

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan tanah lunak di Indonesia masih menjadi perhatian bagi banyak kalangan, baik dari akademisi maupun praktisi yang terkait dengan pengembangan infrastruktur dan perencanaan tata ruang. Diperkirakan sekitar 20 juta hektar atau sekitar 10% dari total luas daratan Indonesia adalah tanah lunak. Sebaran tanah lunak di Indonesia umumnya ditemukan di dataran rendah, pantai, muara sungai, dan rawa. Daya dukung tanah yang terbatas, rendahnya kuat geser, dan kompresibilitas yang tinggi menyebabkan penurunan tanah yang berdampak pada kegagalan bangunan atau infrastruktur lainnya.

Tanah lunak memiliki karakteristik kompresibilitas tinggi dan kekuatan geser rendah, dengan kekuatan geser kurang dari 25 kPa. Oleh karena itu, timbunan yang diletakkan di atas tanah lunak berpotensi mengalami kegagalan geser dan penurunan yang berlebihan. Saat beban diberikan, tanah lunak akan mengalami penurunan seketika yang kemudian diikuti oleh proses konsolidasi. Durasi proses konsolidasi bervariasi dari minggu hingga tahun, tergantung pada ketebalan lapisan tanah lunak dan kemampuan tanah tersebut dalam mengurangi tekanan air pori selama pembebanan. Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi proses penurunan konsolidasi meliputi muka air tanah, permeabilitas tanah, dan beban yang diterima tanah. Kekuatan geser tanah akan meningkat seiring dengan berlangsungnya proses konsolidasi.

Dengan perkembangan alat dan teknologi, berbagai metode perbaikan tanah (soil improvement) dan perkuatan tanah (soil reinforcement) telah banyak diterapkan untuk mengatasi masalah tanah lunak. Salah satu metode yang banyak dikembangkan adalah angkur tanah (Ground Anchor) untuk meningkatkan stabilitas dan daya dukung tanah lunak. Pengaruh gaya seperti gaya lateral yang dapat menyebabkan struktur terguling, serta gaya apung (uplift) atau gaya tarik akibat beban, perlu diantisipasi dengan perkuatan menggunakan angkur tanah (Ground Anchor).

Berbagai struktur, seperti perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah (turap), pondasi menara transmisi, dan berbagai struktur di area pantai (shore) dan lepas pantai (offshore), telah banyak dikembangkan menggunakan pondasi angkur tanah. Berbagai tipe angkur tanah telah dikembangkan sesuai dengan beban yang akan ditahan, fungsi struktur, dan kondisi lapisan tanah di bawah struktur. Studi terbaru banyak dilakukan mengenai tipe angkur tanah, baik tipe angkur pelat persegi/lingkaran, tipe angkur plat bintang, dan tipe angkur lipat, dengan variasi kedalaman, dimensi penampang, dan beban yang berbeda-beda.

Dalam penerapannya di lapangan, kemudahan dalam menentukan kedalaman penanaman angkur dan kapasitas tarik secara praktis sangat diperlukan. Uji CPT (Cone Penetration Test) merupakan salah satu metode penyelidikan tanah yang umum digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik karena kemudahan

metode pengujian serta efisiensinya dari segi mobilisasi dan durasi pengujian. Oleh karena itu, dari sisi kepraktisan, penting untuk mengembangkan hubungan antara parameter CPT dan prediksi kapasitas tarik angkur pada desain awal (preliminary design) dalam aplikasi angkur untuk konstruksi dengan beban pengangkatan (uplift) yang tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana mengaplikasikan angkur tanah tipe lipat ganda di lapangan?
2. Berapa besar kapasitas tarik vertikal maksimum angkur tanah tipe lipat ganda?
3. Bagaimana pengaruh perlawanan geser terhadap kuat tarik angkur tipe lipat ganda?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

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

1. Mengetahui cara mengaplikasikan angkur tanah tipe lipat ganda di lapangan.
2. Mengetahui nilai kapasitas tarik vertikal maksimum angkur tanah tipe lipat ganda.
3. Mengetahui pengaruh perlawanan geser terhadap kuat tarik maksimum angkur tipe lipat ganda.

