

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Angkur tanah (ground anchor) adalah elemen struktural yang digunakan untuk menangkap gaya tarik yang timbul akibat beban dari tanah, beban eksternal, dan untuk mengalirkan gaya tersebut ke dalam tanah. Angkur ini sering digunakan dalam struktur yang memerlukan penahanan gaya tarik dan lateral, seperti dinding, fondasi, menara transmisi, turap, dermaga terapung, mooring dolphin, dan bangunan di lepas pantai. Angkur tanah tersedia dalam berbagai bentuk seperti bujursangkar, lingkaran, atau persegiempat, dan umumnya berperan sebagai sistem fondasi untuk struktur yang membutuhkan ketahanan terhadap gaya tarik, seperti tower transmisi, atau untuk struktur yang membutuhkan penahanan lateral, seperti dinding turap. Banyak ankur tanah juga digunakan untuk menyediakan sistem mooring yang ekonomis dan sederhana untuk fasilitas minyak dan gas terapung di lepas pantai.

Berbagai jenis ankur tanah telah banyak dipakai seperti ankur tarik, spiral, pelat berbentuk lingkaran, bujur sangkar, dan persegi. Penggunaan ankur pelat yang besar menghadapi kesulitan dalam pemasangan karena perlu digali sebelum dipasang. Dengan mempertimbangkan hal ini, dibutuhkan inovasi baru untuk mengembangkan model ankur yang lebih mudah dipasang namun tetap memiliki kapasitas tarik yang besar. Penelitian telah dilakukan untuk memudahkan pemasangan ankur tanah pada lapisan tanah kohesif dengan menggunakan ankur tanah tipe lipat di lapangan. Pemasangan ankur tanah tipe lipat dilakukan dengan menekan ankur lipat sampai mencapai kedalaman tertentu di dalam tanah, di mana rangka payung ankur yang terlipat akan mengembang dan mengunci posisi terbalik pada kedalaman yang telah direncanakan.

Penelitian ini bertujuan menganalisis kapasitas tarik dan lateral ankur tanah tipe lipat tunggal dan ganda pada tanah pasir. Pengujian fisik dilakukan skala penuh di lapangan, kemudian membandingkan hasil kapasitas tarik dan lateral keduanya. Model ankur tipe lipat tunggal terdiri dari satu kelompok sayap yang terdiri dari empat sayap dimana tiap sayapnya mempunyai luasan yang sama yaitu 30 cm². Model ankur tipe lipat ganda terdiri dari dua kelompok sayap yaitu satu kelompok sayap atas dan satu kelompok sayap bawah dimana tiap kelompoknya terdiri dari empat sayap dan arah sayap kelompok sayap atas berbeda 45 derajat dengan arah sayap kelompok sayap bawah pada kedalaman 1 m, 2 m dan 3 m.

Studi mengenai mekanisme penarikan ankur tanah tipe lipat di tanah dasar kohesif telah diselidiki di lapangan. Namun, penelitian eksperimental yang serupa belum pernah dilakukan untuk tanah dasar pasir (non-kohesif) di lapangan. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan hasil pengujian lapangan terkait penarikan ankur tanah tipe lipat yang ditekan ke dalam lapisan tanah pasir.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terkait, maka rumusan masalah yang dapat di ambil sebagai berikut:

1. Berapa besar kapasitas tarik (pull-up) maksimum angkur tanah tipe lipat (folding) yang digunakan untuk menahan gaya geser tanah pasir.
2. Bagaimana pengaruh kedalaman angkur tanah tipe lipat terhadap kapasitas tarik angkur pada tanah pasir.

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Berdasarkan rumusan masalah yang di ambil, tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai besar kapasitas tarik (pull-up) maksimum angkur tanah tipe lipat (folding) yang digunakan untuk menahan gaya geser tanah pasir.
2. Menentukan pengaruh kedalaman angkur tanah tipe lipat terhadap kapasitas tarik angkur pada tanah pasir.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat bagi perkembangan teknologi beton, antara lain sebagai berikut:

1. Dapat mengidentifikasi nilai besar kapasitas tarik (pull-up) maksimum angkur tanah tipe lipat (folding) yang digunakan untuk menahan gaya geser tanah pasir.
2. Dapat mengidentifikasi pengaruh kedalaman angkur tanah tipe lipat terhadap kapasitas tarik angkur pada tanah pasir.

1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian berjalan dengan baik dan terarah, maka penulis memberikan batasan masalah dalam melaksanakan penelitian, sebagai berikut:

1. Material tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah non kohesif.
2. Pengujian CPT berdasarkan standar SNI 2827:2008 dan ASTM D3441-98.
3. Uji kapasitas tarik dilakukan dengan alat CPT hidrolik yang telah di modifikasi.

1.6 Teori

1.6.1 Uji sondir

Uji sondir adalah metode dalam teknik sipil yang digunakan untuk menentukan kedalaman tanah keras dan mengukur kekuatan tanah dalam menahan beban. Data yang diperoleh dari tes ini mencakup besaran gaya perlawanan tanah terhadap konus dan hambatan pelekat dari tanah tersebut. Hambatan pelekat adalah perlawanan geser tanah yang bekerja pada selubung bikonus alat sondir dalam gaya per satuan panjang.

Tujuan uji sondir adalah untuk mengetahui kekuatan tanah pada setiap kedalaman dan stratifikasi tanah secara pendekatan. Uji ini dapat mengidentifikasi jenis tanah dari kombinasi hasil pembacaan tahanan ujung (q_c) dan gesekan selimut (f_s). Tahanan ujung (q_c) adalah nilai perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya per satuan luas. Gesekan selimut (f_s) adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus dalam gaya per satuan luas. Uji sondir biasanya dilakukan pada tanah kohesif (Braja M. Das, 2010).

Nilai perlawanan konus hasil uji penetrasi sondir pada lapisan tanah atau batuan dapat dihubungkan secara empiris dengan kekuatannya. Pada tanah berbutir halus (lempung – lanau), dapat ditentukan tingkat kekerasan relatifnya, sedangkan pada tanah berbutir kasar (pasir – gravel) dapat ditentukan tingkat kepadatan relatifnya.

