

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fondasi merupakan bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang ada di bawahnya (Hardiyatmo, 2020), ini adalah elemen struktural yang sangat penting dalam sistem konstruksi bangunan. Keandalan fondasi menentukan kestabilan dan keamanan bangunan secara keseluruhan. Dalam proyek konstruksi gedung bertingkat, jembatan, dan infrastruktur lainnya, jenis fondasi dalam seperti bored pile sering menjadi pilihan utama. Fondasi bored pile mampu menembus lapisan tanah lunak hingga mencapai tanah keras di kedalaman yang dibutuhkan, serta dapat menahan beban vertikal yang besar.

Fondasi bored pile dibentuk melalui proses pengeboran tanah hingga kedalaman tertentu, kemudian diisi dengan tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton (Hardiyatmo, 2020). Salah satu faktor yang mempengaruhi daya dukung fondasi adalah karakteristik geoteknik tanah di sekitar tiang, jika struktur tanahnya lunak maka daya dukung (bearing capacity) yang dihasilkan akan rendah. Tanah lunak atau kohesif merupakan jenis tanah yang memiliki karakteristik kekuatan geser rendah, kompresibilitas tinggi, permeabilitas rendah, dan konsistensi lemah (Hardiyatmo, 2020). Ciri-ciri ini menyebabkan tanah kohesif memiliki daya dukung yang relatif kecil untuk menopang beban struktur. Dalam kondisi ini, tekanan dari struktur bangunan yang diteruskan ke lapisan tanah dapat menyebabkan deformasi yang signifikan, seperti penurunan (settlement) atau bahkan keruntuhan geser. Oleh karena itu, pemilihan sistem fondasi pada tanah kohesif memerlukan perhatian khusus untuk memastikan bahwa beban struktur dapat didistribusikan secara aman ke lapisan tanah yang lebih stabil di bawahnya (Hardiyatmo, 2020). Karakteristik tanah kohesif tersebut juga menjadi tantangan tersendiri, terutama untuk fondasi dalam seperti bored pile yang sangat mengandalkan tahanan gesek sepanjang tiang (skin friction). Pada tanah kohesif yang lunak atau jenuh kontribusi gesekan samping bisa berkurang secara signifikan akibat rembesan air dan tekanan pori yang tinggi.

Selain karakteristik geoteknik tanah di sekitar tiang, daya dukung fondasi juga dipengaruhi oleh beberapa parameter teknis, antara lain diameter tiang (D) dan kedalaman tiang atau panjang fondasi (L). Salah satu parameter rasional dalam perencanaan teknis fondasi adalah rasio antara diameter terhadap kedalaman fondasi atau dikenal dengan D/L rasio. Rasio ini memberikan gambaran proporsional antara luas penampang tiang terhadap panjang total tiang yang berfungsi sebagai media transfer beban melalui mekanisme tahanan ujung dan gesekan tanah sepanjang tiang.

Dalam perencanaan fondasi pada tanah kohesif, pemilihan rasio D/L yang tepat menjadi sangat krusial. Jika rasio diameter terhadap kedalaman tidak dirancang secara optimal, maka kapasitas daya dukung tiang dapat menjadi tidak efisien atau bahkan gagal memenuhi kebutuhan beban struktur di atasnya. Oleh karena itu, pemahaman mengenai hubungan antara rasio D/L terhadap daya dukung tiang menjadi kunci dalam merancang fondasi yang aman, efisien, dan ekonomis.

Berbagai studi sebelumnya telah membahas pengaruh rasio D/L terhadap kapasitas daya dukung bored pile. Shalabi et al. (2023) melakukan analisis elemen hingga 3D melalui perangkat lunak ABAQUS untuk mengevaluasi interaksi antara tiang bor beton, pile cap, dan tanah pasir di bawah beban aksial. Tanah dimodelkan dengan plastisitas Mohr-Coulomb dan tiang sebagai material elastis. Analisis menunjukkan bahwa peningkatan rasio panjang terhadap diameter (L/D) menurunkan tekanan pada pile cap namun meningkatkan kontribusi tekanan ujung tiang terhadap daya dukung total. Selain itu, tekanan ujung tiang juga meningkat seiring kenaikan rasio kekakuan relatif tanah terhadap tiang (E_s/E_p).