1.4 Manfaat Penelitian

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

1. Dapat mengetahui tata cara mengaplikasikan angkur tanah tipe lipat ganda di lapangan.
2. Dapat mengidentifikasi nilai kapasitas tarik vertikal maksimum dari angkur lipat ganda.
3. Dapat mengidentifikasi pengaruh perlawanan geser terhadap kuat tarik maksimum angkur tipe lipat ganda.

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 kohesif
2. Pengujian CPT berdasarkan standar SNI 2827: 2008 dan ASTM D 3441-98.
3. Uji kapasitas tarik dilakukan dengan alat CPT hidrolik yang telah di modifikasi.

1.6 Teori

1.6.1 Uji sondir

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

Uji sondir ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tanah tiap kedalaman dan stratifikasi tanah secara pendekatan. Uji sondir dapat mengidentifikasi jenis tanah dari kombinasi hasil pembacaan tahanan ujung (q_c) dan gesekan selimutnya (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 pada umumnya dilakukan pada tanah kohesif. (Braja M. Das, 2010)

Harga perlawanan konus hasil uji penetrasi sondir pada lapisan tanah / 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.

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 diatasnya.

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

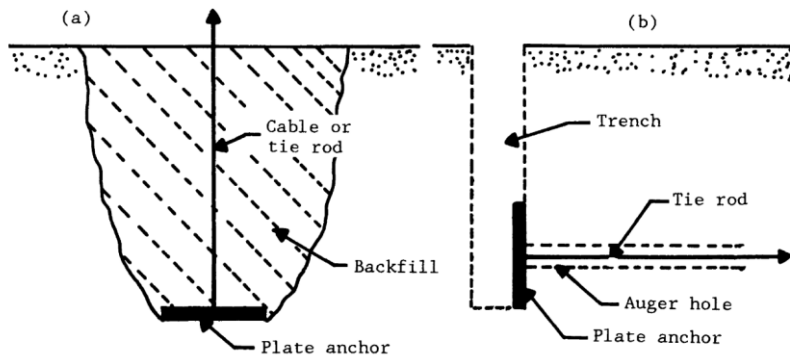
Angkur tanah atau soil anchors merupakan alat yang digunakan untuk memperkuat tanah agar dapat menahan beban yang diberikan, seperti pada bangunan atau struktur yang dibangun di atasnya. Berikut adalah beberapa tipe dan jenis angkur tanah yang umum digunakan:

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.

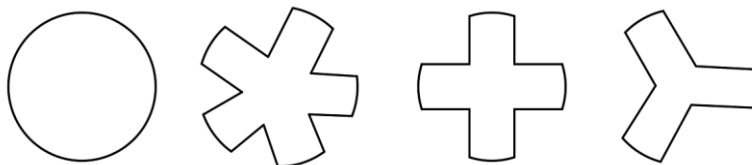
Angkur pelat bekerja dengan prinsip dasar menyalurkan beban tarik dari struktur ke tanah melalui pelat baja yang tertanam. Saat beban tarik diaplikasikan, pelat baja memberikan resistensi terhadap gaya tersebut dengan bantuan tanah di sekitarnya. Pelat tersebut biasanya dipasang dalam posisi horizontal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

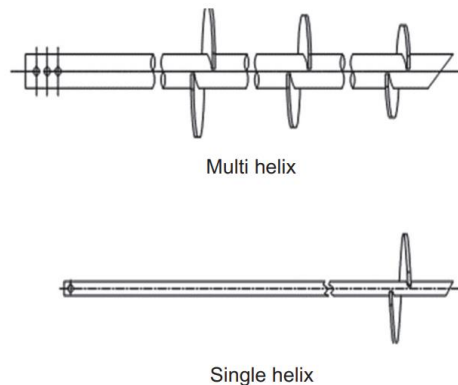


Gambar 2. angkur pelat bintang

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.

