

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan tanah lunak di Indonesia dewasa ini masih menjadi perhatian dari berbagai kalangan baik akademisi maupun praktisi yang berhubungan dengan pengembangan infrastruktur dan perencanaan tata ruang. Diperkirakan sekitar 14.9 juta Ha atau sekitar 12.8% luas total daratan Indonesia adalah tanah lunak atau gambut (Wahyunto et al., 2014).

Sebaran tanah lunak di Indonesia pada umumnya dijumpai di sekitar dataran rendah, pantai, muara sungai dan rawa. Daya dukung tanah yang terbatas dan kompresibilitas yang besar menjadi penyebab penurunan tanah yang berdampak pada kegagalan bangunan atau infrastruktur di atasnya. Tanah lunak biasanya dicirikan sebagai tanah dengan kekuatan geser rendah, sangat mudah termampatkan dan permeabilitas yang rendah (Huat et al., 2005), sehingga menjadi tantangan besar dan perhatian dalam desain, analisis, dan pemeliharaan struktur geoteknik yang dibangun pada tanah lunak

Seiring dengan perkembangan alat dan teknologi berbagai metode perbaikan tanah (soil improvement) dan perkuatan tanah (soil reinforcement) telah banyak diterapkan dalam menjawab permasalahan tanah lunak. Beberapa metode seperti penggantian tanah atau memodifikasi tanah lunak pada area konstruksi, serta merancang pondasi yang hemat biaya (Yepes, 2020). Berbagai teknik perbaikan tanah ini juga bertujuan untuk mengurangi dampak tanah yang terkontaminasi atau tanah lunak alami terhadap konstruksi di atasnya (Ali, 2015).

Salah satu metode perkuatan tanah yang umum digunakan yaitu sistem angkur tanah (ground anchor). Penggunaan angkur tanah telah banyak digunakan sebagai pendukung pada galian dalam basement ataupun pada pertambangan, perkuatan lereng jalan raya, dan konstruksi geoteknik lainnya (Hanna, 1984). Sistem konvensional ini menyalurkan beban tarik yang diterapkan ke tendon dan nat untuk didistribusikan ke tanah atau massa batuan di sekitarnya.

Sistem angkur tanah konvensional yang digunakan saat ini umumnya memerlukan penggalian dan grouting selama proses instalasi, yang seringkali memakan waktu cukup lama (Niroumand & Kassim, 2013). Penggalian dan grouting tidak hanya menambah kompleksitas dalam pemasangan, tetapi juga berpotensi meningkatkan biaya dan memperpanjang durasi proyek konstruksi. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi yang dapat mempermudah proses pemasangan namun tetap memiliki kapasitas yang optimal dalam memberikan daya dukung.

Perkembangan sistem angkur tanah (ground anchor) kemudian banyak diterapkan pada berbagai struktur pantai, lepas pantai atau muara sungai seperti tembok penahan (seawall) dan berbagai bangunan industri lepas pantai diantaranya konstruksi eksplorasi minyak dan gas (Aubeny, 2017; Knappett et al., 2015; Randolph, 2020). Dalam perkembangan sistem angkur tanah kemudian dikombinasikan baik material maupun sistem kerjanya, salah satunya adalah kombinasi tipe angkur tiang dan plat atau yang dikenal dengan angkur heliks, yang kinerjanya didukung oleh

tumpukan plat heliks mirip seperti sistem pada angkur tanah tipe plat (Cerfontaine et al., 2021; Hao et al., 2019).

Telah banyak penelitian dilakukan untuk mengetahui kinerja angkur tanah terhadap beban yang diterapkan baik secara analitis maupun dengan pengujian langsung, namun masih terbatas metode dalam memprediksi kinerja angkur berdasarkan hasil penyelidikan tanah lapangan (Nait-Rabah et al., 2021; Saeedi Azizkandi et al., 2014). Salah satu metode penyelidikan tanah lapangan yang umum digunakan yaitu Cone Penetration Test, karena kemudahan dan kecepatan dalam pengerjaannya, efektivitas biaya, serta keandalan data. Sehingga memudahkan dalam proses desain untuk menentukan daya dukung dan kapasitas beban yang mampu di terapkan pada angkur.

Dalam perkembangannya telah banyak diajukan sistem angkur dengan bentuk maupun metode pemasangan yang lebih efektif, efisien dan inovatif. Berbagai jenis angkur dengan bentuk yang tak beraturan telah banyak diteliti (Dutta & Choudhary, 2023; Evirgen et al., 2019; Niroumand & Kassim, 2013), (Maming et al., 2022) telah mengembangkan sistem angkur lipat yang bekerja dengan optimal dan memberikan daya dukung yang baik pada tanah lunak.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem angkur tanah konvensional serta yang sudah ada sebelumnya, dengan fokus pada studi kapasitas tarik maksimum angkur lipat ganda. Selain itu, penelitian ini juga berupaya memprediksi kinerja angkur melalui metode Cone Penetration Test (CPT), guna memberikan alternatif solusi serta pengetahuan yang lebih komprehensif mengenai kinerja sistem angkur lipat ganda dalam mendukung struktur yang dibangun di atas tanah lunak. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu meningkatkan efektivitas dan efisiensi penggunaan angkur pada kondisi tanah yang kurang stabil.

1.1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pada penelitian ini diajukan rumusan permasalahan sebagai berikut :

1. Berapakah kapasitas tarik angkur lipat ganda pada tanah lunak ?
2. Bagaimana korelasi parameter Cone Penetration Test yaitu perlawanan konus (q_c) dan total perlawanan geser (T_f) terhadap kapasitas tarik angkur lipat ganda?

1.1.2 Tujuan Penelitian

Mengacu pada latar belakang dan rumusan permasalahan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi kinerja kapasitas tarik dari angkur lipat ganda pada tanah lunak.
2. Menentukan korelasi antara nilai perlawanan konus (q_c) dan total perlawanan geser (T_f) terhadap kapasitas tarik angkur lipat ganda.

1.1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini antara lain adalah memberikan informasi yang lebih mendalam tentang kapasitas tarik angkur lipat ganda pada tanah lunak, yang dapat

membantu dalam merancang sistem pondasi yang lebih efektif dan efisien. Selain itu, penelitian ini juga akan membantu dalam memahami korelasi antara nilai perlawanan konus (q_c) dan total perlawanan geser (T_f), sehingga memungkinkan pengembangan metode yang lebih akurat untuk memperkirakan kapasitas tarik angkur, yang pada akhirnya dapat digunakan untuk mengoptimalkan desain dalam menentukan kapasitas tarik angkur.

1.1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini membatasi cakupan penelitian yang lebih luas agar penelitian dapat berjalan lebih spesifik, serta dapat mencapai sasaran yang diinginkan. Penelitian ini hanya mencakup pengujian eksperimental yang dilakukan di lapangan atau dengan skala penuh, ruang lingkup penelitian ini diantaranya adalah:

1. Penelitian ini dilakukan pada lokasi dimana profil lapisan tanahnya dominan merupakan tanah kohesif
2. Pengujian CPT berdasarkan standar SNI dan ASTM
3. Uji kapasitas tarik dilakukan dengan alat CPT hidrolik yang telah dimodifikasi.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 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 pengangkuran adalah suatu sistem untuk menyalurkan gaya tarik yang bekerja ke lapisan tanah/batuan pendukung. Sistem pengangkuran ini utamanya terdiri atas fixed length, free length, dan kepala angkur (anchor head). Angkur tanah merupakan sistem penunjang yang umumnya diaplikasikan pada Embedded Wall.

