

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Angkur tanah (*ground anchor*) digunakan untuk menahan tegangan tarik akibat beban tanah, beban luar dan meneruskan gaya tersebut ke dalam tanah. Angkur umumnya digunakan pada struktur penahan gaya tarik dan gaya lateral seperti pada struktur dinding, fondasi, menara transmisi, turap, dermaga terapung, *mooring dolphin* dan bangunan lepas pantai. Angkur tanah dapat dalam bentuk bujursangkar, lingkaran atau persegiempat dan umumnya digunakan sebagai sistem fondasi untuk struktur yang membutuhkan ketahanan tarik, seperti tower transmisi, atau untuk struktur yang membutuhkan ketahanan lateral seperti dinding turap. Banyak ankur tanah digunakan pula untuk menyediakan suatu sistem *mooring* yang ekonomis dan sederhana untuk fasilitas *oil and gas* terapung di lepas pantai.

Berbagai tipe ankur tanah telah banyak digunakan seperti drag, helical, pelat berbentuk lingkaran, bujur sangkar dan persegi. Penggunaan ankur pelat yang masif terdapat kesulitan dalam pemasangannya, karena harus digali terlebih dahulu sebelum dipasang. Dengan pertimbangan tersebut diperlukan inovasi baru untuk mengembangkan model ankur yang lebih mudah dalam pemasangan namun tetap memiliki kapasitas tarik cukup besar. Penelitian pemasangan ankur tanah yang mudah pada lapisan tanah kohesif, telah dilakukan dengan menggunakan ankur tanah tipe lipat (*folding type*) di laboratorium dan di lapangan. Penggunaan ankur tanah tipe lipat dilakukan dengan menekan ankur lipat sampai kedalaman tanah tertentu kemudian rangka payung ankur yang terlipat akan mengembang dan terkunci dimana rangka payung posisi terbalik pada kedalaman yang telah direncanakan.

Mekanisme penarikan ankur tanah tipe lipat di tanah dasar kohesif telah diteliti di laboratorium dan lapangan. Namun, penelitian eksperimental serupa yang berfokus pada tanah dasar pasir (tanah tidak kohesif) belum pernah dilakukan di laboratorium maupun lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan hasil pengujian lapangan penarikan dari ankur tanah tipe lipat yang ditekan ke dalam lapisan tanah pasir. Ada dua jenis ankur tanah tipe lipat yang diteliti yaitu ankur tunggal yang memiliki satu rangka payung dan ganda. Perilaku resistensi tarik dan lateral dari satu ankur tanah tipe lipat dan kelompok ankur tanah tipe lipat tunggal yang ditancapkan dengan jarak tertentu dalam tanah pasir diteliti dan dibandingkan juga dengan ankur tanah tipe lipat ganda. Sebanyak 26 ankur lipat ditekan ke dalam tanah pada posisi *grid* jarak 2 m dan ditarik menggunakan alat hidrolik. Dua jenis ankur lipat yaitu tunggal dan ganda dipasang di lapisan pasir pada kedalaman 1,0 m ; 1,5 m dan 2,0 m. Uji geser baling-baling dilakukan pada lapisan tanah kohesif untuk mengukur kuat geser *undrained* (cu). Angkur di pasir memiliki gaya tarik yang lebih besar dibandingkan ankur di tanah lempung. Tekanan yang bekerja pada ankur meningkat dengan berkurangnya luas proyeksi ankur di lapisan pasir. Sebaliknya, pada lapisan lempung, tekanannya

tetap sama terlepas dari luas proyeksi pelat angkur. Gaya tarik maksimum yang diukur pada lapisan tanah lempung sesuai dengan nilai yang dihitung berdasarkan pada interpretasi uji penetrasi T-bar.

Penelitian ini bertujuan menganalisis kapasitas tarik dan miring angkur tanah tipe lipat tunggal pada tanah pasir. Pengujian fisik dilakukan skala penuh di lapangan, kemudian membandingkan hasil kapasitas tarik dan miring keduanya. Model angkur tipe lipat tunggal terdiri dari satu kelompok sayap yang terdiri dari empat sayap dimana tiap sayapnya mempunyai luasan yang sama yaitu 30 cm². Pada pengujian laboratorium, angkur tanah tipe lipat tunggal diuji dalam bak uji dan diisi dengan tanah pasir yang dipadatkan secara statis dengan tinggi 30 cm pada 4 lapisan. Pengujian dilakukan tiga variasi kedalaman yaitu 30 cm, 60 cm dan 90 cm. Pada pengujian laboratorium luasan efektif sayap tipe lipat tunggal 30,20 cm² dan tipe lipat ganda sebesar 147,20 cm². Pada pengujian lapangan luasan efektif sayap tipe lipat tunggal 57,60 cm². Sifat tanah yang dipilih di laboratorium dan di lapangan mempunyai kemiripan yang sama. Setiap model lapangan diuji tiga variasi kedalaman yaitu 100 cm, 200 cm dan 300 cm. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa angkur ini sangat mudah dalam pemasangan dengan menggunakan peralatan yang sederhana di lapangan tanpa menggali atau mengebor tanah asli.

Cakupan aplikasi untuk angkur tanah secara luas yaitu pendukung banyak struktur, sehingga suatu pemahaman yang lebih besar terhadap perilaku angkur ini dibutuhkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas tarik dengan menggunakan angkur tanah type lipat (folding type) yang diharapkan dapat mengatasi permasalahan bangunan pada tanah non kohesif. Pengujian yang dilakukan adalah uji kapasitas tarik angkur dengan variasi kepadatan dan luasan elemen angkur pada kondisi tanah lunak (soft, $q_c=14-40$ kg/cm²), agar didapatkan besaran gaya tarik angkur yang akan direncanakan. Kinerja angkur tanah type lipat ini didasarkan pada kapasitas tarik dan kedalaman angkur. Hasil yang diharapkan adalah temuan angkur tanah type lipat (folding type) dengan kapasitas tarik besar yang mampu memberikan perkuatan bangunan pada kondisi tanah non kohesif.