Nilai perlawanan konus dan friction ratio hasil uji penetrasi sondir dapat dihubungkan secara empiris dengan jenis tanah. Tanah berbutir halus (lanau-lempung) cenderung memiliki nilai perlawanan konus yang rendah namun friction ratio yang tinggi. Sebaliknya, tanah berbutir kasar (pasir – gravel) memiliki nilai perlawanan konus yang tinggi namun rasio gesekan yang rendah.

1.6.2 Metode angkur tanah

Metode angkur tanah atau ground anchors adalah salah satu metode dalam geoteknik untuk perkuatan tanah yang banyak digunakan dalam menahan tanah, lereng maupun konstruksi lainnya. Dalam (Badan Standarisasi Nasional, 2017) dijelaskan bahwa sistem pengankuran adalah suatu sistem untuk menyalurkan gaya tarik yang bekerja ke lapisan tanah/batuan pendukung. Sistem pengankuran ini utamanya terdiri atas *fixed length*, *free length*, dan kepala angkur (*anchor head*). Angkur tanah merupakan sistem penunjang yang umumnya diaplikasikan pada Embedded Wall.

Menurut (Das, 1990) angkur umumnya digunakan dalam konstruksi pondasi untuk meningkatkan daya dukung tanah dan dinding penahan tanah. Tujuan utama dari penggunaan angkur tanah dalam konstruksi adalah untuk menyalurkan beban pada struktur kedalam lapisan tanah yang paling dalam dan jauh dari struktur di atasnya.

Angkur tanah adalah pondasi yang tipis (*thin foundation*) yang didesain dan dibangun khususnya untuk menahan gaya tarik dan momen guling pada struktur.

Umumnya Saat ini angkur tanah dibedakan dalam beberapa tipe atau jenis diantaranya adalah angkur pelat, angkur heliks, angkur dengan sistem *grout*, angkur tiang, angkur dengan bentuk tak beraturan dan angkur lipat.

1.6.3 Tipe dan jenis angkur tanah

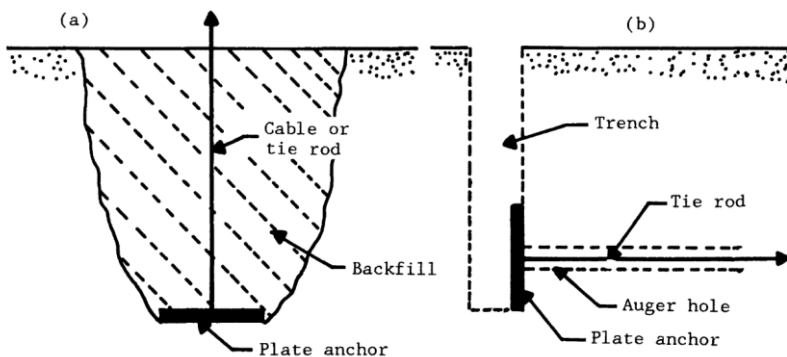
Angkur tanah atau soil anchors merupakan alat yang digunakan untuk memperkuat tanah agar dapat menahan beban yang diberikan, seperti pada bangunan atau struktur yang dibangun di atasnya. Berikut adalah beberapa tipe dan jenis angkur tanah yang umum digunakan:

1. Angkur Pelat

Angkur tanah tipe pelat (*plate anchors*) adalah salah satu jenis angkur tanah yang digunakan untuk menyalurkan beban tarik ke dalam tanah. Angkur ini terdiri dari sebuah pelat baja yang dipasang dalam tanah dan terhubung dengan elemen struktural melalui batang angkur.

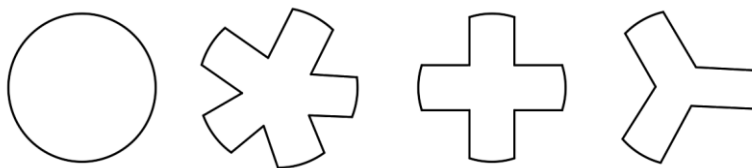
Angkur pelat bekerja dengan prinsip dasar menyalurkan beban tarik dari struktur ke tanah melalui pelat baja yang tertanam. Saat beban tarik diaplikasikan, pelat baja memberikan resistensi terhadap gaya tersebut dengan bantuan tanah di sekitarnya. Pelat tersebut biasanya dipasang dalam posisi horizontal atau miring, tergantung pada kebutuhan desain dan kondisi tanah.

Proses pengerjaan dan pemasangan angkur pelat dilakukan dengan penggalian sampai pada kedalaman tertentu, penimbunan (*backfill*) dengan material tanah yang lebih baik dan pemadatan. Ilustrasi untuk angkur pelat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. angkur pelat

Pengembangan model dari angkur pelat salah satunya dilakukan pada angkur pelat lingkaran dengan mereduksi luas penampang sehingga membentuk seperti bintang. (Djamaluddin et al., 2020) mengkaji tentang kapasitas gaya cabut (*pullout*) untuk angkur bintang dengan model 3, 4 dan 5 elemen. Ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 2.

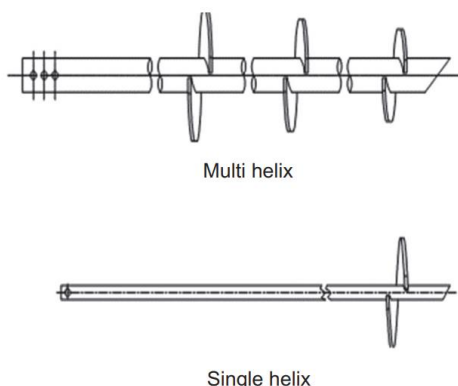


Gambar 2. ankur pelat bintang

2. Angkur Heliks

Angkur tanah tipe heliks (helical anchors atau screw anchors) adalah jenis ankur yang terdiri dari batang dengan satu atau lebih pelat spiral (heliks) yang terpasang di sepanjang panjangnya. Angkur ini dipasang dengan cara diputar ke dalam tanah, mirip dengan cara sekrup dimasukkan ke dalam kayu.