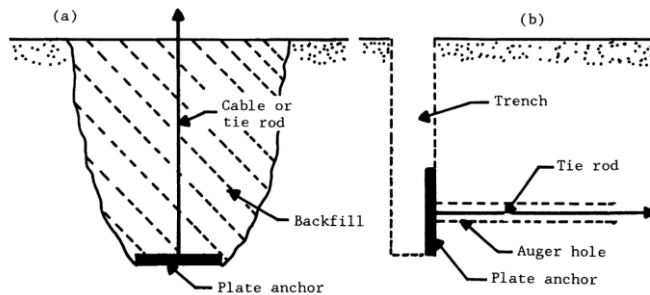
Menurut (Das, 1990) angkur umumnya digunakan dalam konstruksi pondasi untuk meningkatkan daya dukung tanah dan dinding penahan tanah. Tujuan utama dari penggunaan angkur tanah dalam konstruksi adalah untuk menyalurkan beban pada struktur kedalam lapisan tanah yang paling dalam dan jauh dari struktur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

1.2.2 Tipe dan Jenis Angkur Tanah

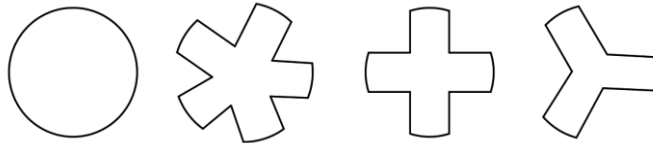
1. Angkur Pelat

Angkur pelat dapat terbuat dari baja, beton pracetak, beton yang dicor ditempat, dapat terbuat dari kayu dan lain sebagainya. Angkur pelat dapat ditempatkan secara vertikal ataupun horizontal untuk menahan beban aksial dan lateral. 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 ditempatkan secara vertikal dan horizontal

Pengembangan model dari angkur pelat salah satunya dilakukan pada angkur pelat lingkaran dengan mereduksi luas penampang sehingga membentuk seperti bintang. (Djamaluddin et al., 2013) mengkaji tentang kapasitas gaya cabut (pullout) untuk angkur bintang dengan model 3, 4 dan 5 elemen. Ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 2

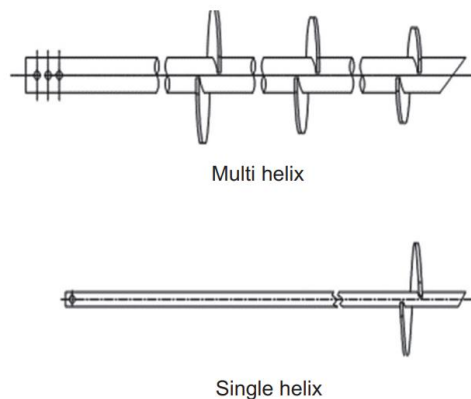


Gambar 2 Angkur pelat bintang (Djamaluddin et al., 2013)

2. Angkur Heliks

Penggunaan angkur heliks banyak dijumpai pada struktur jembatan atau dinding penahan tanah diatas lapisan tanah lunak atau terendam air. Angkur heliks dapat diilustrasikan seperti sekrup yang dikombinasikan dengan baja poros dan serangkaian pelat baja yang membentuk heliks sebagai media yang mendistribusikan tegangan kedalam tanah dan menahan tegangan tarik pada struktur.

Angkur ini dimasukkan kedalam tanah dengan cara augering dengan bantuan truk, beban aksial digerikan pada baja poros sambil berputar untuk berpennetrasi kedalam tanah. Dalam Gambar 3 diperlihatkan gambar skema untuk angkur heliks ganda dan angkur heliks tunggal.

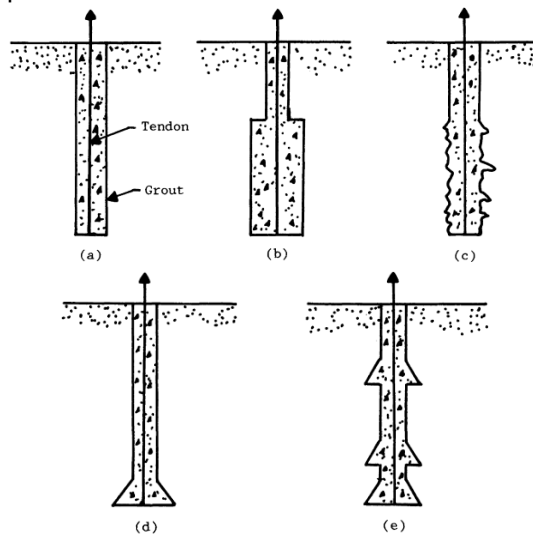


Gambar 3 Angkur heliks tunggal dan ganda

3. Angkur dengan Sistem Grout

Angkur dengan sistem grout adalah angkur yang dipasang dengan melakukan pengeboran untuk penempatan angkur, kemudian dilakukan pengisian campuran semen (grouting) pada lubang yang telah dibor sebelumnya. Angkur ini umumnya terdiri atas batang baja atau kabel baja yang mejangkar kedalam lapisan tanah yang dalam dengan ujung lubang bor ataupun keseluruhan telah tergrouting.

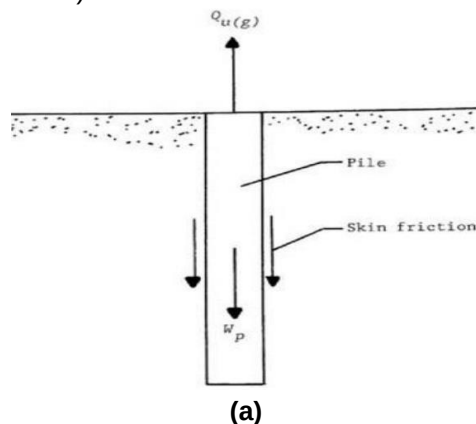
Ada beberapa tipe dari angkur dengan sistem grout yang kemudian diilustrasikan seperti pada Gambar 4

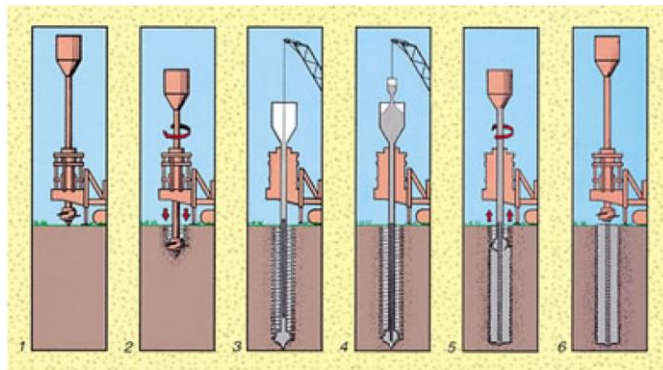


Gambar 4 Grouted anchors: (a) gravity; (b) low pressure; (c) high pressure; (d) single bell; (e) multiple bell (Das, 1990)

4. Angkur Tiang

Pada umumnya kita mengenal penggunaannya dalam menahan beban aksial yang besar untuk di salurkan kedalam lapisan tanah yang keras, namun Angkur tiang dapat digunakan pula untuk menahan dan menahan beban lateral, serta dapat pula menahan gaya pengangkatan (uplift) melalui dominan tahanan pada gesekan permukaan tiang (skin friction).





(b)

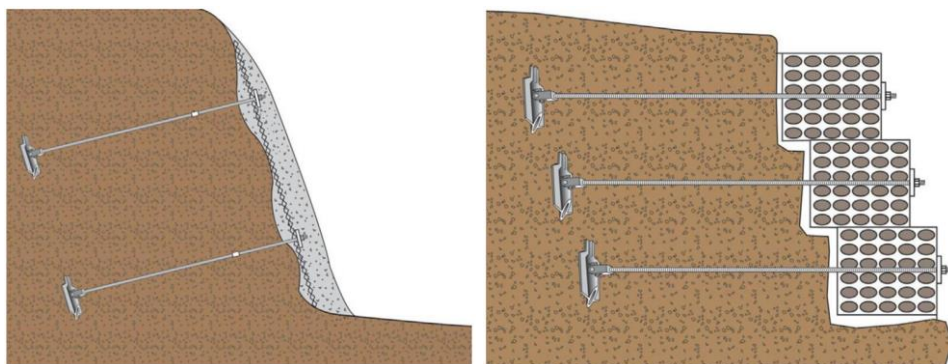
Gambar 5 (a) Interaksi tiang dan gaya pengangkatan, (b) Aplikasi angkur tiang

Ilustrasi gaya pengangkatan (uplift) pada tiang seperti pada Gambar 5a. Angkur tiang (pile anchor) bisa terbuat dari beton, baja maupun kayu yang dapat ditempatkan tunggal maupun dalam kelompok tiang seperti pada Gambar 5b.