Pengembangan bentuk dan model angkur tanah yang memiliki kemudahan dalam pemasangan dengan kapasitas dukung yang besar perlu dikembangkan. khususnya untuk penggunaan angkur pada lapisan tanah tidak berkohesi, yang memungkinkan untuk dilakukan inovasi dengan menggunakan angkur tanah tipe lipat (*folding type*). Penggunaan angkur tanah tipe lipat pada tanah pasir dengan elemen angkur akan dimekarkan pada saat posisi elemen sudah mencapai kedalaman yang telah ditentukan. Sebagai tahap awal pengembangan angkur tipe lipat ini, maka akan dilakukan suatu rangkaian pengujian tarik dan lateral tipe lipat tunggal dan ganda. Untuk mendapatkan berapa besar gaya maksimum tarik dan lateral rencana pada tanah pasir, maka perlu dianalisis kapasitas tarik (*pull-up capacity*) dan lateral angkur terhadap : a) penggunaan angkur tipe payung lipat tunggal, b) ketahanan material, c) karakteristik kerapatan relatif pasir, d) variasi luasan payung lipat angkur, e) pengaruh overburden pada payung lipat, f) pengaruh kuat geser tanah di sekitar angkur, e) pengaruh panjang tiang angkur, f) interface pasir – angkur, g) pengaruh pasang surut,

dan h) variasi jarak antar payung lipat pada angkur tipe lipat ganda, i) pengaruh waktu terhadap kapasitas tarik dan lateral angkur, dan j) pengaruh gradasi tanah tak berkoheksi.

Angkur tanah umumnya digunakan pada struktur penahan gaya tarik dan gaya lateral; seperti pada struktur dinding, fondasi, menara transmisi, turap, dermaga terapung, mooring dolphin dan bangunan lepas pantai lainnya. Mekanisme angkur tanah seperti drag, helical dan angkur pelat berbentuk bujursangkar, lingkaran, persegi panjang yang tertanam di tanah pasir dan lempung telah banyak dipelajari di laboratorium dan lapangan. Demikian pula penelitian angkur tanah tipe lipat di tanah lempung telah dilakukan di laboratorium dan lapangan oleh Manning dkk (2022).

Angkur tanah tipe lipat (*folding type*) adalah sejenis angkur tanah yang tidak memerlukan grouting untuk mendapatkan ketahanan tarik angkur. Angkur tipe lipat langsung ditekan ke dalam tanah. Ketika gaya tarik bekerja pada angkur, kepala angkur akan mengembang dan terbuka di dalam tanah.

Penelitian eksperimental yang berfokus pada angkur tipe lipat pada tanah pasir belum pernah dilakukan di lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini akan memberikan hasil pengujian laboratorium dan lapangan penarikan angkur lipat di tanah pasir. Sebagai tahap awal pengembangan angkur tipe lipat ini, maka akan dilakukan suatu rangkaian pengujian tarik dan miring angkur tanah tipe lipat tunggal di lapangan.

Perilaku resistensi tarik dan lateral dari angkur lipat yang dipasang di pantai berpasir akan diteliti juga, karena pasang air laut akan menimbulkan gaya vertikal ke atas (gaya apung), sedangkan angin dan arus akan menimbulkan gaya lateral.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana cara mengaplikasikan dengan mudah angkur tanah tipe lipat tunggal (*ground anchor*) pada tanah pasir di lapangan?
2. Bagaimana pengaruh angkur tanah tipe lipat tunggal terhadap kapasitas tarik miring angkur?
3. Bagaimana pengaruh kedalaman angkur tanah tipe lipat tunggal terhadap kapasitas miring angkur?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

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

1. Mengetahui cara mengaplikasikan angkur tanah (*ground anchor*) pada tanah pasir di lapangan.

2. Mengetahui pengaruh angkur tanah tipe lipat tunggal terhadap kapasitas tarik miring angkur.
3. Mengetahui pengaruh pengaruh kedalaman angkur tanah tipe lipat tunggal terhadap kapasitas miring angkur

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Dapat mengidentifikasi cara merancang angkur tanah (*ground anchor*) pada tanah pasir di lapangan.
2. Dapat mengidentifikasi pengaruh angkur tanah tipe lipat tunggal terhadap kapasitas tarik miring angkur.
3. Dapat mengidentifikasi pengaruh pengaruh kedalaman angkur tanah tipe lipat tunggal terhadap kapasitas miring angkur.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Dalam penelitian ini membatasi cakupan penelitian yang lebih luas agar penelitian dapat berjalan lebih spesifik, serta dapat mencapai sasaran yang diinginkan. Ruang lingkup penelitian ini diantaranya adalah:

1. Material tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah non kohesif di Kabupaten Takalar tepatnya di Pantai Lakotong.
2. Pengujian CPT berdasarkan standar SNI 2827:2008 dan ASTM D 3441-98
3. Uji kapasitas tarik dilakukan dengan alat CPT hidrolik 5 ton yang telah di modifikasi.
4. Penelitian dilakukan dengan skala penuh lapangan.

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 pelekak dari tanah tersebut. Hambatan pelekak 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.

1.6.2 Metode Angkur Tanah

Metode angkur tanah, atau ground anchors, adalah salah satu teknik geoteknik yang digunakan untuk memperkuat tanah, lereng, dan konstruksi lainnya. Menurut Badan Standarisasi Nasional (2017), sistem pengankuran bertujuan untuk menyalurkan gaya tarik ke lapisan tanah atau batuan pendukung. Sistem ini terdiri dari fixed length, free length, dan kepala angkur (anchor head). Angkur tanah umumnya digunakan sebagai penunjang untuk Embedded Wall.

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

Angkur tanah merupakan pondasi tipis yang dirancang khusus untuk menahan gaya tarik dan momen guling pada struktur. Saat ini, angkur tanah dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain angkur pelat, angkur heliks, angkur dengan sistem grout, angkur tiang, angkur dengan bentuk tak beraturan, dan angkur lipat.