Angkur heliks bekerja dengan cara diputar ke dalam tanah menggunakan alat pemutar khusus. Pelat heliks menciptakan daya dorong ke bawah saat diputar, memungkinkan ankur masuk ke dalam tanah dengan sedikit gangguan pada tanah sekitarnya. Ketika beban tarik diaplikasikan, pelat heliks menahan gaya tarik tersebut dengan bantuan resistensi tanah di sekitarnya. Dalam Gambar 3 diperlihatkan gambar skema untuk ankur heliks ganda dan ankur heliks tunggal.

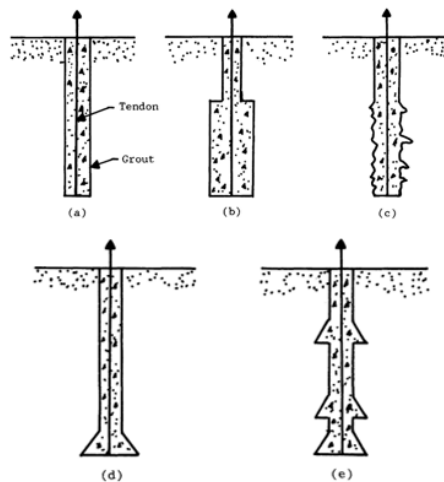


Gambar 3. ankur heliks tunggal ganda

3. Angkur dengan Sistem Grout

Angkur dengan sistem grout adalah jenis ankur tanah yang menggunakan campuran grout (biasanya terdiri dari semen, air, dan bahan tambah) untuk mengisi ruang antara ankur dan tanah di sekitarnya. Angkur ini bekerja dengan cara menyalurkan beban tarik dari struktur ke dalam tanah melalui campuran grout yang mengeras.

Angkur dengan sistem grout dipasang dengan cara mengebor lubang ke dalam tanah, memasukkan batang ankur, dan kemudian mengisi lubang tersebut dengan campuran grout. Grout ini mengeras dan membentuk ikatan kuat antara batang ankur dan tanah sekitarnya, memungkinkan ankur menahan beban tarik yang besar. Ada beberapa tipe dari ankur dengan sistem grout yang kemudian diilustrasikan seperti pada Gambar 4.



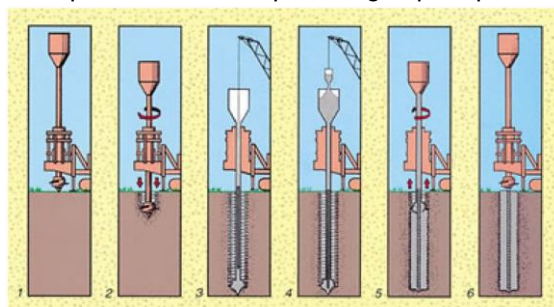
Gambar 4. Grouted anchors: (a) gravity; (b) low pressure; (c) high pressure; (d) single ell; (e) multiple bell (Das, 1990)

4. Angkur Tiang

Angkur tiang (*anchor piles*) adalah jenis angkur tanah yang menggunakan tiang panjang yang ditanam ke dalam tanah untuk menahan beban tarik atau momen pada struktur di atasnya. Tiang ini biasanya terbuat dari baja, beton, atau kayu, dan ditanam dengan cara dipukul, didorong, atau diputar ke dalam tanah.

Angkur tiang bekerja dengan menyalurkan beban tarik atau momen dari struktur ke dalam tanah melalui tiang yang ditanam dalam. Tiang ini memberikan resistensi terhadap beban tarik dengan bantuan kekuatan gesekan antara tiang dan tanah, serta dukungan dari lapisan tanah yang lebih dalam dan padat.

Angkur tiang (*pile anchor*) bisa terbuat dari beton, baja maupun kayu yang dapat ditempatkan tunggal maupun dalam kelompok tiang seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. pengaplikasian angkur tiang

5. Angkur Tanah Tipe Lipat

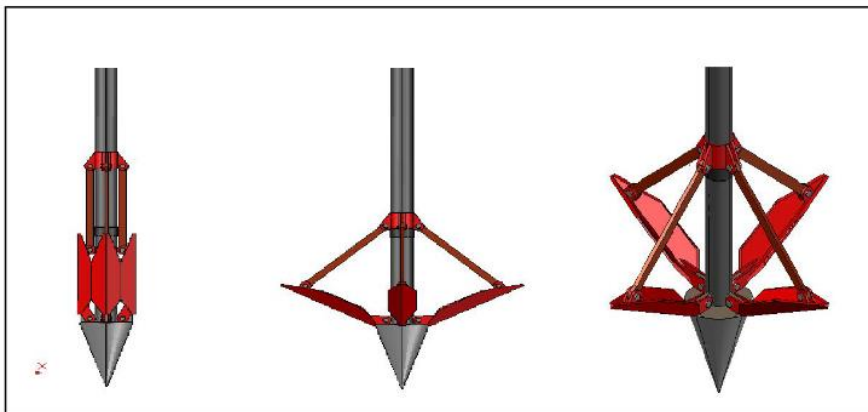
Angkur tanah tipe lipat (*folding type*) merupakan modifikasi dari angkur pelat masif tipe bintang (*stars anchor plate*). Angkur pelat tipe bintang mempunyai sifat kaku,

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.



Gambar 6. angkur tanah tipe lipat

1.6.4 Prinsip kerja angkur tanah

Prinsip kerja angkur tanah melibatkan penyaluran beban tarik atau tekan dari struktur yang didukung ke lapisan tanah yang lebih dalam dan stabil. Pemasangan angkur tanah dimulai dengan memasukkan angkur ke dalam tanah menggunakan metode seperti pengeboran, pemutar, atau penumbukan. Setelah angkur mencapai kedalaman yang diinginkan, ia membentuk ikatan dengan tanah sekitarnya. Bergantung pada jenis angkur, seperti angkur heliks yang menggunakan pelat spiral untuk menciptakan daya dukung atau angkur grout yang menggunakan

campuran grout untuk mengisi ruang di sekitar batang angkur, ikatan ini memberikan resistensi yang diperlukan untuk menahan beban. (Vesić, 1971) mengasumsikan bahwa kapasitas tarik merupakan kombinasi antara berat efektif dari jangkar, berat efektif tanah, dan komponen geser tanah disepanjang bidang longsor.