Penelitian lainnya oleh Xi et al. (2022) melakukan penelitian eksperimental dan numerik untuk mengkaji pengaruh rasio panjang terhadap diameter (L/D) serta keberadaan mudcake terhadap kapasitas daya dukung bored pile. Dengan variasi rasio L/D (10, 14, 24) dan ketebalan mudcake (0 dan 0,5 mm), hasil menunjukkan bahwa peningkatan rasio L/D dapat mereduksi dampak negatif mudcake terhadap penurunan dan tahanan ujung, sehingga meningkatkan kapasitas ultimit tiang.

Berbagai penelitian terdahulu telah membahas pengaruh diameter dan kedalaman fondasi bored pile terhadap kapasitas daya dukung. Beberapa diantaranya meninjau variasi diameter, kedalaman, atau jarak antar tiang, namun belum ada studi yang secara spesifik dan sistematis menganalisis pengaruh rasio diameter terhadap kedalaman (D/L) pada kelompok tiang terutama dalam rentang variasi rasio yang luas dan bertahap di tanah kohesif. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis pengaruh variasi rasio diameter terhadap kedalaman dalam menentukan kapasitas daya dukung tiang tunggal maupun kelompok tiang pada kondisi tanah kohesif. Penelitian ini diberi judul **“ANALISIS PENGARUH RASIO DIAMETER TERHADAP KEDALAMAN FONDASI BORED PILE DALAM MENENTUKAN KAPASITAS TIANG TUNGGAL DAN KELOMPOK TIANG PADA TANAH KOHESIF”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang menjadi dasar penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi rasio diameter terhadap kedalaman (D/L) fondasi bored pile terhadap kapasitas daya dukung tiang tunggal pada tanah kohesif?
2. Bagaimana pengaruh variasi rasio diameter terhadap kedalaman (D/L) fondasi bored pile terhadap kapasitas daya dukung kelompok tiang pada tanah kohesif?
3. Bagaimana pengaruh efisiensi kelompok tiang terhadap variasi rasio D/L ?
4. Bagaimana rekomendasi perencanaan dimensi bored pile yang optimal berdasarkan rasio D/L pada tanah kohesif?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh variasi rasio diameter terhadap kedalaman (D/L) terhadap kapasitas daya dukung tiang tunggal bored pile pada tanah kohesif.
2. Menganalisis pengaruh variasi rasio diameter terhadap kedalaman (D/L) fondasi bored pile terhadap kapasitas daya dukung kelompok tiang pada tanah kohesif.
3. Menganalisis pengaruh efisiensi kelompok tiang terhadap variasi rasio D/L .
4. Memberikan rekomendasi teknis mengenai rasio D/L yang optimal dalam perencanaan fondasi bored pile pada tanah kohesif.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik dari segi teoritis maupun praktis, sebagai berikut:

1. Manfaat Akademik (Teoritis)
 1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang geoteknik, khususnya terkait hubungan antara rasio diameter terhadap kedalaman bored pile dan kapasitas daya dukung pada tanah kohesif.
 2. Menjadi referensi atau acuan bagi mahasiswa, peneliti, dan akademisi lain dalam melakukan studi sejenis mengenai perencanaan fondasi dalam pada tanah kohesif.

2. Manfaat Praktis

Memberikan informasi dan rekomendasi teknis bagi perencana atau praktisi teknik sipil dalam menentukan dimensi bored pile yang efisien dan aman, terutama dalam kondisi tanah kohesif yang umum dijumpai di lapangan.