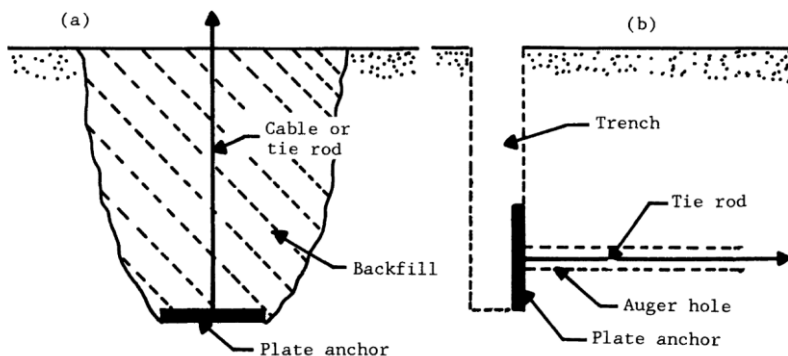
1.6.3 Tipe dan Jenis Angkur Tanah

1. Angkur Pelat

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

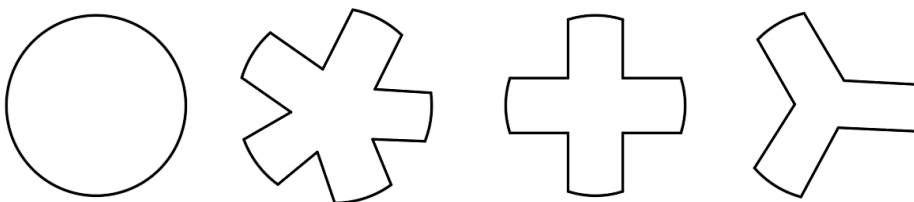
Prinsip kerja angkur pelat adalah menyalurkan beban tarik dari struktur ke tanah melalui pelat baja yang tertanam. Ketika beban tarik diaplikasikan, pelat baja memberikan resistensi terhadap gaya tersebut dengan dukungan tanah di sekitarnya. Pelat biasanya dipasang dalam posisi horizontal atau miring, tergantung pada kebutuhan desain dan kondisi tanah.

Proses pemasangan angkur pelat melibatkan penggalian hingga kedalaman tertentu, penimbunan (backfill) dengan material tanah yang lebih baik, dan pemadatan. Ilustrasi dari angkur pelat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Angkur pelat ditempatkan secara vertikal dan horizontal

Pengembangan model angkur pelat termasuk modifikasi pada angkur pelat lingkaran dengan mereduksi luas penampang untuk membentuk desain seperti bintang. Djameluddin et al. (2020) melakukan kajian mengenai kapasitas gaya cabut (pullout) pada angkur bintang dengan model yang terdiri dari 3, 4, dan 5 elemen. Ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 2.

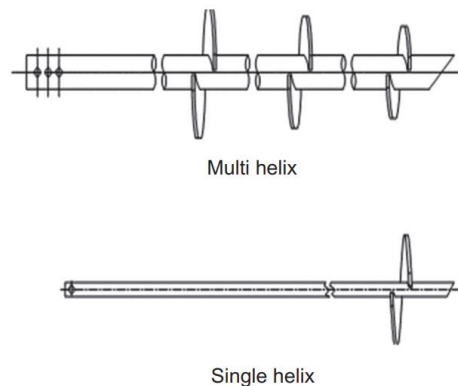


Gambar 2 Angkur Pelat Bintang

2. Angkur Heliks

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

Angkur heliks bekerja dengan cara diputar ke dalam tanah menggunakan alat pemutar khusus. Pelat heliks menciptakan daya dorong ke bawah saat berputar, memungkinkan angkur untuk masuk ke dalam tanah dengan gangguan minimal pada tanah sekitarnya. Ketika beban tarik diterapkan, pelat heliks menahan gaya tarik tersebut dengan bantuan resistensi tanah di sekitarnya. Gambar 3 menunjukkan skema untuk angkur heliks ganda dan angkur heliks tunggal.



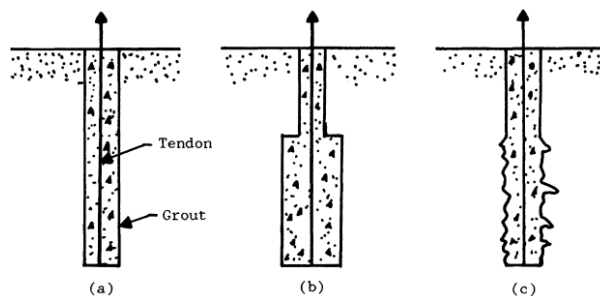
Gambar 3 Angkur heliks tunggal dan ganda

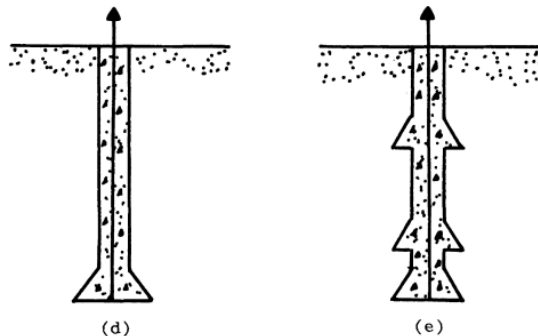
3. Angkur dengan Sistem Grout

Angkur dengan sistem grout adalah jenis angkur tanah yang memanfaatkan campuran grout (biasanya terdiri dari semen, air, dan bahan tambahan) untuk mengisi ruang antara angkur dan tanah di sekitarnya. Angkur ini berfungsi dengan menyalurkan beban tarik dari struktur ke dalam tanah melalui campuran grout yang mengeras.

Pemasangan angkur dengan sistem grout dilakukan dengan mengebor lubang ke dalam tanah, memasukkan batang angkur, dan kemudian mengisi lubang tersebut dengan campuran grout. Setelah grout mengeras, ia membentuk ikatan kuat antara batang angkur dan tanah di sekitarnya, sehingga angkur dapat menahan beban tarik yang signifikan.

Terdapat beberapa tipe angkur dengan sistem grout, yang dapat dilihat pada Gambar 4.