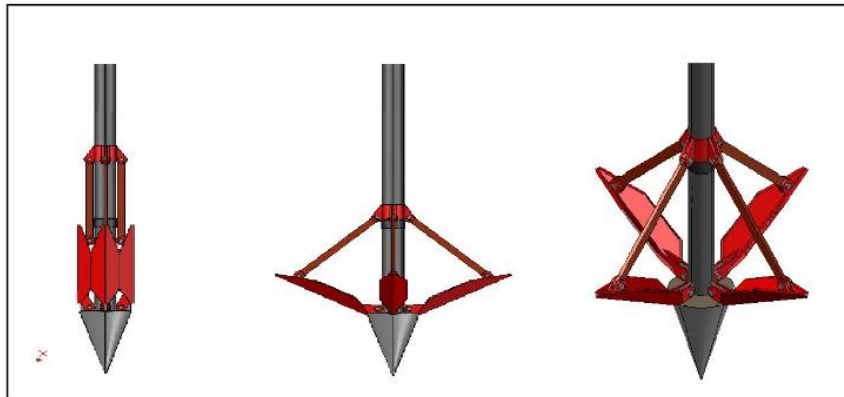
5. Angkur dengan Bentuk Tak beraturan (Irregular Shape Anchor)

Angkur dengan bentuk tak beraturan merupakan inovasi yang dilakukan oleh para ahli ataupun peneliti yang terus dikembangkan dengan menerapkan prinsip kerja angkur dalam menahan tegangan tarik ataupun gaya pengangkatan (uplift).

Model yang dikembangkan dalam bentuk angkur ini diupayakan dapat mengatasi masalah efektifitas dan efisiensi dari instalasi maupun pengaplikasian angkur dalam pekerjaan konstruksi. Salah satu jenis angkur dengan bentuk tak beraturan adalah angkur skyhook pada Gambar 6 dengan bentuk berupa pangkal (kepala) dan menyambung ke batang baja atau kabel baja yang menyatu dengan struktur. Bentuk lain dari angkur tak beraturan adalah angkur jenis lipat seperti pada Gambar 7, dengan ujung pangkal yang berbentuk kerucut tajam untuk memudahkan dalam penetrasi kedalam tanah, menyambung dengan pipa baja dan daun yang terlipat saat dimasukkan kedalam tanah kemudian dapat membuka (mekar) ketika berada pada kedalaman tertentu sehingga memberikan tahanan terhadap gaya pengangkatan (uplift) dan gaya lateral saat ditempatkan dalam bidang horizontal



Gambar 6 Angkur skyhook



Gambar 7 Angkur lipat

1.2.3 Prinsip Kerja Angkur Tanah

Kapasitas tarik angkur tanah pada dasarnya ditentukan oleh friksi antara tanah dengan komponen angkur baik itu pangkal (kepala) ujung angkur maupun komponen lain seperti batang baja, kabel baja ataupun material grout yang tersambung pada struktur yang ditahannya. (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 :

$$Q_u = A (gH + cFc) \dots \dots \dots (1)$$

Untuk angkur bentuk lingkaran atau persegi

$$Fc = 1.2 \times \left(\frac{H}{B}\right) \leq 9 \dots \dots \dots (2)$$

Untuk angkur dengan bentuk memanjang

$$Fc = 1.0 \times \left(\frac{H}{B}\right) \leq 8 \dots \dots \dots (3)$$

Dimana A = Luas pelat, H = kedalaman, c = kohesi tanah, dan Fc = 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 :

$$Q_0 = A (gH + F_c c_u) \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- A = Luas dari pelat jangkat
- g = 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.

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

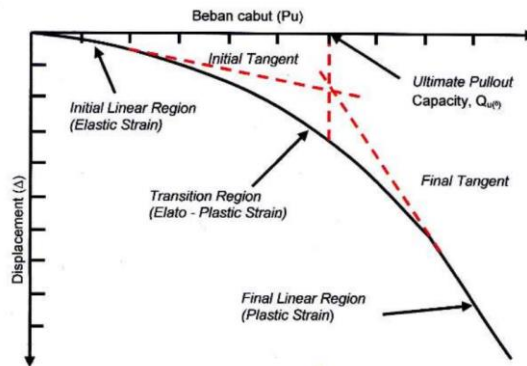
Dimana :

- H = Kedalaman penempatan angkur
- B = Lebar pelat persegi atau diameter pelat lingkaran
- Dimana 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:

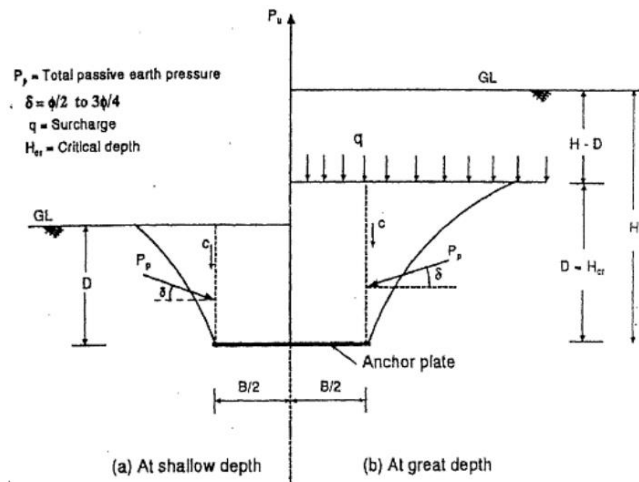
$$(H/B)_{cr-s} = (0,107c_u + 2,5) \leq 7 \dots\dots\dots(7)$$

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 8 Kapasitas tarik (P_u) angkur metode grafis (Bhardwaj & S. K. Singh, 2014)

(Meyerhof GG & Adams JI, 1968) melakukan percobaan dan mengusulkan pendekatan semi teoritik hubungan angkur 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 9 Asumsi Keruntuhan Permukaan (Meyerhof GG & Adams JI, 1968)

$$P_u = W_f + W_s + \pi B \cdot c \cdot D + s_u \left(\frac{\pi}{2} \right) B g D^2 k_u \tan \phi \dots \dots \dots (8)$$

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 = Diameter Heliks

L_c = Jarak antara pelat heliks

c_u = Kohesi tak teralirakan

A_H = Area pelat heliks (m^2)

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/m^3)