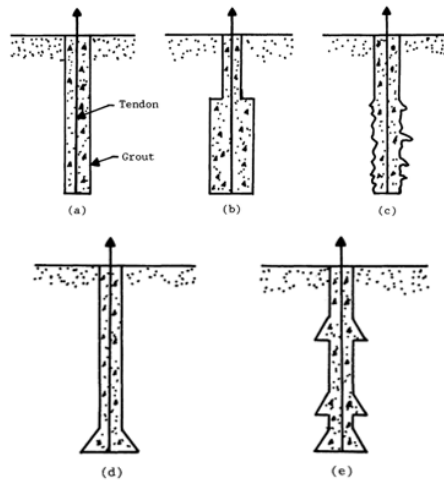


Gambar 3. ankur heliks tunggal ganda

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.



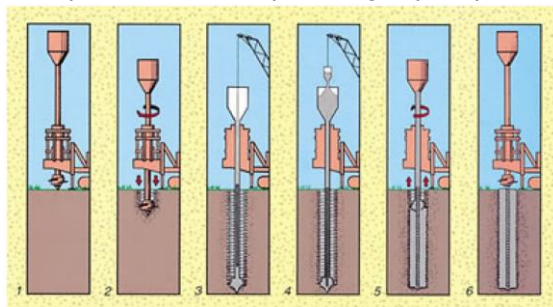
Gambar 4. Grouted anchors: (a) gravity; (b) low pressure; (c) high pressure; (d) single ell; (e) multiple bell (Das, 1990)

4. Angkur Tiang

Angkur tiang (*anchor piles*) adalah jenis ankur 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 ankur tiang

5. Angkur Tanah Tipe Lipat

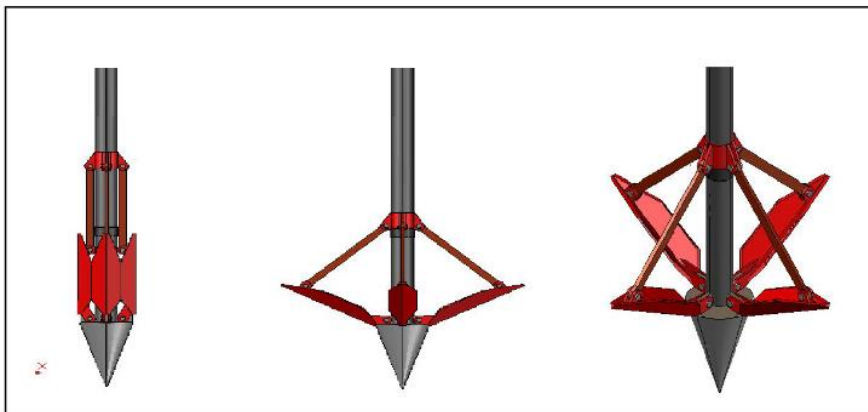
Angkur tanah tipe lipat (*folding type*) merupakan modifikasi dari ankur pelat masif tipe bintang (*stars anchor plate*). Angkur pelat tipe bintang mempunyai sifat kaku,

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, pemutaran, 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

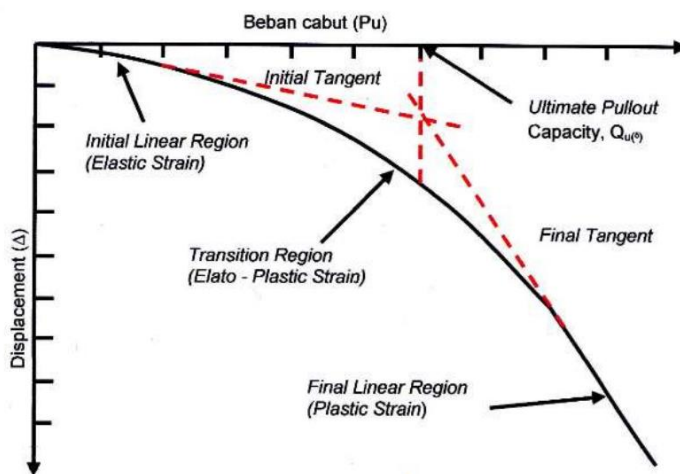
B = Lebar pelat persegi atau diameter pelat lingkaran