1. Kapasitas Tarik Angkur Pelat Persegi, Lingkaran, Strip, dan Heliks. Berdasarkan hasil eksperimen angkur pelat pada timbunan tanah lempung (Meyerhof, 1973), mengusulkan persamaan kapasitas tarik maksimum sebagai berikut :

$$Q_u = A (\gamma H + c F_c) \dots \dots \dots (1)$$

Untuk angkur bentuk lingkaran atau persegi

$$F_c = 1.2 \times (H/B) \leq 9 \dots \dots \dots (2)$$

Untuk angkur dengan bentuk memanjang

$$F_c = 1.0 \times (H/B) \leq 8 \dots \dots \dots (3)$$

Dimana A = Luas pelat, H = kedalaman, c = kohesi tanah, dan F_c = faktor breakout.

Dalam uji laboratorium pada angkur berbentuk lingkaran, sejumlah uji model angkur dilakukan pada tanah lempung jenuh dengan kohesi tak terdrainase (C_u) dari 5.18 kN/m² sampai 172.5 kN/m² (Das, 1975)

Untuk beberapa studi terdahulu (Das, 1990) merangkum dan mengusulkan persamaan untuk mengestimasi kapasitas uplift dari angkur yang ditanam pada tanah lunak, dimana persamaan kapasitas tarik maksimum angkur untuk jangka pendek adalah sebagai berikut :

$$Q_u = Q_o + W_a + F_s \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas tarik maksimum

Q_o = Kapasitas cabut bersih

W_a = Berat efektif dari pelat jangkar

F_s = mud suction force yang merupakan fungsi dari c_u dan k

Penentuan kapasitas cabut bersih diberikan oleh (Vesić, 1971) dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_o = A (\gamma H + F_c c_u) \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

A = Luas dari pelat jangkat

γ = Berat volume jenuh tanah

F_c = Break out factor

c_u = Kohesi tak teralirkan

Kemudian merujuk kepada (Das, 1990), F_c yang merupakan fungsi dari kohesi tanah yang tidak teralirkan (C_u) dan rasio kedalaman penanaman angkur.

$$F_c = S (H/B) \leq F_c = 9 \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

H = Kedalaman penempatan angkur

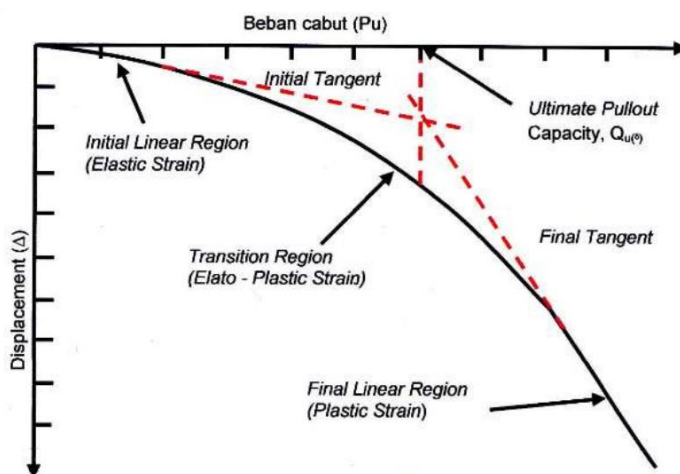
B = Lebar pelat persegi atau diameter pelat lingkaran

Dimana nilai S berkisar antara 2 – 5.9 tergantung pada nilai kohesi tanah (c_u)

Dari hasil penelitian diperoleh rasio kritis penanaman angkur (H/B) cr adalah fungsi dari kohesi tanah (c_u). Berikut ini Persamaan untuk angkur berbentuk persegi dan lingkaran:

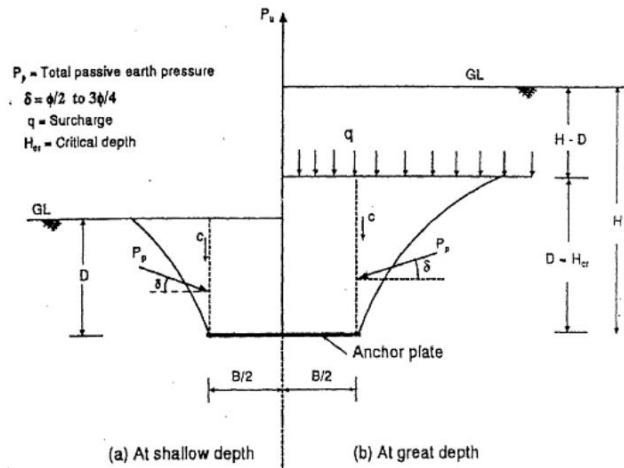
$$(H/B)_{cr-s} = (0,107c_u + 2,5) \leq 7 \dots \dots \dots (7)$$

Beberapa metode yang dikembangkan dalam menentukan kapasitas cabut maksimum dari angkur salah satunya dengan metode grafis. (Bhardwaj & S. K. Singh, 2014), menggunakan metode garis singgung dalam menentukan kapasitas batas tarik maksimum (P_u) angkur secara grafis seperti pada Gambar 8. Kurva yang digambarkan dalam grafik merupakan hubungan antara beban tarik dan keruntuhan (displacement) pada angkur hingga mencapai daerah linear yang merupakan kapasitas tarik maksimum dimana tanah telah mengalami keruntuhan.