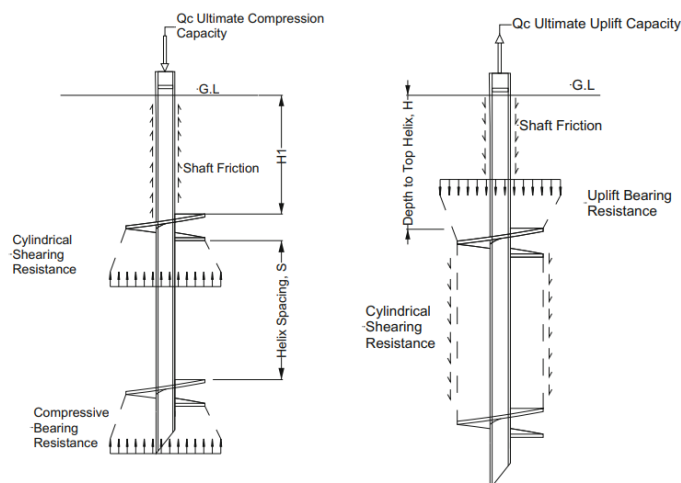
N_u = Faktor daya dukung pengangkatan

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

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

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

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



Gambar 10 (a) Pola keruntuhan pelat individu, (b) Pola keruntuhan geser silinder

2. Kapasitas Tarik pada Multi-Pelat Angkur

Telah banyak studi terdahulu secara numerik untuk mengetahui kapasitas dari multi-pelat angkur (Merifield & Smith, 2010) masing-masing membahas kapasitas pengangkatan maksimum angkur multi-pelat pada tanah lempung tak terdrainase dan angkur tipe heliks pada tanah lempung. Keduanya menggunakan teknik pemodelan numerik untuk lebih memahami perilaku sistem angkur ini dan mengusulkan rancangan praktis untuk memperkirakan kapasitas tarikannya. (Misir, 2018) secara khusus meneliti kapasitas pengangkatan jangkar dua pelat yang ditempatkan secara vertikal dan menyajikan metode desain praktis berdasarkan analisis numerik.

• 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 meter 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.

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

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

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 multi pelat. Untuk studi saat ini, analisis dilakukan dengan asumsi tidak ada gangguan pada media tanah.

1.2.4 Hubungan Cone Penetration Test dengan Konsistensi Tanah dan Kapasitas Tarik Angkur

Pengujian Cone Penetration Test atau sondir merupakan salah satu pengujian penetrasi yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah pada setiap lapisan serta mengetahui kedalaman lapisan pendukung yaitu lapisan tanah keras. Dari pengujian ini diperoleh parameter-parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah berupa perlawanan konus (q_c), perlawanan geser (f_s), angka banding geser (R_f), dan geseran total tanah (T_f).

Nilai perlawanan konus (q_c) memberikan indikasi kekuatan tanah dan biasanya digunakan untuk menentukan daya dukung tanah. Semakin tinggi nilai q_c , semakin kuat tanah tersebut, yang biasanya mengindikasikan lapisan tanah yang padat atau keras. Nilai perlawanan geser (f_s) mencerminkan kekuatan geser tanah dan sering dikaitkan dengan kohesi tanah. Parameter ini juga berperan dalam menentukan jenis tanah, apakah tanah tersebut berbutir kasar (misalnya pasir) atau berbutir halus (misalnya lempung). Angka banding geser (R_f) digunakan untuk mengidentifikasi jenis tanah. Nilai R_f yang rendah biasanya menunjukkan tanah berbutir kasar (pasir), sedangkan nilai yang tinggi menunjukkan tanah berbutir halus atau lempung. Sedangkan nilai total perlawanan geser (T_f) merupakan akumulasi perlawanan geser untuk tiap kedalaman.

1.3 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu telah dikembangkan berkaitan dengan kapasitas tarik angkur pada berbagai lapisan tanah. Beberapa pendekatan yang digunakan antara lain pendekatan teoritis dan numerik, tes model laboratorium, dan pengujian skala penuh di lapangan. Studi-studi sebelumnya tentang kapasitas tarik angkur diantaranya, (Deshmukh et al., 2011) menyajikan analisis teoritis kapasitas tarik (uplift) bersih angkur strip horizontal pada tanah tanpa kohesi, yang menunjukkan kesesuaian yang erat dengan hasil eksperimental pada 93% kasus. (Niroumand et al., 2010) menyelidiki respons pengangkatan pelat jangkar persegi horizontal pada tanah kohesif melalui studi laboratorium dan mengembangkan metode analitis untuk memperkirakan kapasitas tarik (uplift). (Stewart, 1985) mengeksplorasi kapasitas pengangkatan jangkar pelat melingkar dalam tanah berlapis, menunjukkan bahwa kapasitas pengangkatan tetap konstan untuk jangkar yang tertanam dalam tanah kohesif dengan rasio D/B di atas 4,5. (Niroumand et al., 2011) berfokus pada kapasitas pengangkatan pelat jangkar pada tanah kohesif-friksi (cohesive-frictional) berlapis, memberikan data eksperimental dan cara analitis untuk memperkirakan kapasitas pengangkatan (uplift) pada kondisi tersebut.

Secara keseluruhan, makalah-makalah ini berkontribusi dalam memahami kapasitas pengangkatan jangkar dalam tanah kohesif, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti bentuk jangkar, jenis tanah, dan pelapisan. (Bhattacharya, 2016) mempelajari kapasitas penarikan (pull-up) pelat jangkar strip pada tanah lempung yang

miring dalam kondisi tidak terdrainase. (Demir & Ok, 2015) melakukan studi tentang reaksi gaya pengangkatan (uplift) pada angkur heliks multi-pelat dengan resistansi atau tahanan maksimum bergantung pada rasio penempatan jangkar dan rasio jarak antara pelat jangkar S/D. (Maming et al., 2022) berfokus pada model jangkar lipat dan menyelidiki kemampuan pull-up di tanah kohesif. Model ini terdiri dari empat daun dan menunjukkan peningkatan beban pull-up dengan bertambahnya luas dan kedalaman jangkar.

Penelitian lain coba melihat hubungan antara kapasitas tarik angkur tanah (ground anchor) dengan parameter CPT (cone penetration test), (Tucker, 1986) menghubungkan uji beban pengangkatan (uplift) dengan data CPT untuk memprediksi kapasitas pengangkatan (uplift) tiang pancang dan dermaga. (Nait-Rabah et al., 2021) menyelidiki mekanisme kegagalan tiang pancang heliks kontinu pada tanah tanpa kohesi dan mengusulkan metode untuk memprediksi kapasitas pengangkatan (uplift) berdasarkan uji CPT. Beberapa penelitian terdahulu seperti pada Tabel 1 mengenai kapasitas tarik (Pull-up Capacity) maupun kapasitas cabut (Pull-out Capacity) telah dilakukan dengan berbagai metode dan dimensi angkur yang berbeda-beda.

Tabel 1 Penelitian Terdahulu

Penulis	Judul Tulisan	Ringkasan abstrak	Metode Penelitian
Deshmukh (2011)	Uplift Capacity of Horizontal Strip Anchors in Cohesionless Soil	Metode yang diusulkan memprediksi dengan lebih baik untuk rasio penanaman jangkar yang kurang dari 8 inch pada tanah tanpa kohesi yang padat.	Analisis Teoritik
Niroumand (2010)	Uplift response of horizontal square anchor plates in cohesive soil based on laboratory studies	Kapasitas pengangkatan ultimit pelat angkur persegi pada tanah kohesif bergantung pada kekuatan geser relatif tak terdrainase/drainase dari tanah kohesif.	Model Laboratorium
Stewart (1985)	Uplift capacity of circular pelate anchors in layered soil	Tujuan dari pengujian model ini adalah untuk menyelidiki efektivitas penempatan lapisan tanah tanpa kohesi di atas tanah lempung dalam meningkatkan kapasitas pengangkatan jangkar dangkal yang tertanam di dalam lempung ($D/B < 2,0$).	Model Laboratorium
Niroumand (2011)	Uplift capacity of anchor pelates in two-layered cohesive-frictional soils	Kapasitas pengangkatan (uplift) ultimit tergantung pada kekuatan relatif dari dua lapisan, rasio kedalaman penanaman dan rasio ketebalan lapisan atas.	Model Laboratorium