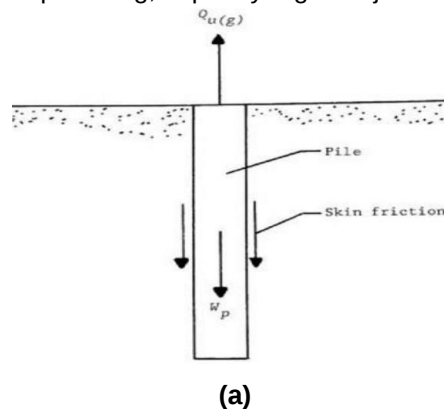
Gambar 4 Grouted anchor: (a) Gravity: (b) low pressure: (3) high pressure: (d) single ell: (e) multiple bell (Das, 1990)

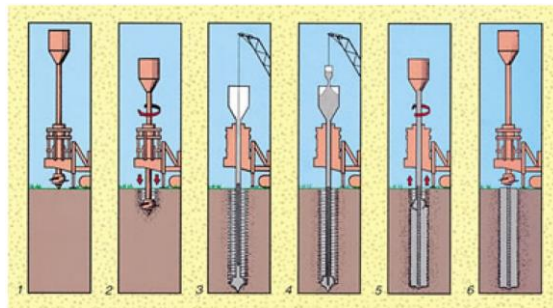
4. Angkur Tiang

Angkur tiang (pile anchors atau 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 umumnya terbuat dari bahan seperti baja, beton, atau kayu, dan ditanam dengan cara dipukul, didorong, atau diputar ke dalam tanah.

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

Ilustrasi gaya pengangkatan (uplift) pada tiang dapat dilihat pada Gambar 5a. Angkur tiang dapat terbuat dari beton, baja, atau kayu, dan dapat dipasang secara tunggal atau dalam kelompok tiang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5b.





(b)

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

5. Angkur dengan Bentuk Takberaturan (*Irregular Shape Anchor*)

Angkur dengan bentuk tak beraturan (*irregular shape anchors*) adalah jenis angkur tanah yang memiliki desain dan konfigurasi yang tidak standar, dibuat untuk memenuhi kebutuhan spesifik proyek konstruksi tertentu. Bentuk yang tidak beraturan ini bisa mencakup berbagai geometri yang dirancang untuk memberikan kinerja terbaik dalam kondisi tanah tertentu atau untuk aplikasi khusus.

Angkur dengan bentuk tak beraturan berfungsi dengan menyalurkan beban tarik atau tekan dari struktur ke tanah melalui desain khusus angkur. Bentuk unik ini memungkinkan angkur menyesuaikan dengan kondisi tanah tertentu dan memberikan kinerja optimal dalam menahan beban.

Pengembangan model angkur dengan bentuk tak beraturan bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam instalasi serta aplikasi angkur pada proyek konstruksi

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

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

Untuk angkur dengan bentuk memanjang

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

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 pasir, 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 jangkar

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.

$$F_c = S \left(\frac{H}{B}\right) \leq 9 \dots \dots \dots (6)$$

Di mana :

H = Kedalaman penempatan angkur

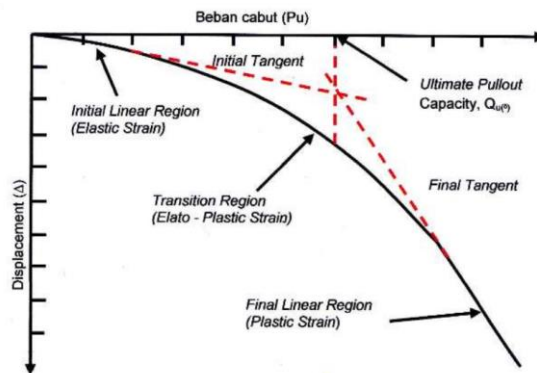
B = Lebar pelat persegi atau diameter pelat lingkaran

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) c_r adalah fungsi dari kohesi tanah (c_u). Berikut ini Persamaan untuk angkur berbentuk persegi dan lingkaran:

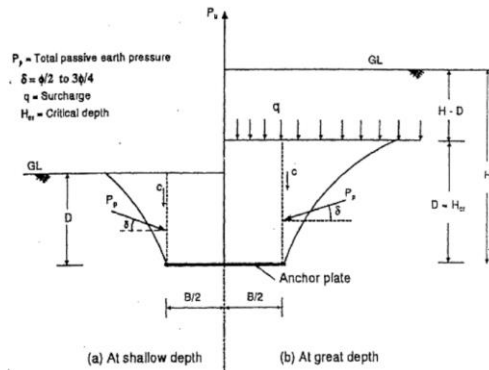
$$(H/B)c_r - s = (0,107c_u + 2,5) \leq 7 \dots\dots\dots(7)$$

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 6 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 7 Asumsi Keruntuhan Permukaan (Meyerhof GG & Adams JI, 1968)

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

Di mana :

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 takteralirkan

A_H = Area pelat heliks (m^2)

H = Kedalaman penempatan heliks

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

α = Faktor adhesi tanah

γ' = berat satuan tanah (kN/m^3)

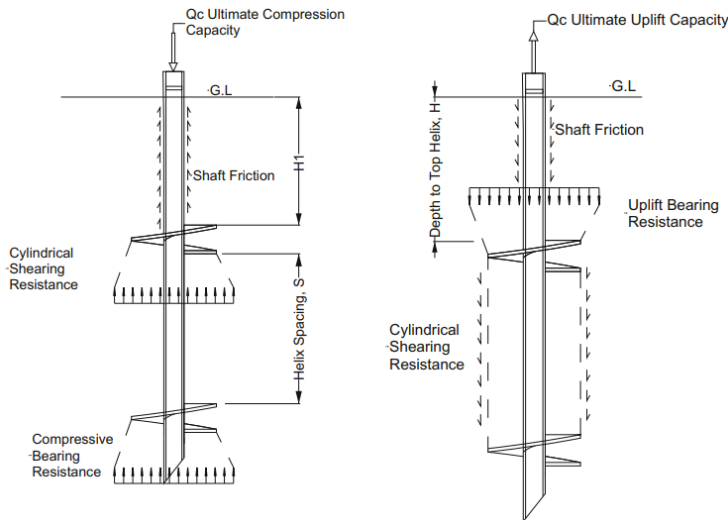
N_u = Faktor daya dukung pengangkatan

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

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

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

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



Gambar 8 (a) Pola keruntuhan pelat individu, (b) Pola keruntuhan geser silinder

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 tarikannya. 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

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

di mana

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:

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

di mana

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:

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

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 Angkur Tanah Pada Tanah Pasir

Pembangunan di lepas pantai yang melibatkan banyak aktivitas terkait pemanfaatan sumber daya memerlukan infrastruktur seperti floating dock, mooring dolphin, floating breakwater, platform lepas pantai terapung, bagang, rumah terapung, rumpon, dan lainnya. Semua bangunan ini membutuhkan solusi untuk menjaga stabilitas di atas tanah kohesif, baik untuk bangunan sementara maupun permanen. Tantangan utama untuk bangunan di pantai atau lepas pantai adalah stabilitas struktur akibat pergerakan air laut secara vertikal karena pasang surut dan secara horizontal karena arus, angin, dan gelombang. Untuk menjaga stabilitas dari pergerakan vertikal karena gaya apung (uplift), diperlukan struktur penahan yang dikenal sebagai angkur (anchors).