Gambar 7. Menentukan kapasitas tarik (P_u) angkur secara grafis (Sumber Bhardwaj & S. K. Singh 2014) Meyerhof GG & Adams JI, 1968

(Meyerhof GG & Adams JI, 1968) melakukan percobaan dan mengusulkan pendekatan semi teoritik hubungan angker strip, lingkaran dan persegi pada tanah kohesif dan berbutir yang diilustrasikan pada Gambar 9. Untuk jangkar lingkaran dan persegi mereka mengusulkan persamaan sebagai berikut:



Gambar 8. asumsi keruntuhan permukaan (Meyerhof GG & Adams JI, 1968)

$$P_u = W_f + W_s + \pi B \cdot c \cdot D + s_u (\pi/2) B \gamma D^2 k_u \tan \phi \dots \dots \dots (8)$$

Dimana :

C = Kohesi tanah atau adhesi

s_u = Faktor bentuk

k_u = Nominal koefisien cabut dari tekanan tanah pada bidang vertikal

W_s = Berat massa tanah yang terangkat

W_f = Berat dari jangkar

Kapasitas pengangkatan atau tegangan tarik angkur heliks diperoleh dengan memperhitungkan sifat-sifat tanah yang terganggu, sedangkan pada kapasitas penanaman, hanya sifat-sifat tanah yang tidak terganggu yang dipertimbangkan. (Mooney et al., 1985) memberikan Persamaan (9) untuk menentukan kapasitas uplift pada tanah kohesif.

$$Q_u = S_f (\pi D L_c) c_u + A_H (c_u N_u + \gamma' H) + \pi d H_{eff} \alpha c_u \dots \dots \dots (9)$$

Q_u = Pengangkatan ultimit atau kapasitas tegangan (kN)

S_f = Faktor rasio jarak

D = Diamter Heliks

L_c = Jarak antara pelat heliks

c_u = Kohesi takteralirkan

A_H = Area pelat heliks (m²)

H = Kedalaman penempatan heliks

H_{eff} = Panjang tiang yang tertanam di atas pelat heliks ($H_{eff} = H D$) dalam (m)

α = Faktor adhesi tanah

γ' = berat satuan tanah (kN/m³)

N_u = Faktor daya dukung pengangkatan

N_u dapat ditentukan dengan Persamaan (10) yang disarankan oleh (Tappenden & Sego, 2007) dan (Meyerhof, 1976)

$$N_u = 1.2 \frac{H1}{D} \leq 9 \dots\dots\dots(10)$$

dimana H1 adalah kedalaman heliks pada bagian paling atas (m) yang ditunjukkan pada Gambar Ketika gesekan poros dianggap dapat diabaikan, maka persamaannya direduksi menjadi

$$Q_u = S_f(\pi DL_c)c_u + A_H(c_u N_u + \gamma' H) \dots\dots\dots(11)$$

2. Kapasitas Tarik Pada Multi Pelat Angkur. Banyak penelitian sebelumnya telah menggunakan pendekatan numerik untuk mengevaluasi kapasitas multi-pelat angkur. Sebagai contoh, (Merifield & Smith, 2010) menginvestigasi kapasitas angkat maksimum untuk angkur multi-pelat pada tanah lempung tak terdrainase, sementara penelitian mereka juga mencakup angkur heliks pada kondisi serupa. Mereka menerapkan teknik pemodelan numerik untuk mendalami perilaku sistem angkur ini dan menyarankan pendekatan praktis untuk memperkirakan kapasitas tariknya. Di sisi lain, (Misir, 2018) secara spesifik meneliti kapasitas angkat untuk angkur dua pelat yang ditempatkan secara vertikal, menggunakan analisis numerik untuk menyusun metode desain yang praktis.

- Metode Pelat Individu (Individual Pelate Method)

Metode pelat individu mengasumsikan bahwa kegagalan bantalan terjadi secara bersamaan di atas setiap pelat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10a. Sebagai hasilnya, kapasitas pengangkatan jangkar sama dengan jumlah resistensi dalam pengangkatan setiap pelat. Untuk pemasangan jangkar yang dalam (yaitu, > 6 diameter di bawah permukaan tanah), kegagalannya mirip dengan tahanan ujung fondasi dalam. (Lutenegger, 2009) mengusulkan persamaan untuk menentukan kapasitas pelat angkur multi-helix dalam lempung seragam dengan kekuatan tak terdrainase yang konstan.

$$Q_u = nQ_e + W_s + W_a \dots\dots\dots(12)$$

$$Q_e = A_e 9 S_u \dots\dots\dots(13)$$

dimana

Q_u = Kapasitas Pengangkatan Ultimate

Q_e = Daya Angkat Ultimate dari pelat Individu

A_e = luas masing-masing heliks

S_u = kekuatan geser tak terdrainase

n = jumlah heliks

W_s = berat tanah di antara heliks

W_a = berat jangkar

- Metode Geser Silinder (Cylindrical Shear Method)

Dalam Metode Geser Silinder, analisis diasumsikan bahwa tanah di antara pelat bertindak sebagai benda semi-kaku dan sebuah zona kegagalan silinder terbentuk di sepanjang bagian keliling selimut silinder antara pelat seperti pada Gambar 10b. Ketika mengalami gaya angkat (uplift) terdapat juga tahanan dari masing - masing pelat, sehingga pada dasarnya metode ini sebenarnya merupakan kombinasi dari geser silinder dan tahanan pelat. (Lutenegger, 2009)

mengusulkan persamaan untuk kapasitas ultimit pengangkatan (uplift) sebagai berikut

$$Q_u = Q_s + Q_e + W_s + W_a \dots\dots\dots(14)$$

dimana

Q_s = Geser keliling silinder prisma tanah di antara heliks

Q_e = Resistensi pelat atas

W_s = Berat tanah di antara heliks

W_a = Berat baja

Kontribusi zona geser silinder di antara pelat diperoleh dari:

$$Q_s = (\pi DL) S_{u \text{ ave}} \dots\dots\dots(15)$$

dimana

D = Diameter pelat

L = Panjang dari heliks bawah ke heliks atas

$S_{u \text{ ave}}$ = Kekuatan geser tidak terdrainase rata-rata tanah di antara pelat

Seperti pada persamaan sebelumnya, untuk resistensi pelat atas adalah:

$$Q_e = 9S_{u \text{ ave}} \dots\dots\dots(16)$$

Kedua analisis ini didasarkan pada penentuan yang akurat dari kuat geser tak terdrainase yang dimobilisasi untuk menghitung kapasitas pengangkatan ultimit.