1.3.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini memiliki fokus yang jelas dan terarah, maka ditetapkan beberapa batasan sebagai berikut:

- 1 Jenis fondasi yang diteliti terbatas pada fondasi bored pile (tiang bor).
- 2 Jenis tanah yang dianalisis adalah tanah lempung (kohesif) dengan parameter diperoleh dari data SPT (Standard Penetration Test) dan pengujian di laboratorium.
- 3 Variasi rasio diameter terhadap kedalaman (D/L) yang dianalisis berkisar antara 0,03 hingga 0,2 dengan variasi diameter tiang 0,6 m, 0,8 m, 1,0 m, 1,2 m, 1,5 m, 1,8 dan 2,0 m, serta kedalaman maksimum hingga 20 m.
- 4 Perhitungan kapasitas daya dukung menggunakan metode empiris berdasarkan pendekatan Meyerhof 1956 serta didukung oleh analisis kelompok tiang dengan koreksi efisiensi.
- 5 Pengaruh beban vertikal, lateral, momen, dan dinamik (gempa) tidak dianalisis dalam penelitian ini, analisis hanya difokuskan pada rasio diameter terhadap kedalaman (D/L) dalam menentukan kapasitas daya dukung tiang tunggal maupun kelompok tiang pada tanah lempung (kohesif).
- 6 Pengaruh kekakuan tiang (stiffness) dan rasio kelangsingan (slenderness ratio, L/D) tidak diperhitungkan. Tiang bored pile diasumsikan bersifat kaku (rigid pile) sehingga tidak terjadi tekuk atau deformasi lateral yang signifikan. Analisis difokuskan hanya pada kapasitas daya dukung aksial bored pile akibat variasi rasio diameter terhadap kedalaman (D/L) pada tanah kohesif.
- 7 Tidak mencakup analisis biaya maupun estimasi waktu pelaksanaan, melainkan terbatas pada aspek teknis perhitungan kapasitas daya dukung fondasi bored pile terhadap variasi rasio D/L.
- 8 Analisis kelompok tiang dilakukan pada area fondasi seluas 30 x 12 meter, dan jarak antar tiang dirancang sebesar 3 kali diameter tiang (3D).

Dengan batasan tersebut, diharapkan hasil penelitian ini memiliki tingkat relevansi yang tinggi terhadap tujuan penelitian dan dapat menghasilkan simpulan yang fokus serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

1.4 Studi Terdahulu

Penelitian terkait pengaruh rasio diameter terhadap kedalaman fondasi bored pile telah banyak dilakukan, baik di dalam maupun luar negeri. Berikut ini adalah beberapa studi yang relevan dan menjadi acuan dalam penyusunan penelitian ini:

- 1 Shalabi et al. (2023), melakukan penelitian dengan judul **3D FE Analysis of Bored Pile – Pile Cap Interaction in Sandy Soils Under Axial Compression – Parametric Study**. Menggunakan analisis elemen hingga 3D melalui perangkat lunak ABAQUS untuk mengevaluasi interaksi antara tiang bor beton, pile cap, dan tanah pasir di bawah beban aksial. Tanah dimodelkan dengan plastisitas Mohr-Coulomb dan tiang sebagai material elastis. Analisis menunjukkan bahwa peningkatan rasio panjang terhadap diameter (L/D) menurunkan tekanan pada pile cap namun meningkatkan kontribusi tekanan ujung tiang terhadap daya dukung total. Selain itu, tekanan ujung tiang juga meningkat seiring kenaikan rasio kekakuan relatif tanah terhadap tiang (E_s/E_p).
- 2 Xi et al. (2022), melakukan penelitian dengan judul **Model Test and Numerical Simulation Study on the Effect of Mudcake and Length Diameter Ratio on the Bearing Capacity of Bored Cast-in-Place Pile**. Penelitian eksperimental dan numerik dilakukan untuk mengkaji pengaruh rasio panjang terhadap diameter (L/D) serta keberadaan mudcake terhadap kapasitas daya dukung bored pile. Dengan variasi rasio L/D (10, 14, 24) dan ketebalan mudcake (0 dan 0,5 mm), hasil menunjukkan bahwa peningkatan rasio L/D dapat mereduksi dampak negatif mudcake terhadap penurunan dan tahanan ujung, sehingga meningkatkan kapasitas ultimit tiang.
- 3 Mali and Singh (2021), melakukan penelitian dengan judul **Assesing the Effect of Governing Parameters of Bearing Capacity Determination of Small Piled Rafts on Clay Soil** melakukan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS 3D untuk menganalisis pengaruh parameter desain seperti panjang, diameter, jarak, dan jumlah tiang terhadap perilaku daya dukung fondasi sistem piled raft. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan parameter geometri seperti panjang dan diameter tiang dapat meningkatkan kapasitas daya dukung serta mengurangi penurunan fondasi.
- 4 Ibrahim et al. (2012), melakukan penelitian dengan judul **Assessment of load-carrying capacity of bored pile using different methods**. Sebuah studi yang dilakukan di Khartoum, Sudan, memanfaatkan pendekatan simulasi menggunakan BS 8004, Monte Carlo dengan MATLAB, dan PLAXIS untuk mengevaluasi kapasitas daya dukung empat tiang bor dengan panjang dan beban berbeda. Penelitian ini menekankan bahwa