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai investigasi teoritis dan eksperimental pada angkur tanah di bawah air laut. Sciacca L. (2012) mempelajari perilaku angkur terhadap pergerakan air laut. Angkur tanah bisa berbentuk persegi, bulat, atau persegi panjang, dan biasanya digunakan sebagai sistem dasar untuk struktur yang membutuhkan resistensi angkat, seperti menara transmisi, atau untuk konstruksi yang membutuhkan resistensi lateral, seperti dinding tumpukan lembar.

Baru-baru ini, angkur digunakan sebagai sistem mooring yang sederhana dan ramah lingkungan untuk fasilitas minyak dan gas yang mengambang di lepas pantai. Seiring dengan berkembangnya aplikasi untuk mendukung struktur yang lebih rumit dan besar, diperlukan dukungan yang lebih kuat terhadap perilaku mereka. Teori ketahanan pendakian tanah juga bisa digunakan untuk memecahkan sejumlah masalah geoteknikal di mana ketahanan pendakian utama struktur tidak disediakan oleh penambahan angkur tanah.

Misalnya, struktur seperti pipa yang tenggelam atau dasar-dasar yang terkubur, meskipun tidak didukung oleh angkur, dapat digolongkan secara efektif sebagai angkur tanah. Jangkar pelat banyak digunakan pada peralatan transmisi pondasi, menara TV, jembatan gantung besar, platform tambat pesawat, dan bidang lainnya karena waktu konstruksi yang singkat, penerapan lokasi yang kuat, pengurangan kerusakan lingkungan, dan manfaat ekonomi yang baik.

Pengembangan eksploitasi energi yang diperluas di laut dalam dalam beberapa tahun terakhir telah menyebabkan penggantian bertahap anjungan gravitasi laut dangkal dengan anjungan terapung. Jangkar pelat yang ditanam di dasar laut menyediakan penahan untuk anjungan terapung guna menahan dampak angin, gelombang, dan arus laut, yang menjadi perhatian dalam teknik kelautan.

Penelitian ekstensif telah dilakukan untuk membatasi daya dukung tarik jangkar pelat menggunakan berbagai metode penelitian, termasuk studi teoritis, simulasi numerik, dan pengujian model. Kapasitas pendorong lateral dan mekanisme tegangan akhir dari jangkar pelat yang diisi lateral dipengaruhi bersama oleh angkur dan batang angkur, serta interaksi angkur-tanah yang rumit. Oleh karena itu, model perhitungan kapasitas pendukung lateral sulit untuk ditetapkan.

Tanah di bawah suatu konstruksi harus mampu memikul beban konstruksi di atasnya tanpa mengalami kegagalan geser (shear failure) dan dengan penurunan (settlement) yang dapat ditoleransi. Pasir memiliki sifat yang kurang menguntungkan, terutama pasir yang memiliki nilai kerapatan relatif rendah (pasir lepas). Masalah utama pada tanah pasir lepas adalah penurunan dan daya dukung yang rendah jika diberikan beban di atasnya.

Seiring dengan beralihnya teknik lepas pantai ke perairan laut dalam (> 500m kedalaman) untuk mengeksplorasi lebih banyak sumber daya alam seperti gas, minyak, dan energi angin, substruktur terapung yang ditambatkan ke dasar laut dengan tambatan catenary atau taut-wire dianggap sebagai sistem penambatan yang efektif dan ekonomis untuk menggantikan anjungan tetap tradisional (Randolph dan Gourvenec, 2017). Jangkar pelat, sebagai salah satu fondasi jangkar, telah banyak digunakan untuk menahan beban vertikal, horizontal, atau beban gabungan karena aksi gelombang dan angin (Cheng et al., 2021). Pemasangan jangkar pelat dapat dilakukan dengan metode hisap caisson, yang dikenal sebagai suction embedded plate anchor (SEPLA) (Zhao dan Liu, 2016). Untuk mencapai kedalaman penanaman yang dirancang dalam pasir, jangkar pelat telah dipasang dengan cara mengemudi, pengaliran, atau dengan auguring di tempat (Bradshaw dkk., 2015, Al Hakeem dan Aubeny, 2018). Caisson hisap pertama-tama ditembus ke dasar laut dengan tekanan hisap, kemudian ditarik, meninggalkan jangkar pelat di dasar laut. Dengan adanya gaya tarik, jangkar pelat berputar ke sudut tertentu dan berinteraksi dengan tanah untuk menahan tegangan. Estimasi akurat kapasitas penarikan jangkar pelat sangat penting untuk memastikan keamanan pengoperasian struktur terapung (Zhuang et al., 2021).

Jangkar adalah struktur ringan yang digunakan untuk mendukung berbagai struktur seperti menara transmisi, sekat berlabuh, jaringan pipa terendam, dan anjungan terapung di lepas pantai terhadap gaya pengangkatan (Ilamparuthi et al., 2002). Kapasitas penarikan jangkar, yaitu beban penarikan maksimum yang bisa ditanggung oleh jangkar, bergantung pada berbagai faktor seperti jenis, bentuk, ukuran, kedalaman dan kemiringan jangkar, kedalaman penanaman, serta kondisi tanah dasar. Oleh karena itu, kapasitas penarikan sistem jangkar pelat dapat ditingkatkan dengan memperbesar ukuran dan kedalaman penanaman jangkar atau dengan meningkatkan kekuatan dan kepadatan timbunan (Ganesh dan Sahoo, 2016; Kumar dan Bhoi, 2009; Liu dkk., 2011; Rahimi, dkk., 2018).