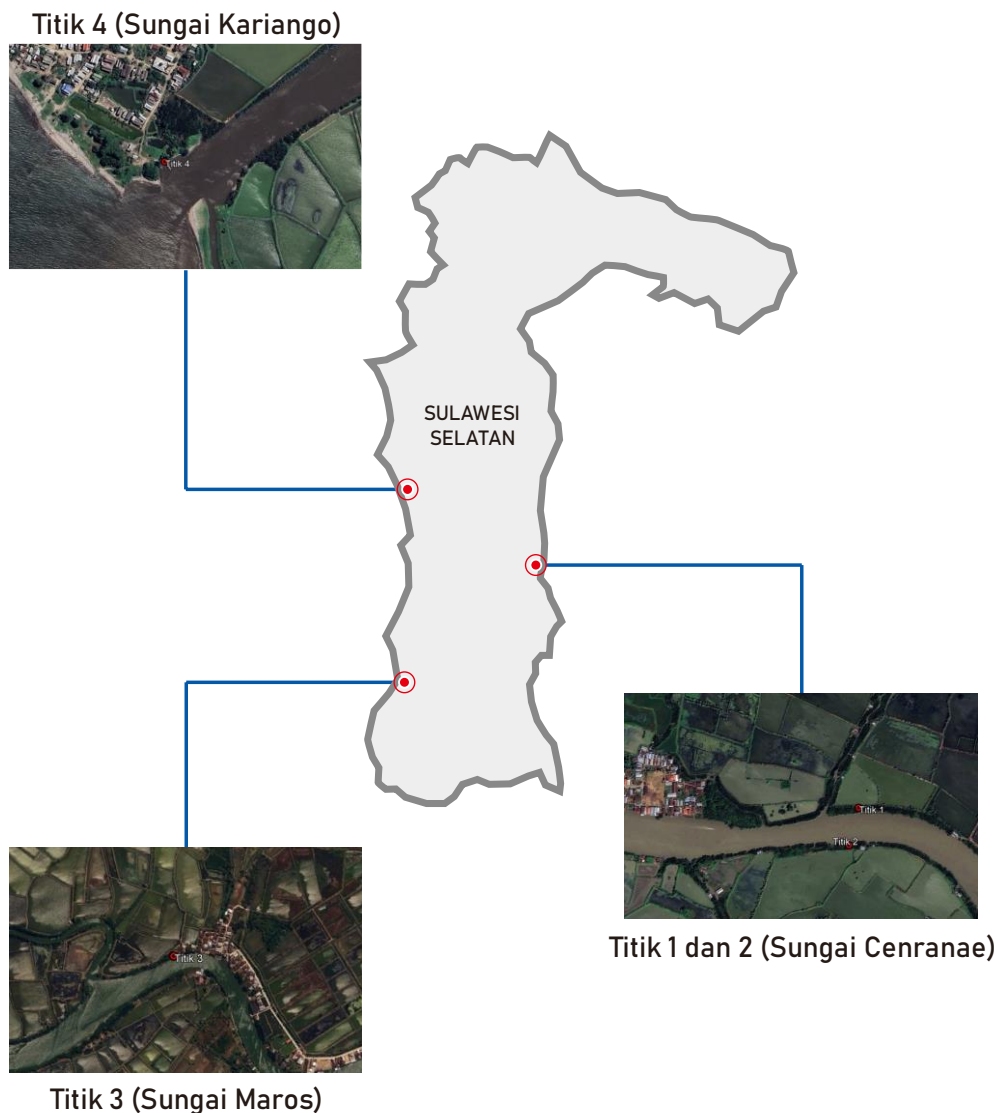
Penulis	Judul Tulisan	Ringkasan abstrak	Metode Penelitian
Bhattacharya (2016)	Pullout capacity of strip pelate anchor in cohesive sloping ground under undrained condition	Kapasitas penarikan pelat jangkar berkurang dengan bertambahnya sudut kemiringan permukaan tanah.	Analisa Numerik
Demir (2015)	Uplift response of multi-pelate helical anchors in cohesive soil	Resistansi maksimum bergantung pada rasio penanaman jangkar dan rasio jarak jangkar S/D.	Eksperimen dan Numerik
Maming (2022)	Model Test of the Pull-up Capacity of Folding Type Ground Anchors in Cohesive Soil	Area setiap model jangkar meningkat pada setiap kedalaman, sehingga menghasilkan peningkatan yang cukup besar dalam kapasitas beban pull-up.	Uji Skala Lapangan
Tucker (1986)	Uplift Capacity of Pile Foundations Using CPT Data	Kapasitas pengangkatan tiang pancang dan Kapasitas pengangkatan pier yang dibandingkan dengan kapasitas yang diprediksi dengan menggunakan nilai friction dari CPT.	Korelasi
Nait-Rabah (2021)	Uplift Capacity Prediction of Continuous Helix Piles in Cohesionless Soils Using Cone Penetrometer Tests	Machine learning models seperti model ANN dan GP mengungguli metode tradisional.	Eksperimen
Azizkandi et al. (2014)	Prediction of Uplift Pile Displacement Based on Cone Penetration Tests (CPT)	Machine learning models seperti model ANN dan GP mengungguli metode tradisional.	Eksperimen

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

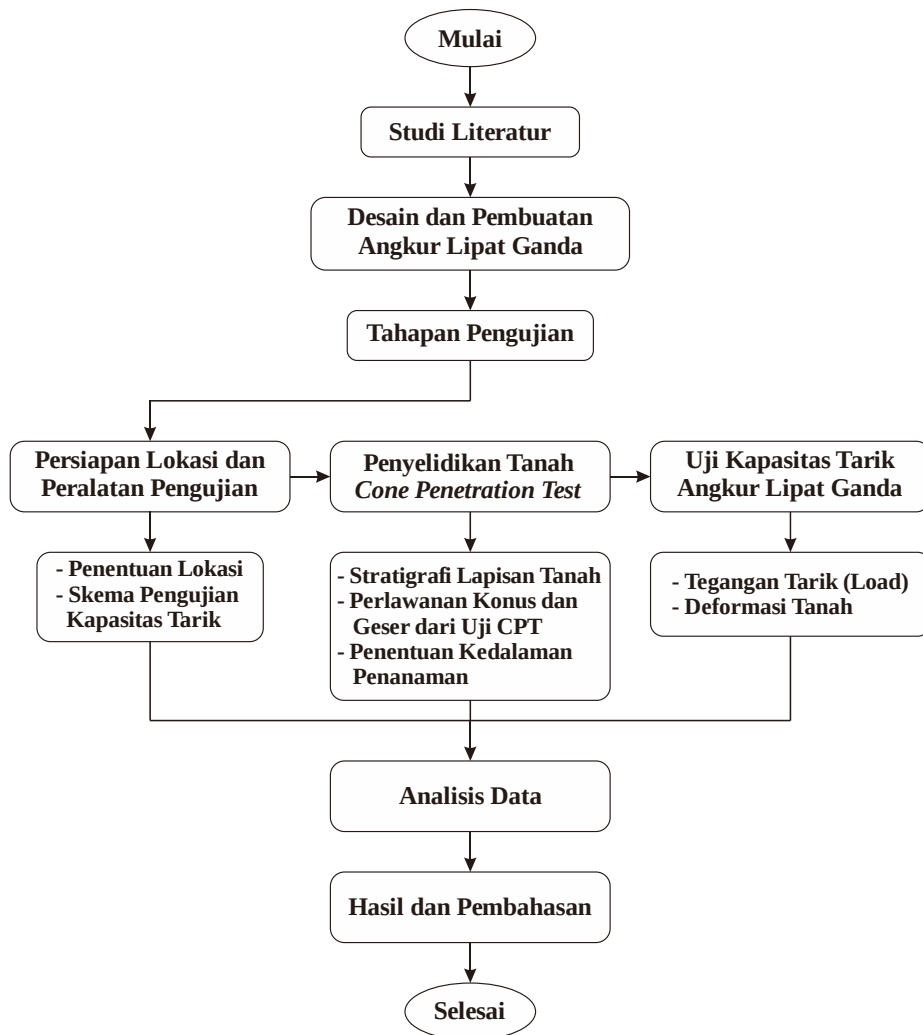
Penelitian ini akan dilakukan pada media tanah lunak (kohesif) yang berada pada beberapa muara sungai di Sulawesi Selatan, diantaranya Sungai Cenranae, Sungai Maros, dan Sungai Kariango. Terdapat 2 titik pengujian yang dilakukan pada Sungai Cenranae, 1 titik pada Sungai maros dan juga Sungai Kariango, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan selama 6 bulan, mulai pada Juli – Desember 2023.