prediksi kapasitas daya dukung tiang sangat dipengaruhi oleh kondisi lapangan, metode konstruksi, serta geometri tiang, sehingga pengujian beban in-situ sangat diperlukan. Hasil studi ini memberikan rekomendasi parameter desain dan faktor keamanan yang relevan, serta mendukung pentingnya validasi desain tiang melalui kombinasi metode teoritis dan numerik yang sejalan dengan tujuan penelitian ini dalam mengevaluasi pengaruh parameter geometrik terhadap kapasitas tiang bor.

- 5 Suhendra dan Winata (2023), melakukan penelitian dengan judul **Analysis Study of Large Diameter Bored Pile Bearing Capacity**. Analisis terhadap kapasitas daya dukung bored pile berdiameter besar pada proyek Apartemen B Residence di Jakarta dengan membandingkan berbagai konfigurasi tiang tunggal dan kelompok menggunakan perangkat lunak ALLPile dan PLAXIS 3D. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan diameter tiang berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kapasitas daya dukung dan penurunan yang lebih kecil.
- 6 Jamil dan Siregar (2023), melakukan penelitian dengan judul **Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor (Bored Pile) Berdasarkan Data Penetrasi Standar (SPT) dan Data Sondir (CPT)**. Metode yang digunakan adalah Mayerhof dan Nottingham serta Schmertmann. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi diameter dan kedalaman tiang terhadap daya dukung. Hasilnya menunjukkan bahwa diameter 0,8 m dan kedalaman 10-15 m memberikan daya dukung optimum, dengan peningkatan lebih dari 140% dibandingkan diameter 0,5 m.
- 7 Khairunnisa (2025), melakukan penelitian dengan judul **Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data SPT pada Proyek Pembangunan RSUD Kota Yogyakarta**. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi diameter terhadap daya dukung kelompok tiang dengan kedalaman yang sama menggunakan metode Reese & Wright, metode Mayerhoof, dan analisis penurunan menggunakan metode elemen hingga (Plaxis 2D). Ia menemukan bahwa pada metode Reese & Wright rasio diameter terhadap kedalaman terbesar (0.05) menghasilkan daya dukung paling maksimal sementara pada metode Mayerhoof daya dukung maksimal justru diperoleh dari rasio 0.04. Untuk penurunan minimum pada metode Mayerhoof terjadi pada rasio maksimal (0.05) dan pada metode Reese & Wright penurunan minimum terjadi pada rasio 0,04.
- 8 Zikri (2019), melakukan penelitian dengan judul **Pengaruh Jarak Tiang Terhadap Kapasitas Dukung Pondasi Bored Pile Dengan Metode Reese & O'Neil, Brom, Poulus & Davis dan Elemen Hingga**. Penelitian pada proyek pembangunan Swiss-Belhotel Solo menganalisis kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan diameter 1meter menggunakan variasi jarak antar tiang sebesar 2,5D, 4D, dan 5D. Analisis dilakukan dengan metode numerik (Reese & O'Neil, Brom, dan Poulus & Davis) serta

metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar jarak antar tiang, maka kapasitas dukung kelompok tiang juga meningkat secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa jarak antar tiang merupakan parameter penting dalam optimasi desain fondasi kelompok tiang bor.