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:

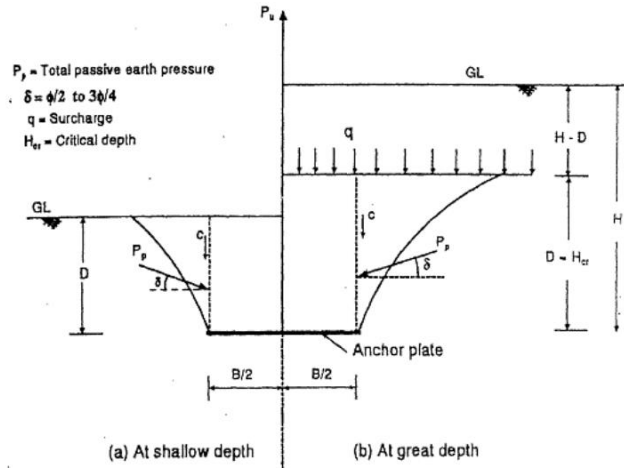
$$(H/B)_{cr-s} = (0,107c_u + 2,5) \leq 7 \dots\dots\dots(7)$$

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 Perlawanan geser terhadap kuat tarik angkur

Perlawanan geser pada angkur tanah adalah salah satu mekanisme penting dalam rekayasa geoteknik yang digunakan untuk menstabilkan struktur tanah, seperti dinding penahan tanah, lereng, dan fondasi bangunan. Angkur tanah adalah elemen struktural yang dimasukkan ke dalam tanah untuk menahan beban tarik dan memberikan stabilitas tambahan. Perlawanan geser terjadi ketika gaya tarik pada angkur menyebabkan interaksi antara permukaan angkur dan tanah di sekitarnya. Interaksi ini menghasilkan gaya gesek yang bekerja melawan gaya tarik tersebut, sehingga menahan pergerakan angkur.

Faktor utama yang mempengaruhi perlawanan geser pada angkur tanah meliputi sifat material angkur, jenis dan kepadatan tanah, serta panjang dan diameter angkur. Material angkur, seperti baja atau serat polimer, memiliki sifat mekanis yang berbeda-beda yang mempengaruhi kapasitas geser. Jenis tanah, apakah itu tanah pasir, lempung, atau batuan, juga memainkan peran penting, karena masing-masing memiliki karakteristik kohesi dan sudut gesek yang berbeda. Selain itu, panjang dan diameter angkur menentukan luas permukaan kontak antara angkur dan tanah, yang secara langsung mempengaruhi jumlah perlawanan geser yang dapat dihasilkan.

Dalam desain dan analisis angkur tanah, perhitungan perlawanan geser menjadi kritis untuk memastikan keamanan dan keandalan struktur. Teknik uji lapangan, seperti uji tarik angkur, digunakan untuk mengukur kapasitas perlawanan geser secara langsung. Data dari uji ini kemudian digunakan untuk memvalidasi model analitis dan numerik yang digunakan dalam desain. Pemahaman yang

mendalam tentang perlawanan geser pada angkur tanah memungkinkan insinyur geoteknik untuk merancang solusi penstabilan yang efektif dan efisien, serta meminimalkan risiko kegagalan struktur.

Hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus dalam per satuan luas. Dalam pengujian sondir ini dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Perlawanan geser konus (q_c)

2. Perlawanan konus dan geser ($q_c + q_f$)

3. Nilai perlawanan geser (q_f) yang dihitung dengan rumus:

$$q_f = (q_c + q_f) - q_c \dots \dots \dots (17)$$

4. Nilai perlawanan geser lokal (f_s) yang dihitung dengan rumus:

$$f_s = q_f \times \dots \dots \dots (18)$$

Dimana: A_c = luas penampang konus (cm^2)

A_s = luas selimut geser (cm^2)

5. Diameter konus (D_c) dan diameter selimut geser (D_s)

6. Panjang selimut (L_s)

7. Perlawanan geser (f_d) tiap pembacaan 20 cm dapat dihitung dengan rumus:

$$f_d = f_s \times 20 \text{ cm} \dots \dots \dots (19)$$

8. Jumlah Hambatan Perekat (JHP) didapatkan dari komulatif perlawanan geser tiap pembacaan 20 cm

9. Angka perbandingan geser (Friction Ratio) dapat dihitung dengan rumus:

$$R_f = (f_s / q_c) \times 100 \dots \dots \dots (20)$$

Dimana: R_f = angka banding geser (%).

1.6.7 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 Djamaluddin, 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 Tarik 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 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.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada sampel tanah lunak (kohesif) yang berasal dari beberapa kabupaten di Sulawesi Selatan, diantaranya di Kabupaten Bone, Kabupaten Maros, Kabupaten Pinrang. Waktu pelaksanaan penelitian ini direncanakan selama 6 bulan, mulai pada Juli – Desember 2023.

2.2 Rancangan Peneliti

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 lunak (kohesif) serta korelasi terhadap parameter CPT (Cone Penetration Test).

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



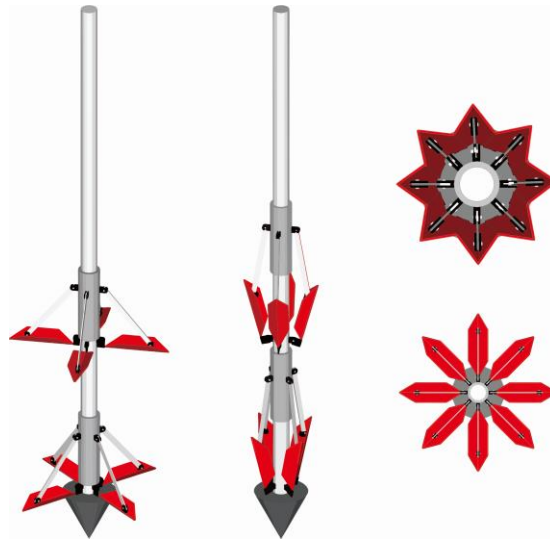
Gambar 9. Alat uji CPT (*Cone Penetration Test*)

2.4 Persiapan Alat Uji Kapsitas 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 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 12.



Gambar 10. ankur lipat ganda

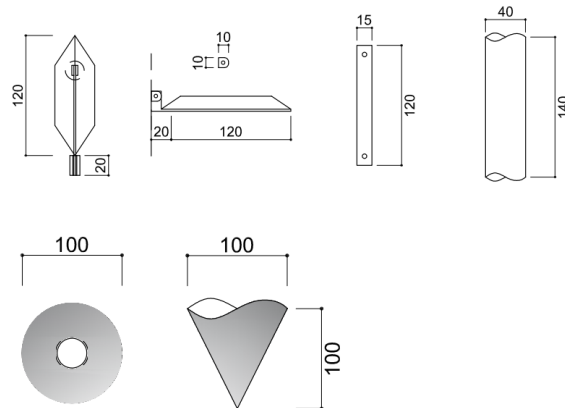
2.6 Spesifikasi Angkur Lipat Ganda

Angkur ini terbuat dari material baja yang berbeda pada masing-masing elemennya. Proses pembuatan dan perakitan elemen ankur dilakukan dengan pemotongan dan pengelasan berbagai material penyusun ankur. Adapun spesifikasi dari material penyusun ankur diantaranya :

- Batang ankur (rod) terbuat dari baja pipa stang sondir
- Daun ankur, engsel dan penopang pada daun terbuat dari baja siku dengan mutu BJ 37 ketebalan 2 mm.
- Pipa baja, sebagai poros dapat turun dan naik pada saat ternuka dan tertutup
- Konus pada ujung ankur, dibuat runcing dari plat baja dengan mutu BJ 37 tebal 2 mm, terlebih dahulu dibuat menjadi setengah lingkaran dan kemudian dimodelkan seperti kerucut.