Untuk memberikan latar belakang yang memadai untuk diskusi selanjutnya, ringkasan penelitian tentang perilaku jangkar pelat disajikan. Tinjauan menyeluruh mengenai topik jangkar diberikan oleh Das (1990). Salah satu aplikasi awal jangkar tanah adalah untuk menopang menara transmisi. Aplikasi ini mendorong banyak penelitian awal mengenai perilaku jangkar (Balla 1961). Pada awalnya, menara-menara ini ditopang oleh balok beton besar di mana daya angkat yang dibutuhkan dicapai melalui berat beton. Desain sederhana ini memerlukan biaya yang cukup besar, sehingga dilakukan penelitian untuk menemukan solusi desain yang lebih ekonomis. Hasilnya adalah belled piers atau pondasi jamur. Seiring dengan

berkembangnya berbagai aplikasi untuk jangkar tanah yang mendukung struktur yang lebih rumit dan besar, penelitian yang lebih konkret dilakukan. Akibatnya, jangkar tanah kini telah berevolusi menjadi alternatif ekonomis dan kompetitif untuk pondasi massal. Banyak penelitian terdahulu berbasis eksperimen dan praktik desain yang didasarkan pada empirisme. Sebaliknya, sangat sedikit analisis numerik menyeluruh yang dilakukan untuk menentukan beban tarik utama jangkar. Dari studi numerik yang telah dipublikasikan, hanya sedikit yang dianggap teliti.

Program pengujian yang ekstensif dilakukan oleh Murray dan Geddes (1987, 1989) yang menguji tarik keluar jangkar strip horisontal, melingkar, dan persegi panjang dalam pasir padat dan sedang dengan sudut geser (ϕ') masing-masing $43,6^\circ$ dan 36° . Jangkar biasanya memiliki lebar/diameter 50,8 mm dan diuji pada rasio aspek (L/B) 1, 2, 5, dan 10. Berdasarkan pengamatan mereka, Murray dan Geddes menyimpulkan bahwa: (1) kapasitas pengangkatan jangkar persegi panjang di pasir padat meningkat dengan menurunnya rasio aspek L/B; (2) terdapat perbedaan signifikan antara kapasitas angkur horisontal dengan permukaan kasar dan yang memiliki permukaan halus yang dipoles (sebanyak 15%); (3) jangkar dengan rasio aspek L/B = 10 berperilaku seperti strip dan tidak berbeda jauh dengan jangkar dengan L/B = 5; dan (4) kapasitas jangkar melingkar di pasir padat kira-kira 1,26 kali kapasitas jangkar persegi. Beberapa kesimpulan ini mengkonfirmasi temuan Rowe (1978). Juga menarik untuk dicatat bahwa untuk semua pengujian yang dilakukan oleh Murray dan Geddes, tidak ada kedalaman penancapan kritis yang teramati.

1.3 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul dan sumber	Kajian
1.	Abdollah Tabaroei, Vahab Sarfarazi, Majid Pouraminian, Danial Mohammadzadeh S. (Tabaroei et al., 2022)	Evaluation of Behavior of a Deep Excavation by Threedimensional Numerical Modeling https://pp.bme.hu/ci/article/download/20353/9461/123629	Ketika $D_e = 16$ m, variasi susunan ground anchor secara signifikan mempengaruhi nilai maximum surface settlement (δ_{vm}) dibandingkan dengan δ_{hm} . Hasil yang disajikan dalam penelitian ini dapat membantu desainer tanpa pengalaman dan informasi tentang desain sebelumnya.
2.	Weizheng Liu, Tianxiong Li and Jiale Wan	Deformation Characteristic of a Supported Deep Excavation System: A Case	Model numerik tiga dimensi dibuat untuk menganalisis tegangan tambahan dan deformasi

No	Penulis	Judul dan sumber	Kajian
	(Liu et al., 2021)	Study in Red Sandstone Stratum https://doi.org/10.3390/app12010129	yang disebabkan oleh penggalian dan keakuratan model FEM diverifikasi dengan membandingkan dengan hasil pengukuran lapangan. Baik hasil pengukuran maupun simulasi numerik menunjukkan bahwa deformasi jangkar tiang yang didukung penggalian dalam sangat dipengaruhi oleh efek spasial.
3.	Gang Lei , Panpan Guo , Fucai Hua, Xiaonan Gong, and Lina Luo (Lei et al., 2021)	Observed Performance and FEM-Based Parametric Analysis of a Top-Down Deep Excavation in SoilRock Composite Stratum https://www.hindawi.com/journals/geofluids/2021/6964940/	Direkomendasikan bahwa kombinasi dari metode top-down, ground anchor, dan end-suspended pile dapat diadopsi untuk menahan deformasi penggalian dan menurunkan biaya konstruksi untuk penggalian dalam serupa pada stratum komposit tanah-batuan.
4.	Cun Hu, Junfeng Chen, Chun Fai Leung, Yean Khow Chow and Zhichuan Li (Hu et al., 2021)	Pull-Out Mechanism of Horizontal and Inclined Plate Anchors in Normally Consolidated Clay https://doi.org/10.3390/jmse9101103	Kontribusi hisap yang signifikan terhadap kapasitas penarikan akhir dari angkur pelat dihitung dengan memantau ketahanan tanah dan tekanan pori di bawah dasar angkur dalam kondisi tidak terdrainase. Dengan membandingkan respon tarik jangkar horizontal dan miring, pengaruh kemiringan

