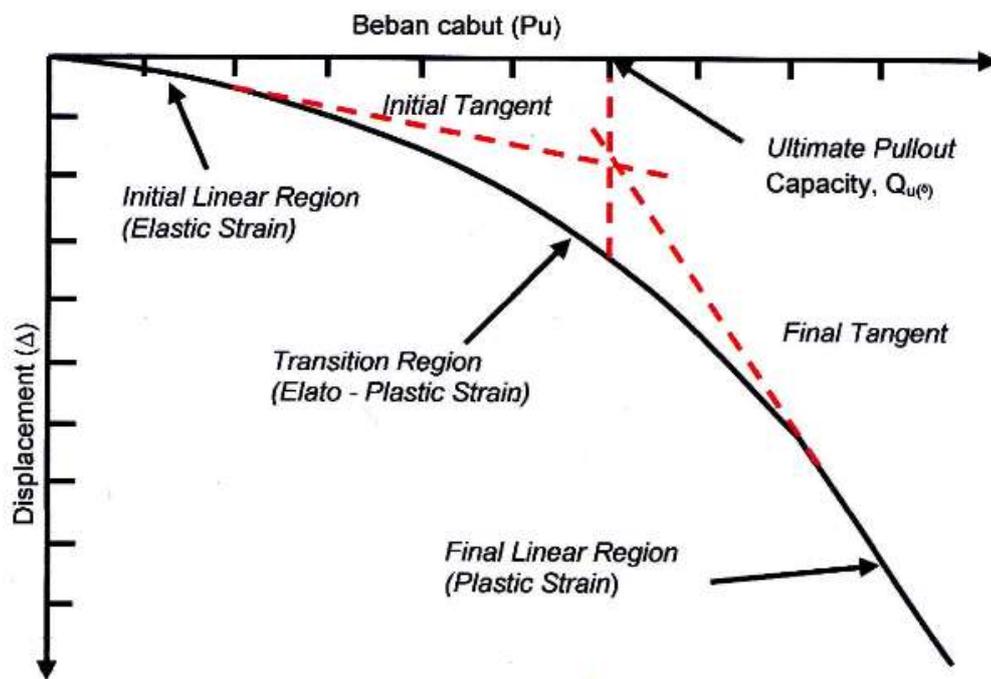
nilai  $n$  berkisar antara 2 – 5,9 tergantung kepada nilai  $C_u$

Selanjutnya hasil kajiannya didapatkan suatu rasio kritis penanaman  $(D/B)_{cr}$  yang merupakan fungsi dari  $C_u$ . Selanjutnya diusulkan persamaan untuk jangkar bujur sangkar dan lingkaran :

$$(H/B)_{cr-s} = (0,107C_u + 2,5) \leq 7 \quad (8)$$

Bhardwaj dan Sunil (2013), menggunakan metode garis singgung dalam menentukan kapasitas batas tarik maksimum ( $P_u$ ) angkur secara grafis, seperti yang ditunjukkan pada gambar 20. Metode ini penting untuk mempertimbangkan kurva beban tarik dengan perpindahan angkur hingga

daerah linear akhir saja, karena setelah ini terkadang pertambahan beban kecil dari beban dapat menghasilkan perpindahan besar dan kurva dapat menjadi sejajar dengan perpindahan sumbu. Ini dapat mengakibatkan hasil yang tidak diharapkan.



**Gambar 20. Menentukan Kapasitas Tarik Batas ( $P_u$ ) Angkur secara Grafis**  
(Sumber Bhardwaj dan Singh, 2013)

### **E. Pemetaan Empirik-Teoritis Studi Terdahulu**

Beberapa publikasi penelitian terdahulu, sejumlah hasil pendekatan penelitian untuk mengestimasi kapasitas tarik dari pelat jangkar dapat dikategorikan atas : pendekatan teoritis, pendekatan numerik, tes model, dan pengujian skala penuh dilapangan. Meskipun tes model yang dilakukan dilaboratorium pada dasarnya harus didukung oleh pengtesan dengan skala penuh dilapangan (Thanh. N.N., and Phuong Duy. N. 2020).

A. R., Djamaluddin. (2013), melakukan penelitian dengan memodifikasi jangkar pelat bentuk lingkaran menjadi bentuk bintang menunjukkan kinerja yang cukup baik. Untuk model pertama dengan reduksi luasan lingkaran dengan diameter tetap, prosentase penurunan kapasitas cabut lebih kecil dibandingkan dengan penurunan luasan hasil modifikasi. Sedang untuk model jangkar dengan luasan sama namun diameter ekivalen membesar terlihat peningkatan kapasitas cukup besar. Dengan hasil uji model tersebut menunjukkan kemungkinan menciptakan model jangkar tipe bintang yang memiliki kapasitas besar dan memungkinkan lebih mudah dalam pemasangan di lapangan dengan sedikit modifikasi sehingga dapat dikembangkan pada kedalaman yang diinginkan terutama pada lapisan tanah lunak.