Untuk angkur pelat tunggal dan multipelat. Untuk studi saat ini, analisis dilakukan dengan asumsi tidak ada gangguan pada media tanah.

1.6.5 Studi penelitian terdahulu yang relevan

Table 1. Studi penelitian terdahulu yang relevan

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Muhammad Idhil Maming, A.Rachman Djameluddin, Tri Harianto, Achmad Bakri Muhiddin (Maming et al., 2020)	Uji Model Kapasitas Tarik Angkur Tanah Type Lipat (Folding Type) Pada Tanah Kohesif	Perubahan peningkatan luasan setiap model angkur ke masing-masing kedalaman, mengalami kenaikan beban tarik yang signifikan. Hal ini juga menunjukkan bahwa angkur ini sangat mudah dalam pemasangan dengan menggunakan peralatan yang sederhana di lapangan tanpa menggali atau mengebor tanah
2	Yongki Bandaso (BANDASO, 2020)	Studi Kapasitas Tarir Angkur Lipat Terhadap Kedalaman Tanah	Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan kapasitas tarik angkur yang terjadi sangat berbeda-beda sesuai variasi kedalaman dan dari data menunjukkan bahwa kedalaman 900 mm memiliki nilai kapasitas tarik yang paling besar.
3	Aditya Putra Pratama, Hary Christady Hardyatmo, Fikri Faris (Aditya. A. P. et al., 2020)	Parametric Study of the Effect of Ground Anchor on Deep Excavation Stability	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.

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
4	Albert Aldo dan Alfred Jonathan Susilo (Aldo & Susilo, 2018)	Stabilitas Dinding Penahan Tanah Dengan Ground Anchor Dan Metode Pelaksanaannya Pada Kondisi In-Situ Dan Jenuh	Pada analisis ini metode yang digunakan yaitu metode analisis stabilitas pada dinding penahan tanah dengan pengecekan terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah. Setelah itu dilakukan interpretasi hasil analisis pada kedua kondisi tanah dan berbagai metode pelaksanaan konstruksi pemasangan ground anchor untuk mengetahui faktor keamanan dari defleksi yang terjadi. Analisis ini mengkaji pada kondisi tanah apa serta pengaruh metode pelaksanaan konstruksi dari ground anchor yang akan mengalami keruntuhan paling besar.
5	A. R., Djamaluddin (A. R. Djamaluddin, 2013)	Kapasitas Cabut Jangkar Pelat Bentuk Bintang pada Tanah Kohesif Terkomp-aksi	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 ekuivalen 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.

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
6	Braja M. Das (Das, 2012)	Geotechnical Engineering Handbook Illustrated Edition	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.
7	Singh, B. Ramaswamy, A. (Sing.S.P. & Ramaswamy, 2008)	Effect of Shape on Holding Capacity of Plate Anchors Buried in Soft Soil	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.
8	R. S. Merifield , S. W. Sloan , and H. S.	Stability of plate anchors in undrained clay	Memprestasikan hasil dalam bentuk factor breakout umum berdasarkan berbagai bentuk jangkar dan kedalaman penanaman

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
	Yu (Merifield et al., 2001)		jangkar serta membandingkannya dengan solusi numerik dan empiris yang ada.
9	B. M. Das, E. C. Shin, R. N. Dass, M. T. Omar (Das et al., 1994)	Suction force below plate anchors in soft clay	mengemukakan sejumlah hasil uji model laborototium terhadap jangkar lingkaran yang tertanam dalam tanah lempung jenuh dengan kohesi takteralirkan bervariasi dari 5,18 kN/m ² hingga 172,5 kN/m ²
10	R. K. Rowe, and E. H. Davis (Rowe & Davis, 1982)	The behaviour of anchor plates in clay	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 dilatasi 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.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian skala penuh yaitu di lapangan di Pantai lakotong, Kabupaten Takalar. Waktu penelitian pada bulan Januari sampai April 2024.



Gambar 9. Lokasi penelitian, Pantai lakotong, Kabupaten Takalar

2.2 Rancangan Penelitian

Ada beberapa cara untuk mengevaluasi kekuatan tarik angkur tanah (ground anchor), diantaranya pendekatan teoretis, uji numerik, uji model, dan uji lapangan skala penuh. Dalam penelitian ini akan dilakukan uji lapangan skala penuh, untuk mengetahui kapasitas tarik angkur lipat ganda dan korelasi parameter CPT (Cone Penetration Test). Beberapa tahapan yang akan dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini sehingga dapat berjalan secara sistematis dan sesuai kaidah metode ilmiah.

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, diawali dengan persiapan dengan kajian dan studi literatur terdahulu, proses desain model angkur lipat, pengujian sampel tanah, dan analisis data untuk memperoleh parameter-parameter yang dibutuhkan. Tahapan penelitian ini diantaranya adalah :

1. Studi Literatur, yaitu mengidentifikasi, memahami, dan mensintesis pengetahuan yang telah ada tentang topik yang akan diteliti. Pengkajian masalah tanah lunak dan pengalokasian angkur tanah dalam menahan gaya

cabut/Tarik (uplift) serta korelasi terhadap parameter CPT (Cone Penetration Test).

2. Desain dan pembuatan model angkur, akan dibantu oleh software komputer untuk pemodelan grafis, hasil dari desain kemudian dibawa ke bengkel untuk dilakukan proses pembuatan komponen-komponen dari angkur.
3. Pengujian CPT (Cone Penetration Test) sebagai informasi awal tentang lapisan tanah (Stratigrafi).
4. Pengujian kuat tarik angkur lipat, dilakukan dengan alat CPT-Hidrolik yang telah dimodifikasi dan pengambilan data berupa kapasitas tarik angkur dan besarnya keruntuhan (displacement) yang terjadi.
5. Analisis data, berupa hasil uji CPT (Cone Penetration Test) dan kapasitas tarik angkur beserta deformasi yang terjadi.
6. Penyajian data dan hasil analisis dari kinerja angkur tanah lipat ganda pada tanah pasir (non-kohefif) serta korelasi terhadap parameter CPT (Cone Penetration Test).