No	Penulis	Judul dan sumber	Kajian
			jangkar pada kapasitas jangkar dan mekanisme keruntuhan dievaluasi.
5.	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 https://publikasiilmiah.ums.ac.id/bitstream/handle/11617/12141/Prosiding%20Semnas%20Teknik%20Sipil%20UMS%202020-148-155.pdf?sequence=1	perubahan peningkatan luasan setiap model angkur ke masing-masing kedalaman, mengalami kenaikan beban tarik yang signifikan. Akan tetapi pada perubahan peningkatan kedalaman masing-masing variasi angkur, tidak mengalami kenaikan beban tarik yang signifikan. Ini menandakan bahwa, angkur model tipe lipat tidak perlu didesain terlalu dalam. Masing-masing variasi luasan memiliki suatu batasan kritis dimana meskipun kedalaman ditambah tidak lagi akan dengan sendirinya bisa menambah kapasitas tarik maksimum yang lebih besar. Hal ini juga menunjukkan bahwa angkur ini sangat mudah dalam pemasangan dengan menggunakan peralatan yang sederhana di lapangan tanpa menggali atau mengebor tanah
6.	Yongki Bandaso (BANDASO, 2020)	Studi Kapasitas Tarik Angkur Lipat Terhadap Kedalaman Tanah	Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan kapasitas tarik angkur yang terjadi

No	Penulis	Judul dan sumber	Kajian
		http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/1746/2/D11115031_skripsi%20%201-2.pdf	sangat berbeda-beda sesuai variasi kedalaman dan dari data menunjukkan bahwa kedalaman 900 mm memiliki nilai kapasitas tarik yang paling besar.
7.	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 https://doi.org/10.22146/jcef.47514	Mereka memodelkan panjang ikatan angkur pada kedalaman yang paling efisien dan mengamati perpindahan angkur, dengan menggunakan Plaxis v.8.6. Mereka menemukan bahwa meskipun angkur diperpanjang kedalamannya, tidak terjadi perubahan yang signifikan dalam perpindahan angkur, momen, dan gaya geser maksimum. Ini menunjukkan bahwa panjang angkur yang ditanam tidak perlu terlalu dalam dan disesuaikan kebutuhan beban tarik yang diperlukan.
8.	Anas Puri (Puri, 2020)	Analisis Numerik Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Tiang Tunggal menggunakan Tiang Pipa Baja pada Tanah Lunak https://doi.org/10.14710/mkt.s.v25i2.19098	Hasil penelitian menunjukkan bahwa tiang pipa baja dapat digunakan sebagai paku pada perkerasan sistem pelat terpaku, namun dengan dimensi yang lebih besar dibanding tiang beton masif. Tegangan geser efektif

No	Penulis	Judul dan sumber	Kajian
			maksimum bekerja pada tanah tidak melampaui kuat geser undrained tanah di bawah beban roda standar 40 kN. Secara umum tanah tidak mengalami keruntuhan.
9.	Levina Anatasya (Anatasya, 2020)	Eksperimen Pullout Test Hammer Drive Anchor M10x120mm Dengan Jarak Angkur Tepi Kritis Melalui Metode Pemasangan Cast In Place Dan Post Installed http://lib.unnes.ac.id/42685/1/5113416002.pdf	Hasil penelitian kapasitas tarik angkur dengan metode cast-in place didapatkan rata-rata kuat cabut angkur 38,87 kN dengan rata-rata angkur tercabut sebesar 8,04 mm. Sedangkan, kapasitas tarik angkur dengan metode post installed didapatkan rata-rata kuat cabut angkur 35,93 kN dengan rata-rata angkur tercabut sebesar 5,67 mm. Dari enam pengujian, 83% kegagalan yang terjadi adalah tercabutnya angkur dari beton (pullout failure) sisanya terjadi karena faktor lain.
10.	Marsaulina Hutajulu, Johannes Tarigan, Perwira Tarigan (Hutajulu et al., 2019)	Analisa Pushover dan Eksperimen Struktur Portal dengan Dinding Batubata dengan Menggunakan Angkur pada Kolom dan Balok pada Non Engineered Building https://doi.org/10.14710/mkt.s.v24i2.19914	Berdasarkan temuan di hampir semua gempa yang menimpa wilayah Indonesia, bangunan yang mengalami kerusakan dan roboh adalah rumah sederhana (non engineered building). Dimana bangunan dibangun berdasarkan pengalaman praktis tanpa perhitungan

No	Penulis	Judul dan sumber	Kajian
			struktur. Salah satu bentuk kerusakan pada komponen non-struktur dan struktur adalah hubungan antara kolom dan dinding bata, dimana terjadi retak dan pemisahan antara kolom dan dinding akibat tidak ada angkur (stek). Untuk mengetahui berapa besar beban gempa yang dapat membuat benda uji yang menggunakan angkur mengalami keruntuhan maka di lakukan analisis pushover secara numerik dan eksperimen Dari hasil numerik diperoleh beban (pushover) 7490 kg dan displacement 16,7 mm, sedangkan dari hasil eksperimen diperoleh beban (pushover) 7.540 kg dan displacement 56,5 mm. Hasil numerik dan eksperimen sangat mendekati yaitu 99,34%.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan skala penuh lapangan di tanah pasir (non-koheisif), Lokasi pengujian di Pantai Lakotong, Kabupaten Takalar. Waktu penelitian pada bulan Januari sampai Maret 2024.



Gambar 9 Lokasi penelitian, Pantai Lakotong, Kabupaten Takalar

2.2 Rancangan Penelitian

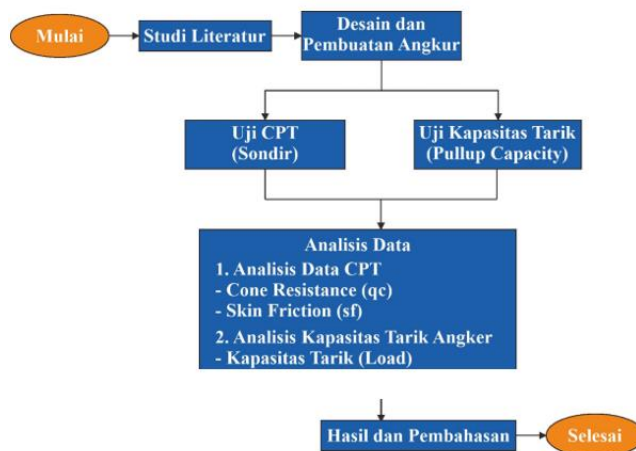
Ada beberapa cara untuk mengevaluasi kekuatan tarik angkur tanah (ground anchor), diantaranya pendekatan teoretis, uji numerik, uji model, dan uji lapangan skala penuh. Dalam penelitian ini akan dilakukan uji lapangan skala penuh, untuk mengetahui kapasitas tarik angkur lipat ganda dan korelasi parameter 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 pasir dan pengaplikasian angkur tanah dalam menahan gaya tarik miring.
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 miring angkur lipat, dilakukan dengan alat CPT-hidrolik yang telah dimodifikasi dan pengambilan data berupa kapasitas tarik angkur dan perpindahan yang terjadi.
5. Analisis data, berupa hasil uji CPT (Cone Penetration Test) dan kapasitas tarik miring angkur berdasarkan variasi sudut penarikan angkur dan variasi kedalaman angkur.
6. Penyajian data dan hasil analisis dari kinerja angkur tanah lipat tunggal pada tanah pasir (non kohesif) berdasarkan variasi sudut penarikan angkur dan variasi kedalaman angkur.