Aditya. A. P et al. (2020) melakukan suatu studi parametrik tentang pengaruh penggunaan angkur tanah terhadap stabilitas galian dalam pada tanah lunak, yang memiliki tingkat ketidakstabilan tanah yang sangat tinggi. Mereka memodelkan panjang ikatan angkur pada kedalaman yang paling efisien dan mengamati perpindahan angkur, dengan menggunakan

Plaxis v.8.6. Mereka menemukan bahwa meskipun angkur diperpanjang kedalamannya, tidak terjadi perubahan yang signifikan dalam perpindahan angkur, momen, dan gaya geser maksimum. Ini menunjukkan bahwa panjang angkur yang ditanam tidak perlu terlalu dalam dan disesuaikan kebutuhan beban tarik yang diperlukan.

Das, B.M. et al. (1993) mengemukakan sejumlah hasil uji model laborototium terhadap jangkar lingkaran yang tertanam dalam tanah lempung jenuh dengan kohesi takteralirkan bervariasi dari 5,18 kN/m<sup>2</sup> hingga 172,5 kN/m<sup>2</sup>. Das BM. (2012) juga melaporkan beberapa hasil uji model yang dilakukan dengan jangkar persegi dan persegi panjang. Berdasarkan semua hasil uji model, mengusulkan suatu prosedur empiris untuk mendapatkan factor *breakout* untuk jangkar dangkal dan dalam.

Rowe. R.K dan Davis. E.H (1982), melakukan analisis elemen hingga elastoplastik perilaku jangkar pelat pada tanah kondisi homogeny takteralirkan isotropic jenuh sehingga dapat memprediksi perilaku jangkar pelat *strip* yang tertanam untuk berbagai kedalaman dengan pembebanan baik vertical maupun horizontal. Pertimbangan juga diberikan kepada efek ketebalan dan bentuk jangkar. Solusi numeric diperoleh dengan menggunakan teori interaksi struktur tanah dengan pertimbangan sebagai berikut : keruntuhan plastic dalam tanah, jangkar memisahkan diri dari tanah dibelakang jangkar dan keruntuhan geser pada dilatansi gesekan antar muka tanah dan elemen antar muka. Hasilnya dibandingkan dengan model tes penulis dan data eksperimen lain yang tersedia. Hasilnya disajikan dalam bentuk grafik yang dapat

digunakan dalam perhitungan tangan untuk menentukan beban keruntuhan desain.

Saran S et al. (1986), mengusulkan suatu prosedur analitis untuk memprediksi karakteristik beban perpindahan jangkar pelat pada tanah  $c-\phi$  menggunakan hubungan konstitutif non linear. Rumus disajikan untuk memperoleh beban kritis dan beban cabut untuk jangkar *strip*, persegi dan lingkaran. Validitas teori yang diusulkan didirikan dengan membandingkan data lapangan dan data laboratorium yang ditemukan berlaku untuk jangkar dangkal saja. Perubahan perilaku antar jangkar dangkal dan dalam dijelaskan dengan bantuan rasio kedalaman kritis yang bervariasi dengan ukuran dan bentuk jangkar serta parameter tanah. Pada tanah lempung lunak, rasio kedalaman kritis untuk jangkar *strip* sekitar 1,5 sampai 2 kali untuk jangkar lingkaran dan persegi. Nilai 3 untuk jangkar *strip* dan 1,75 untuk jangkar lingkaran.

Merifield et al, (2006) menerapkan analisis batas numerik tiga dimensi untuk mengevaluasi efek bentuk jangkar pada kapasitas cabut jangkar horizontal pada tanah lempung kondisi takteralirkan. Jangkar dalam bentuk bujur sangkar, lingkaran atau persegi panjang, perkiraan beban cabut batas diperoleh dengan menggunakan prosedur baru yang dikembangkan berdasarkan formulasi numeric *three-dimensional lower bound solutions*. Formulasi ini diasumsikan model tanah plastis sempirna dengan kriteria hasil *Tresca*. Mereka Memprestasikan hasil dalam bentuk factor *breakout* umum berdasarkan

berbagai bentuk jangkar dan kedalaman penanaman jangkar serta membandingkannya dengan solusi numerik dan empiris yang ada.

Merfield et al, (2001), menggunakan teorema *lower and upper bound limit* untuk menentukan kapasitas cabut batas jangkar meningkat searah dengan *overburden pressure* hingga ke sebuah batas yang merefleksikan bentuk transisi dari mekanisme keruntuhan tidak local kelokal (dalam).