Gambar 11 Lokasi Penelitian

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 korelasinya terhadap parameter CPT (Cone Penetration Test). Beberapa tahapan yang akan dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini sehingga dapat berjalan secara sistematis dan sesuai kaidah metode ilmiah.



Gambar 12 Bagan alir penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, diawali dengan persiapan dengan kajian dan studi literatut 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)

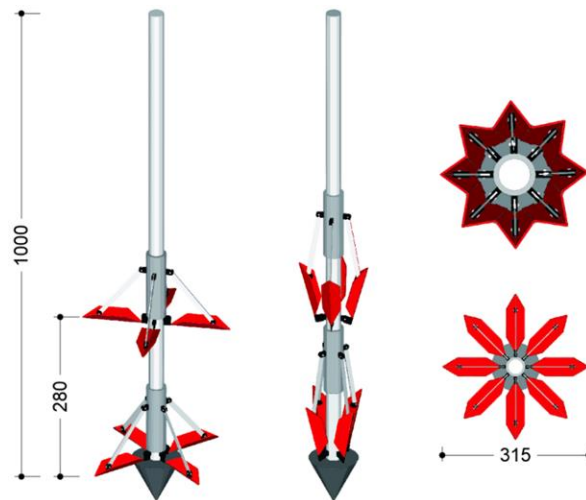
Penyusunan rancangan penelitian ini dalam bentuk tahapan-tahapan penelitian disusun berdasarkan kaidah penelitian untuk memberikan kesesuaian dan keteraturan dalam jalannya penelitian sehingga memberikan keakuratan data dan pelaksanaan metode yang terarah. Beberapa penelitian sebelumnya juga dijadikan sebagai acuan dan referensi dalam melakukan rancangan tahapan-tahapan penelitian maupun metode-metode yang dijalankan oleh para peneliti sebelumnya. Rancangan penelitian ini kemudian di ilustrasikan dalam bentuk bagan alir seperti pada Gambar 12 untuk mempermudah pemahaman dari proses maupun alur dari penelitian yang akan dilakukan.

2.3. Rancangan Model Sampel

Rancangan model angkur lipat ganda dimulai dengan desain model awal untuk penentuan dimensi, material dan komponen bagian-bagian angkur. Proses pembuatan angkur dilakukan secara bertahap dan berulang dalam menyesuaikan setiap bentuk dan dimensi komponen angkur agar dapat sesuai dengan desain yang telah dibuat sebelumnya. Selanjutnya sampel angkur yang telah dibuat dapat dilakukan pengujian yang dimaksudkan untuk mengetahui perilaku angkur saat mengalami beban tarik.

2.3.1 Model Angkur Lipat Ganda

Model dari angkur lipat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah angkur lipat ganda yang memiliki dua lapisan daun pada ujung (end) angkur dan pada area tengah angkur. Sehingga model angkur ini kemudian disebut angkur lipat ganda yang merupakan pengembangan dari model angkur sebelumnya dengan satu lapisan daun angkur pada ujungnya(end) (Maming et al., 2022), dan model bintang yang dikembangkan masi dalam berupa plat (Djamaluddin et al., 2013). Ilustrasi angkur lipat ganda diperlihatkan pada Gambar 13



Gambar 13 Ilustrasi angkur lipat ganda (satuan dalam mm)

2.3.2 Spesifikasi Angkur Lipat Ganda

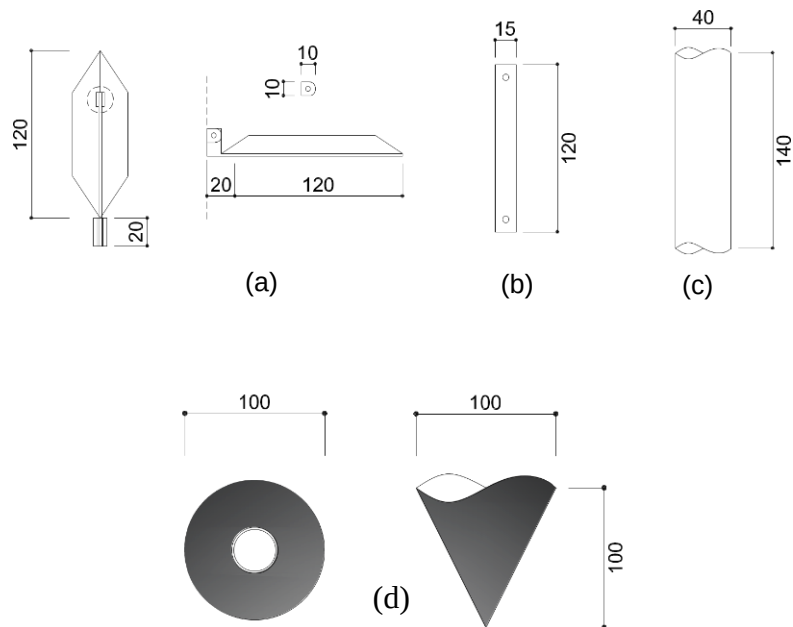
Angkur ini terbuat dari material baja yang berbeda pada masing-masing elemennya. Proses pembuatan dan perakitan elemen angkur dilakukan dengan pemotongan dan pengelasan berbagai material penyusun angkur. Adapun spesifikasi dari material penyusun angkur diantaranya :

- Batang angkur (rod) terbuat dari baja pipa stang sondir
- Daun angkur, 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 angkur, dibuat runcing dari plat baja dengan mutu BJ 37 tebal 2 mm, terlebih dahulu dibuat menjadi setengah lingkaran dan kemudian dimodelkan seperti kerucut

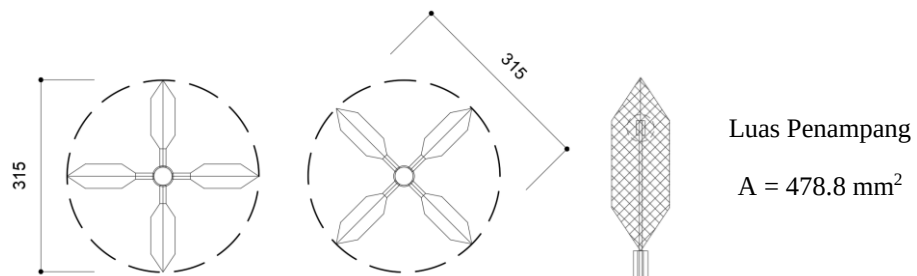
2.3.3 Dimensi Angkur Lipat Ganda

Keseluruhan elemen angkur - angkur 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 angkur fisiknya. Beberapa elemen penyusun angkur seperti pada Gambar 14 dan luasan masing-masing penampang daun seperti pada Gambar 15.

- 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 sisinya 20 mm
- Kerucut, dengan diameter 100 mm dan tinggi 100 mm
- Berat total angkur 6.20 kg



Gambar 14 Elemen angkur lipat (satuan dalam mm), (a) Daun, (b) Penopang daun, (c) Pipa baja, (d) Kerucut



Gambar 15 Luas penampang daun angkur (satuan dalam mm)

2.4. Metode Pengujian

2.4.1 Pengujian *Cone Penetration Test* (CPT)

Persiapan lokasi penelitian dengan terlebih dahulu melakukan survey pendahuluan untuk melihat kondisi dari titik lokasi pengujian CPT (*Cone Penetration Test*).