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 diilustrasikan dalam bentuk bagan alir seperti pada Gambar 10 untuk mempermudah pemahaman dari proses maupun alur dari penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 10 Bagian alir penelitian

2.3 Rancangan Model Sampel dan Data Penelitian

1. Persiapan Pengujian

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

2. Persiapan Alat

Beberapa peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian kapasitas tarik miring angkur tipe lipat tunggal seperti pada Gambar 11 diantaranya :

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



Gambar 11 Alat Uji CPT (Cone Penetration Test)
Gambar 6 Alat Uji CPT (Cone Penetration Test)

3. 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.

2.4 Metode Pengujian dan Analisis Data

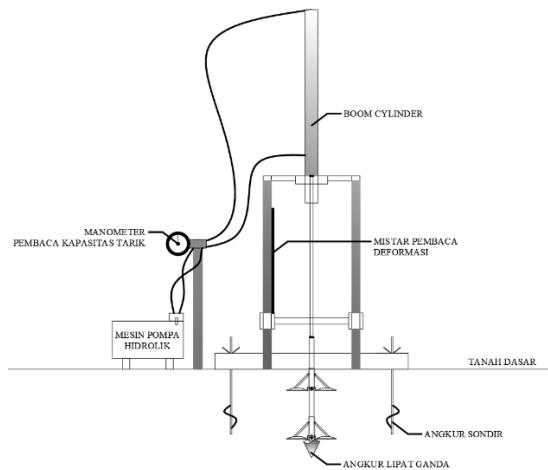
1. Metode Pengujian CPT

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”

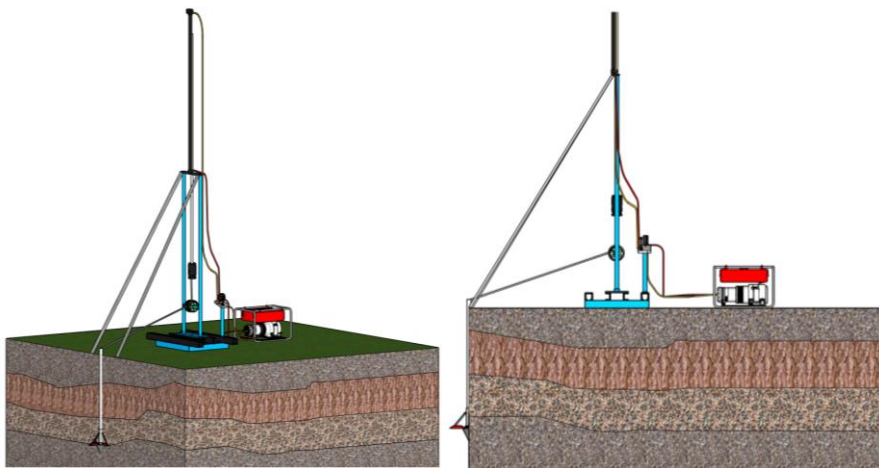
2. Metode Pengujian Kapasitas Tarik Miring

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:

- Pemasangan alat CPT-hidrolik
- Penempatan angkur tanah lipat tunggal pada titik uji, sebelumnya dilakukan penggalian ± 50 cm untuk media penyaluran angkur dan memastikan dalam posisi tertutup.
- Memasukkan angkur ke dalam tanah dengan cara menekan batang sondir yang sudah tersambung angkur lipat sampai pada kedalaman tertentu. Proses ini dilakukan sampai pada kedalaman yang dikehendaki atau sampai angkur telah sulit berpenetrasi ke dalam tanah.
- Selanjutnya melakukan uji kapasitas tarik miring, dengan menarik miring ke atas batang angkur dan melakukan pembacaan pada manometer tegangan tarik.
- Pembacaan tegangan tarik dilakukan tiap 1 cm sampai tegangan konstan dan dilanjutkan pembacaan tiap 1 cm sampai angkur tertarik keluar (pull out).



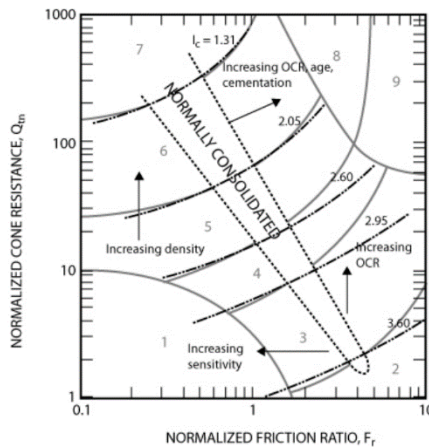
Gambar 12 Ilustrasi pemasangan angkur tanah tipe lipat



Gambar 13 Ilustrasi pengujian kapasitas tarik miring angkur lipat

3. Analisis data CPT (Cone Penetration Test) dan Kapasitas Tarik

Analisis yang dilakukan untuk elaborasi data hasil uji CPT adalah dengan mencari nilai tahanan konus dan geseran total (f_s) untuk memberikan gambaran kekuatan tanah (soil resistance) dan rasio friksi (f_r) untuk mengetahui jenis perilaku tanah seperti pada Gambar 13.



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

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

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.

8. $P_u = \sigma \times A_p$ (17)

9. dimana :

10. P_u = gaya ultimate (kg)

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

12. A_p = luas penampang piston CPT yang digunakan = 18,0956 cm^2

13. Hasil analisis kapasitas tarik dituangkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 18 yang memberikan gambaran hubungan antara gaya tarik miring dan deformasi.