Penyusunan rancangan penelitian ini dalam bentuk tahapan-tahapan penelitian disusun berdasarkan kaidah penelitian untuk memberikan kesesuaian dan keteraturan dalam jalannya penelitian sehingga memberikan keakuratan data dan pelaksanaan metode yang terarah. Beberapa penelitian sebelumnya juga dijadikan sebagai acuan dan referensi dalam melakukan rancangan tahapan-tahapan penelitian maupun metode-metode yang dijalankan oleh para peneliti sebelumnya.

2.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. 1 set alat CPT-Hidrolik
2. Stang penghubung (rod)
3. Manometer
4. Bikonus (pengukur tahanan konus dan gesekan selimut)
5. Mistar



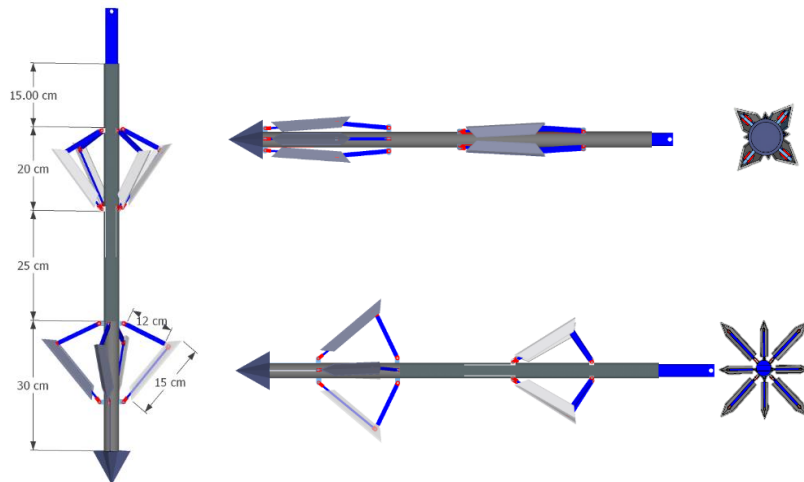
Gambar 10. Alat uji CPT (*Cone Penetration Test*)

2.4 Persiapan Alat Uji Kapasitas Tarik

Dalam pengujian kapasitas tarik dilakukan dengan alat yang sama yaitu CPT-Hidrolik yang telah dimodifikasi dengan menambah manometer pada valve untuk pembacaan kapasitas tarik dan untuk pembacaan deformasi dengan meteran/ mistar.

2.5 Model Angkur Lipat Ganda

Model dari angkur lipat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah angkur lipat tunggal dan ganda yaitu dengan dua lapisan daun pada ujung (end) angkur dan 10 cm diatas lapisan bawah. Ini merupakan pengembangan dari model angkur sebelumnya dengan satu lapisan daun angkur pada ujungnya (end), dan model bintang yang dikembangkan masi dalam berupa plat, diilustrasikan seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. angkur lipat ganda

2.6 Spesifikasi Angkur Lipat Ganda

Angkur ini dibuat dari material baja yang berbeda untuk setiap elemennya. Proses pembuatan dan perakitan elemen angkur melibatkan pemotongan dan pengelasan berbagai material yang menyusunnya. Spesifikasi material penyusun angkur tersebut meliputi:

- Sayap angkur (elemen) terbuat dari besi siku dengan baja keras Mutu BJ.37 dengan ketebalan 3 mm.
- Daun/elemen dirancang fleksibel (tidak kaku) yang dapat terbuka dan tertutup pada saat pemasangan dilapangan.
- Batang pipa (*rod*) terbuat dari baja keras Diameter 2.54 cm.
- Konus penusuk dibuat runcing dengan empat belahan, terbuat dari baja keras.

2.7 Metode Pengujian dan Analisis Data

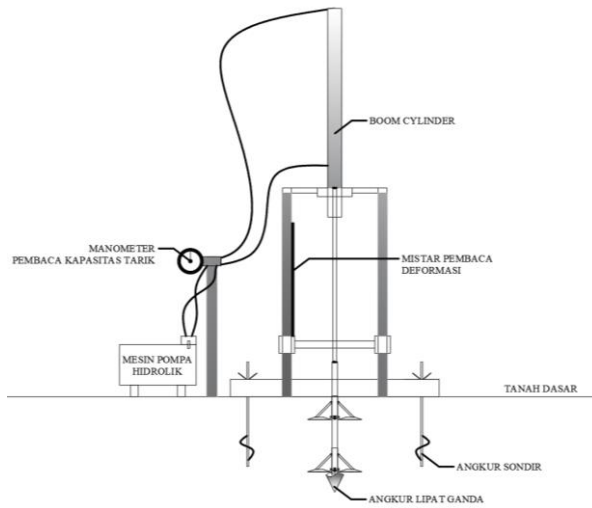
2.7.1 Metode Pengujian CPT

Pengujian CPT (*Cone Penetration Test*) Dilakukan dengan alat CPT-Hydraulic mengacu pada SNI 2827: 2008 “Cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir” dan ASTM D 3441-98 “*Standart Test Method For Mechanical Cone Penetration Test of Soil*”