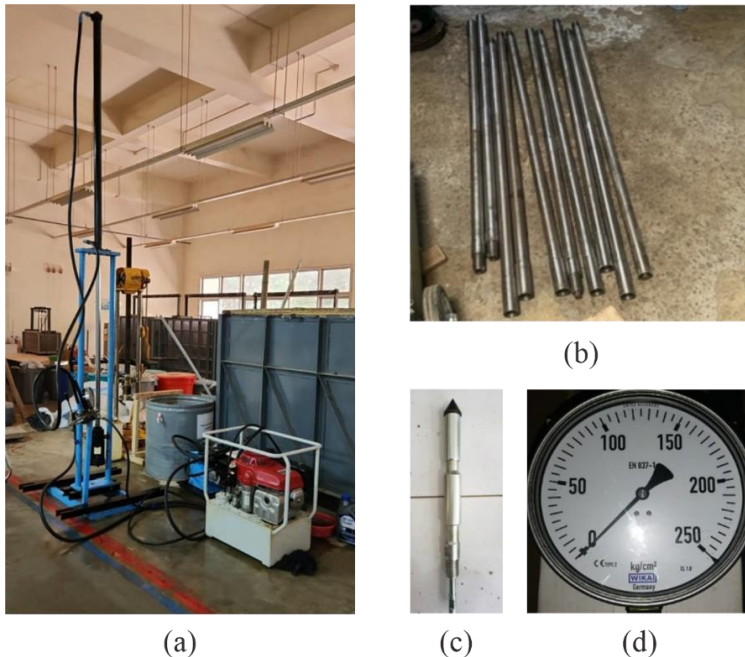
a. Persiapan Alat Uji *Cone Penetration Test* (CPT)

Beberapa peralatan yang dibutuhkan dalam uji CPT (*Cone Penetration Test*) atau uji sondir seperti pada Gambar 16 diantaranya :

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

2.4.2 Metode Pengujian *Cone Penetration Test (CPT)*

Pengujian CPT (*Cone Penetration Test*) menggunakan CPT-Hydraulic dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan dan daya dukung tanah. mengacu pada (SNI 2827, 2008) “Cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir” dan (ASTM-D3441, 1999) “Standart Test Method For Mechanical Cone Penetration Test of Soil”. Data yang dihasilkan, melalui resistansi konus (*tip resistance*) dan perlawanan geser (*sleeve friction*) digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik dan profil lapisan tanah.



Gambar 16 Alat Uji CPT (*Cone Penetration Test*), (a) CPT hidrolik, (b) Stang road, (c) Konus dan bikonus, (d) Manometer

2.4.3 Pengujian Kapasitas Tarik

Kapasitas tarik angkur ditentukan melalui pengujian skala penuh di lapangan, di mana gaya tarik diterapkan secara bertahap hingga mencapai kapasitas maksimum yang bisa ditahan angkur, sampai menyebabkan perpindahan yang signifikan atau kegagalan.

a. Persiapan Alat Uji Kapasitas Tarik

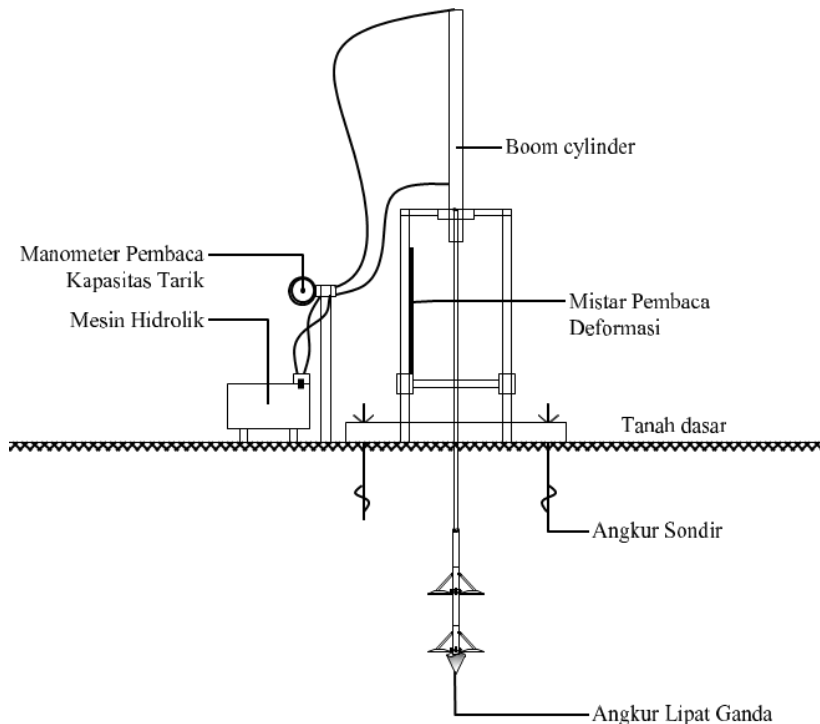
Dalam pengujian kapasitas tarik digunakan alat yang sama yaitu CPT-Hidrolik yang telah dimodifikasi dengan menambah manometer pada katup (*valve*) untuk pembacaan kapasitas tarik, dan untuk pembacaan deformasi digunakan meteran/ mistar yang terpasang pada alat CPT.

b. 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 kapasitas tarik dan penginstalan angkur.

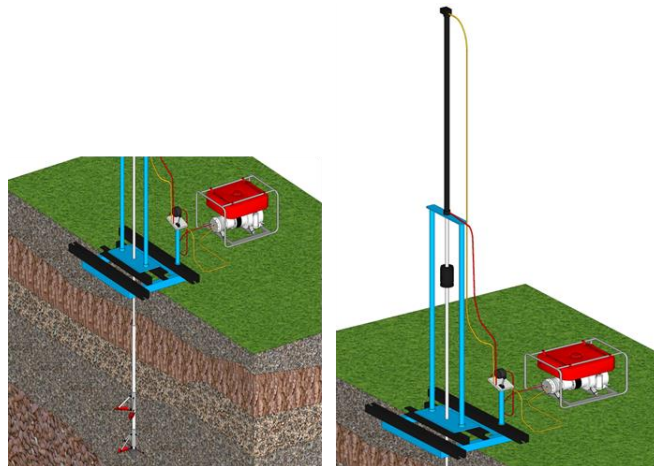
dilustrasikan pada Gambar 17 dan Gambar 18. Pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- Penyetingan alat cpt-hidrolik
- Penempatan sampel (angker lipat) pada titik uji, dengan sebelumnya melakukan penggalian ± 50 cm untuk media penyaluran angkur dan memastikan dalam posisi tertutu
- 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 atau sampai angkur 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 angkur tertarik keluar (pull out)



Gambar 17 Ilustrasi pengujian kapasitas tarik

Pengujian kapasitas tarik menghasilkan data berupa kapasitas tarik maksimum dan deformasi yang terjadi. Kapasitas tarik maksimum menunjukkan perilaku angkur dalam menahan beban tarik maksimum yang diberikan, sedangkan deformasi adalah untuk mengidentifikasi perpindahan tanah yang terjadi akibat penerapan beban tarik selama proses pengujian kapasitas tarik. Pada gambar 18 ditunjukkan ilustrasi pengujian kapasitas tarik.