Dengan merujuk berbagai studi tersebut, dapat disimpulkan bahwa rasio diameter terhadap kedalaman memberikan pengaruh signifikan terhadap daya dukung tiang. Ringkasan studi terdahulu dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Ringkasan studi terdahulu

No	Penulis	Tahun	Metode	Judul Penelitian	Temuan Utama	Relevansi Terhadap Penelitian
1	Shalabi, et al.	2023	Simulasi numerik berbasis 3D Finite Element (ABAQUS)	3D FE Analysis of Bored Pile – Pile Cap Interaction in Sandy Soils Under Axial Compression – Parametric Study	Kapasitas daya dukung meningkat seiring bertambahnya rasio panjang terhadap diameter (L/D).	Menunjukkan pengaruh rasio D/L terhadap kapasitas daya dukung fondasi bored pile
2	Xi, P. et al.	2022	Eksperimen laboratorium dan numerik	Model Test and Numerical Simulation Study on the Effect of Mudcake and Length-Diameter Ratio on the Bearing Capacity of Bored Cast-in-Place Piles	Semakin besar rasio L/D, pengaruh negatif mudcake terhadap daya dukung dan penurunan menjadi lebih terkendali.	Menganalisis pengaruh rasio kedalaman terhadap diameter (L/D) terhadap kapasitas daya dukung fondasi bored pile.
3	Mali, S. et al.	2021	Simulasi numerik menggunakan PLAXIS 3D	Assesing the Effect of Governing Parameters of Bearing Capacity Determination of Small Piled Rafts	Daya dukung meningkat seiring dengan bertambahnya panjang dan diameter tiang, serta jumlah dan jarak antar tiang.	Menunjukkan pengaruh diameter dan panjang tiang terhadap daya dukung dan penurunan.
4	Ibrahim, AM. et al	2012	Simulasi numerik menggunakan PLAXIS 2D, MATLAB	Assessment of load-carrying capacity of bored pile using different methods	Lebih dari 94% beban vertikal dipikul oleh tahanan gesekan sisi.	Mengkaji kapasitas daya dukung bored pile dalam tanah lempung dengan pendekatan.

Lanjutan Tabel 1.

No	Penulis	Tahun	Metode	Judul Penelitian	Temuan Utama	Relevansi Terhadap Penelitian
5	Suhendra dan Winata.	2023	Komparatif Numerik menggunakan ALLPile, Bored Pile PLAXIS 3D Bearing Capacity	Analysis Study of Large Diameter Pile Bearing Capacity	Semakin besar diameter semakin tinggi kapasitasnya dan semakin kecil penurunannya.	Memberikan data pendukung empiris terhadap pengaruh diameter terhadap performa fondasi.
6	Jamil dan Siregar.	2023	Metode Mayorhof, Nottingham dan Schmertmann	Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor (Bored Pile) Berdasarkan Data Penetrasi Standar (SPT) dan Data Sondir (CPT)	Daya dukung optimum ditemukan pada diameter 0.8 m kedalaman 10-15 m, kenaikan kapasitas >140% jika dibandingkan dengan diameter 0.5 m.	Menunjukkan bahwa variasi rasio diameter terhadap kedalaman berpengaruh langsung pada daya dukung fondasi.
7	Khairunnisa, J.	2025	Mayerhof & Reese & Wright	Analisis Daya Dukung Fondasi Bored Pile Berdasarkan Data SPT Pada Proyek Pembangunan RSUD Koya Yogyakarta	Pada metode Reese & Wright peningkatan rasio D/L berbanding lurus dengan peningkatan kapasitas daya dukung tiang kelompok, namun pada metode Mayerhof tidak demikian.	Menunjukkan pengaruh rasio D/L terhadap kapasitas daya dukung fondasi bored pile
8	Zikri, N.F	2019	Reese & Oneil, Brom, Poulus & Davis	Pengaruh Jarak Tiang Terhadap Kapasitas Dukung Fondasi Bored Pile Dengan Metode Reese & O'Neil, Brom, Poulus & Davis	Semakin besar jarak antar tiang (s) semakin besar kapasitas dukung kelompok tiang. Kapasitas tertinggi dicapai pada jarak antar tiang 5D.	Membahas variasi parameter geometrik (jarak antar tiang) yang mempengaruhi efisiensi kelompok bored pile