Singh dan Ramaswamy (2011), meneliti efek bentuk jangkar pelat yang ditanam dalam tanah lunak. Mereka menemukan bahwa factor *breakout* pada jangkar lingkaran, persegi, dan persegi panjang selalu lebih besar yang diperoleh dari jangkar *strip* bila dibandingkan pada rasio kedalaman jangkar. Pada tahun yang sama pula mereka meneliti kontribusi gaya hisap untuk kapasitas *breakout* pada jangkar pelat. Mereka melaporkan mulai dari rentang *pull-out* kedalaman penanaman jangkar hingga konsistensi tanah pada kapasitas *breakout* hisap. Semua pengujian dilakukan dengan menggunakan tanah lempung plastisitas tinggi. Mereka menyimpulkan bahwa kekuatan hisap terletak pada kedalaman yang dangkal. Kontribusi gaya hisap dengan kapasitas *breakout* menurun secara linear dengan peningkatan kedalaman penanaman jangkar sampai kedalaman kritis hingga hampir konstan.

Song et al. (2008), mempelajari perilaku jangkar bentuk lingkaran lingkaran dan jalur jangkar pelat saat penarikan vertikal dengan sepenuhnya terpasang dan terdapat daerah yang kosong pada belakang

jangkar, pada tanah seragam, dan lempung terkonsolidasi normal dengan regangan kecil serta deformasi besar melalui analisis elemen hingga.

Zhang, B, et al., (2006), melakukan analisis perbandingan pada pengujian laboratorium dan skala penuh di lapangan dengan menggunakan model angkur tanah tipe bond/grout dengan perkuatan serat (Fiber Reinforced Polymer/FRP). Mereka menemukan mekanisme perpindahan beban dari tendon ke massa tanah di sekitarnya bahwa angkur tanah bekerja dengan baik untuk aplikasi pasca-tarik dengan tendon dan memberikan panjang transfer beban yang lebih pendek dengan panjang ikat angkur minimal 2.000 mm (2.00 m). Mereka menyimpulkan bahwa pemasukan/penanaman angkur tidak perlu terlalu dalam, harus menyesuaikan kebutuhan tarik maksimum yang diperlukan..

Niroumand et al. (2010), memberikan pemaparan tentang studi eksperimental jangkar pelat horizontal pada tanah kohesif yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti dari berbagai Negara. Mereka menyimpulkan bahwa terdapat permasalahan dan kesulitan dalam menyesuaikan antara penelitian yang dilakukan pada skala laboratorium dengan skala penuh dilapangan, ini disebabkan oleh perbedaan bahan atau parameter geometric.

Wang et al. (2010), melakukan analisis elemen hingga tiga dimensi untuk deformasi besar untuk menyelidiki kapasitas jangkar pelat selama penerapan beban cabut vertikal. *Pull-out* jangkar pelat terus menerus disimulasikan dan hasil deformasi besar untuk *strip*, lingkaran, dan persegi panjang jangkar dibandingkan dengan data model uji *small*

*strain* hasil *finite element* dan solusi batas plastis. Mereka menyelidiki efek kekasaran jangkar, aspek, rasio, sifat tanah, dan tekanan *overburden* tanah. Ditemukan bahwa kekasaran jangkar memiliki efek minimal terhadap kinerja jangkar. Rasio pemisahan kedalaman untuk jangkar lebar ditemukan meningkat secara *linear* dengan rasio kekuatan geser *undrained* tanah, berat isi, dan lebar jangkar efektif serta dari kedalaman awal penanaman jangkar.

Mistri B dan Singh (2011), melakukan sebuah studi parametric untuk membandingkan beban daya dukung jangkar pelat persegi pada orientasi horizontal untuk beberapa rasio penanaman jangkar Pada tanah lempung dengan pemodelan elemen hingga menggunakan *PLAXIS*. Mereka megemukakan bahawa pada jangkar dangkal memperoleh hasil yang sangat memuaskan namun pada jangkar yang lebih dalam, ditemukan beberapa perbedaan yang terjadi.

(Singh. B, 2011), Melakukan analisis perbandingan terhadap kapasitas cabut pada jangkar pelat teriklinasi. Mereka merekomendasikan untuk memasang jangkar pelat terinklinasi dipasang lebih dalam agar ketidaktepatann dalam kedalaman penanaman jangkar tidak berpengaruh pada desain kapasitas cabut batas.

Niroumand et al. (2012), meneliti sifat pelat jangkar yang ditanam dan mengembangkan hasil analisa untuk mengukur kapasitas cabut batas dari pelat jangkar lingkaran dalam tanah kohesif. Mereka menemukan bahwa kapasitas cabut batas tergantung dari kekuatan

relative lapisan tanah kohesif, kondisi teralirkan atau tidak teralirkan, dan rasio kedalaman penanaman jangkar.