Gambar 18 Ilustrasi penginstalan angkur lipat

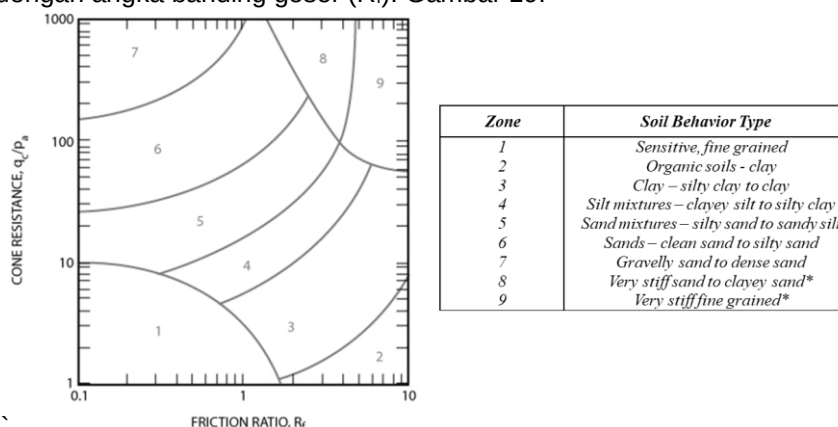
2.5. Analisis Data Penelitian

2.5.1 Analisis Data *Cone Penetration Test* (CPT)

Dari hasil penyelidikan tanah dengan *Cone Penetration Test* (CPT) diperoleh data perlawanan konus (q_c) dan perlawanan geser. Dari parameter ini kemudian dapat diinterpretasikan karakteristik fisik dan mekanis tanah yang berada pada titik pengujian.

a. Penentuan stratigrafi lapisan tanah

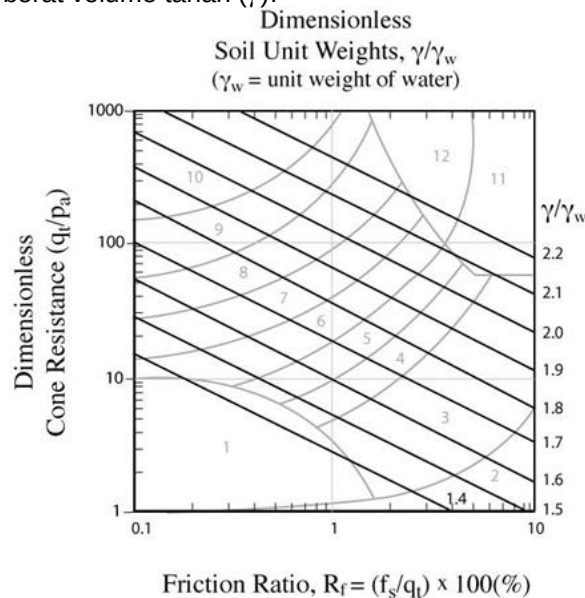
Analisis yang dilakukan untuk interpretasi lapisan tanah melalui hasil uji *Cone Penetration Test* (CPT) adalah dengan menentukan nilai perlawanan konus (q_c), perlawanan geser (f_s) untuk memberikan gambaran kekuatan tanah (soil resistance) dan angka banding geser (R_f) yang merupakan rasio dari perlawanan konus (q_c) dan perlawanan geser (f_s). Melalui grafik yang diusulkan (Robertson, 2016) seperti pada gambar, untuk mengetahui lapisan tanah (Soil Behavior Type) dapat menghubungkan parameter perlawanan konus (q_c) yang telah dibagi dengan pengaruh tekanan atmosfer ($1 \text{ Pa} = 1.0197 \text{ Kg/cm}^2$) dengan angka banding geser (R_f). Gambar 19.



Gambar 19 Grafik & tabel tipe perilaku tanah (SBTn) (Robertson, 1990), diperbaharui oleh (Robertson, 2010)

b. Penentuan berat volume tanah (γ)

Berat volume tanah umumnya dapat diperoleh dari pengambilan sampel tak terganggu (*undisturbed samples*) yang selanjutnya melalui pengujian laboratorium. Namun dalam situasi yang tidak memungkinkan, pendekatan perkiraan berat volume tanah dapat diperoleh dari hasil penyelidikan tanah dengan *Cone Penetration Test* (CPT). (Robertson, 2016) persamaan untuk memperoleh berat volume tanah (γ).



Gambar 20 Berat volume tanah tak berdimensi, γ/γ_w berdasarkan Cone Penetration Test (CPT) (Robertson & Cabal, 2010)

$$\gamma/\gamma_w = 0.27 [\log R_f] + 0.36 [\log (q_c/p_a)] + 1.236 \dots\dots\dots(17)$$

Dimana :

R_f = Angka banding geser = $(f_s/q_c) \times 100 \%$

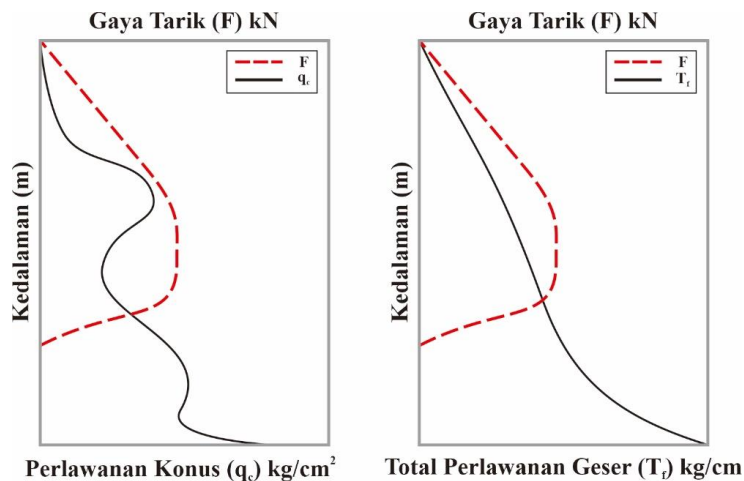
γ_w = Berat jenis air

p_a = Tekanan atmosfer

Berat volume tanah dapat juga diperkirakan melalui grafik seperti pada Gambar 20 dengan parameter perlawanan konus (q_c) dan angka banding geser (R_f) yang juga mengacu pada persamaan diatas

2.5.2 Analisis data kapasitas tarik

Dari pengujian kapasitas tarik diperoleh nilai kapasitas tarik maksimum untuk tiap titik pengujian dan data deformasi yang terjadi akibat penerapan beban tarik pada angkur. Analisis data 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 piston CPT yang digunakan.



Gambar 21 Ilustrasi perbandingan Gaya tarik (F), q_c dan T_f

$$P_u = \sigma \times A_p \dots\dots\dots(18)$$

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 21 yang memberikan gambaran hubungan antara gaya tarik dan deformasi yang kemudian disandingkan dengan nilai perlawanan konus (q_c) dan perlawanan geser (T_f) sehingga diperoleh rentang (range) nilai kapasitas tarik pada lapisan tanah berdasarkan parameter hasil penyelidikan tanah dengan Cone Penetration Test (CPT) yaitu nilai perlawanan konus (q_c) dan perlawanan geser (T_f)

2.6 Hasil yang Diharapkan

Melalui penelitian uji kapasitas tarik angkur lipat ganda pada tanah lunak (kohesif) diharapkan dapat memperoleh hasil yang selaras dengan studi-studi terdahulu dan dari penelitian ini dapat diidentifikasi hubungan antara kapasitas tarik angkur dengan nilai perlawanan konus (q_c) dan perlawanan geser (T_f) dan dapat pula memperoleh rentang nilai yang menunjukkan korelasi antara perlawanan konus (q_c) dan perlawanan geser (T_f) terhadap kapasitas tarik (P_u). Dari korelasi yang diperoleh tentunya dapat memudahkan kita dalam mengetahui perilaku angku dalam menerima beban tarik serta kapasitas tarik maksimum melalui penyelidikan tanah dengan Cone Penetration Test (CPT), sehingga dapat lebih memudahkan dalam proses perancangan untuk menentukan kapasitas tarik yang dibutuhkan. Model angkur lipat ganda ini juga diharapkan menjadi pengembangan dari angkur lipat sebelumnya dengan kapasitas tarik yang optimal dan kemudahan dalam penginstalan/pemasangan di lapangan, serta dapat memberikan alternatif solusi pondasi dangkal di tanah lunak (kohesif) pada bangunan maupun infrastruktur dengan beban tarik yang tinggi.