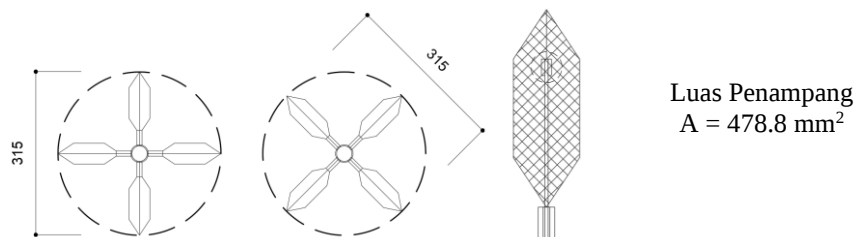
2.7 Dimensi Angkur Lipat Ganda

Keseluruhann element ankur ankur lipat ganda merupakan material baja dan dapat dibagi menjadi beberapa bagian dengan dimensi atau ukuran-ukuran tertentu yang masih dapat disesuaikan kembali jika terdapat kesulitan dalam proses pembuatan ankur fisiknya. Beberapa elemen penyusun anker seperti pada Gambar 13 dan luasan masing-masing penampang daun seperti pada Gambar 14.



Gambar 11. Rancangan dimensi angkur lipat (satuan dalam mm)

- Stang road dengan panjang 1 m
- Engsel angkur, dengan dimensi 10 x 10 mm berjumlah 32
- Penopang daun angkur dengan dimensi 120 x 15 mm berjumlah 8
- Pipa baja dengan diameter 40 mm berjumlah 2, dapat bergerak ke atas dan ke bawah
- Daun angkur dari plat baja siku 2 sisi dengan panjang 120 mm dan lebar 1 sisnya 20 mm
- Kerucut, dengan diameter 100 mm dan tinggi 100 mm



Gambar 12. Luas penampang daun angkur (satuan dalam mm)

2.8 Metode Pengujian dan Analisis Data

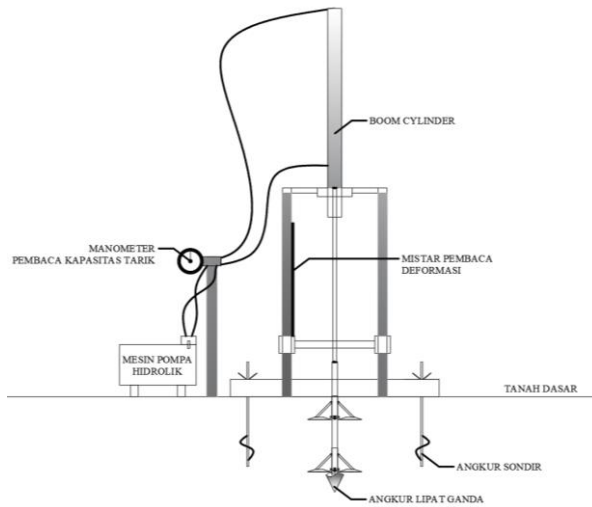
2.8.1 Metode Pengujian CPT

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*”