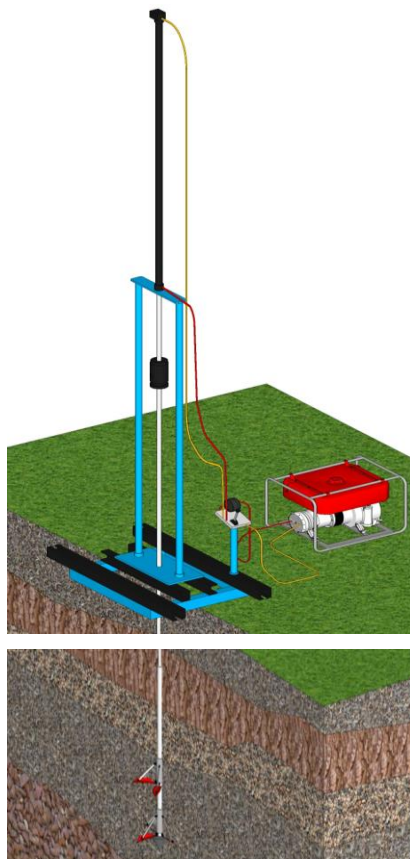
2.7.2 Metode Pengujian Kapasitas Tarik

Gambaran lapisan tanah atau stratigrafi tanah yang diperoleh dari hasil uji CPT dijadikan acuan dalam penentuan kedalaman dalam uji kapasitas tarik. Metode pengujian pengujian kapasitas tarik dan penginstalan angker diilustrasikan pada Gambar 12 dan Gambar 13. Pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Penyetingan alat cpt-hidrolik.
- Penempatan sampel (angkur lipat) pada titik uji, dengan sebelumnya melakukan penggalian ± 50 cm untuk media penyaluran angkur dan memastikan dalam posisi tertutup.
- Memasukkan angkur ke dalam tanah dengan cara menekan as stang road sampai pada kedalaman tertentu untuk kemudian dilakukan penyambungan stang rod. Proses ini dilakukan sampai pada kedalaman yang dikehendaki.
- Melakukan penarikan rod dalam untuk mengembangkan sayap angkur dimana pipa pengantar di tahan agar sayap angkur terbuka sempurna.
- Setelah memastikan sayap angkur terbuka sempurna selanjutnya adalah melakukan uji tarik angkur.
- Pembacaan tegangan tarik dilakukan tiap 1 cm sampai tegangan konstan dan dilanjutkan pembacaan tiap 10 cm sampai angkur tertarik keluar (pull out).



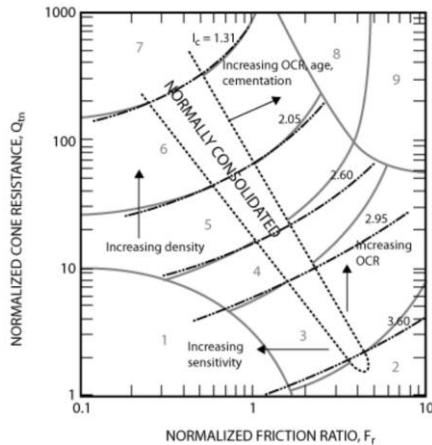
Gambar 12. Ilustrasi pengujian kapasitas tarik



Gambar 13. Ilustrasi penginstalan angkur lipat

2.8 Analisis data CPT (Cone Penetration Test) dan Kapasitas Tarik

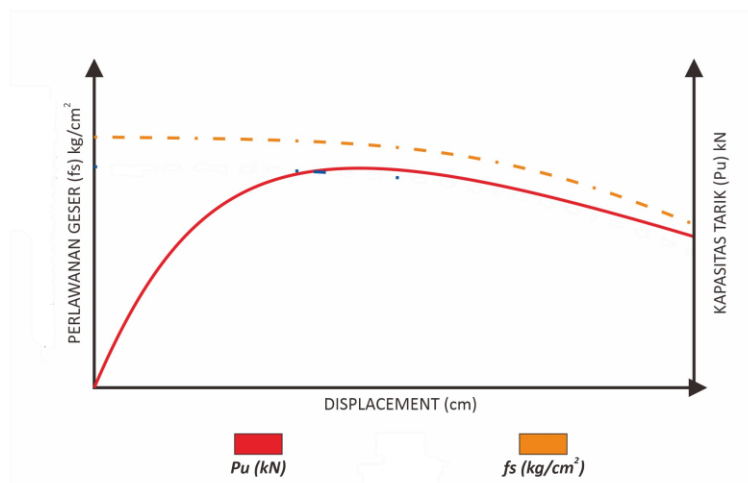
Analisis yang dilakukan untuk elaborasi data hasil uji CPT adalah dengan mencari nilai geseran total (f_s) untuk memberikan gambaran kekuatan tanah (soil resistance) dan Rasio friksi (f_r) untuk mengetahui jenis tipe perilaku tanah seperti pada Gambar 14.



Zone	Soil Behavior Type	I_c
1	Sensitive, fine grained	N/A
2	Organic soils – clay	> 3.6
3	Clays – silty clay to clay	2.95 – 3.6
4	Silt mixtures – clayey silt to silty clay	2.60 – 2.95
5	Sand mixtures – silty sand to sandy silt	2.05 – 2.6
6	Sands – clean sand to silty sand	1.31 – 2.05
7	Gravelly sand to dense sand	< 1.31
8	Very stiff sand to clayey sand*	N/A
9	Very stiff, fine grained*	N/A

Gambar 14. Grafik & tabel tipe perilaku tanah (SBTn) CPT yang dinormalisasi (Robertson, 1990, diperbarui oleh Robertson, 2010)

Analisis kapasitas tarik dilakukan dengan terlebih dahulu mengkonversi hasil pembacaan manometer berupa tegangan (kg/cm^2) ke dalam satuan gaya (kN), nilai tegangan dikalikan dengan luas area penampang angker dan piston CPT yang digunakan



Gambar 15. Ilustrasi perbandingan kapasitas tarik (P_u) dan perlawanan geser(f_s)

$$P_u = \sigma \times A_p \dots\dots\dots(17)$$

dimana :

P_u = gaya ultimate (kg)

σ = tegangan pada pembacaan manometer/dial gauge (kg/cm^2)

A_p = luas penampang piston CPT yang digunakan

Hasil analisis kapasitas tarik dituangkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 15 yang memberikan gambaran hubungan antara gaya tarik dan deformasi yang kemudian disandingkan dengan nilai perlawanan geser (f_s) sehingga diperoleh rentang (*range*) nilai kapasitas tarik pada lapisan tanah berdasarkan perlawanan geser (f_s) tertentu