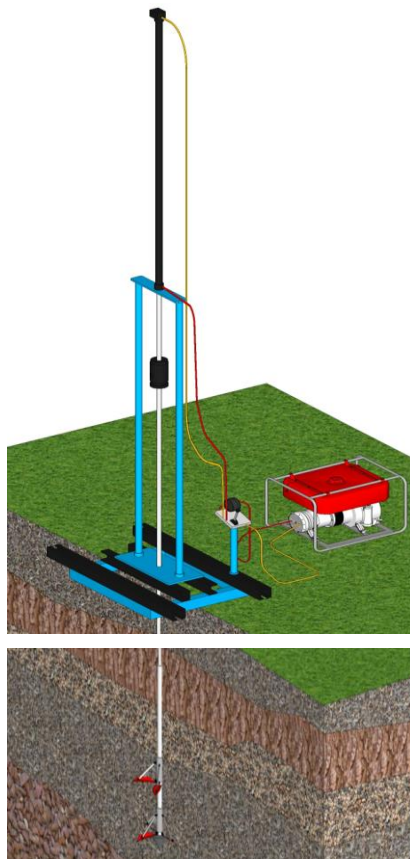
2.8.2 Metode Pengujian Kapasitas Tarik

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 15 dan Gambar 16. Pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Penyetingan alat cpt-hidrolik
- Penempatan sampel (angker lipat) pada titik uji, dengan sebelumnya melakukan penggalian ± 50 cm untuk media penyaluran angker dan memastikan dalam posisi tertutup
- Memasukkan angker ke dalam tanah dengan cara menekan as stang rod sampai pada kedalaman tertentu untuk kemudian dilakukan penyambungan stang rod. Proses ini dilakukan sampai pada kedalaman yang dikehendaki atau sampai angker telah sulit berpenetrasi kedalam tanah
- Selanjutnya melakukan uji kapasitas tarik, dengan menarik keatas stang penghubung (rod) dan melakukan pembacaan pada manometer tegangan tarik.
- Pembacaan tegangan tarik dilakukan tiap 1 cm sampai tegangan konstan dan dilanjutkan pembacaan tiap 10 cm sampai angker tertarik keluar (pull out)



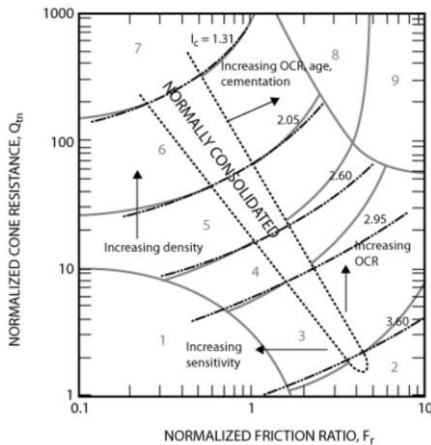
Gambar 13. Ilustrasi pengujian kapasitas tarik



Gambar 14. Ilustrasi penginstalan angkur lipat

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

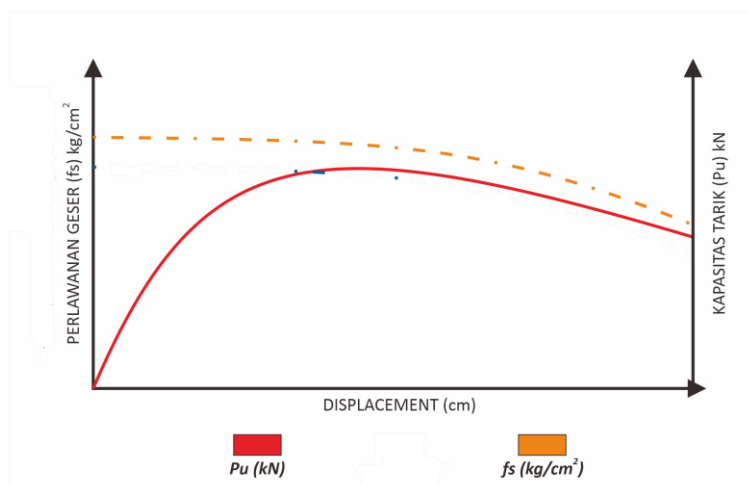
Analisis yang dilakukan untuk elaborasi data hasil uji CPT adalah dengan mencari nilai geseran total (f_s) untuk memberikan gambaran kekuatan tanah (soil resistance) dan Rasio friksi (f_r) untuk mengetahui jenis tipe perilaku tanah seperti pada Gambar 18.



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 15. 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 16. 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/cm²)

A_p = luas penampang piston CPT yang digunakan

Hasil analisis kapasitas tarik dituangkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 18 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