1.5 Kerangka Pikir Penelitian

Dalam perencanaan struktur bawah, pemilihan dimensi fondasi bored pile sangat krusial karena berkaitan langsung dengan kapasitas daya dukung fondasi. Kapasitas ini dipengaruhi oleh diameter dan kedalaman tiang, terutama dalam kondisi tanah lempung yang memiliki sifat kohesif dan rentan terhadap konsolidasi jangka panjang.

Secara teoritis, kapasitas daya dukung tiang terdiri dari dua komponen utama, yaitu:

- 1 Tahanan ujung (end bearing) – tergantung pada luas ujung tiang dan kekuatan tanah di bawahnya.
- 2 Tahanan gesek (skin friction) – tergantung pada luas permukaan sisi tiang yang berinteraksi dengan tanah.

Rasio antara diameter (D) terhadap kedalaman (L) atau sering dinyatakan sebagai D/L , merupakan parameter yang sangat penting karena menentukan:

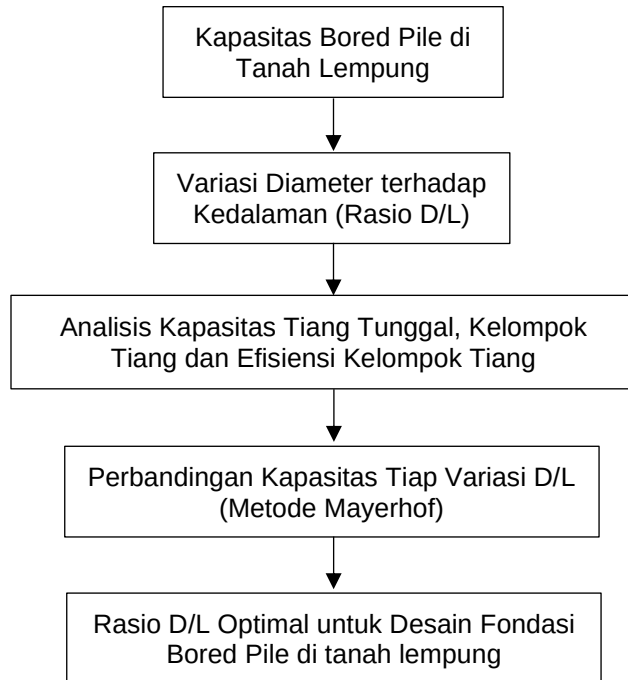
- 1 Luas permukaan kontak tiang terhadap tanah (mempengaruhi gesekan);
- 2 Kedalaman penetrasi terhadap lapisan tanah keras (mempengaruhi tahanan ujung);
- 3 Efisiensi struktur (kaitan antara kapasitas dan volume material).

Dalam kondisi tanah lempung, tahanan gesek cenderung lebih dominan dibandingkan tahanan ujung, sehingga perubahan diameter atau kedalaman akan berdampak berbeda dibandingkan pada tanah granular. Maka dari itu, analisis pengaruh variasi rasio D/L terhadap kapasitas daya dukung perlu dilakukan baik untuk:

- 1 Tiang tunggal, guna mengetahui kapasitas individual,
- 2 Kelompok tiang, untuk memahami interaksi antar tiang dan efisiensi kelompok.

Penelitian ini menggunakan metode empiris (Meyerhof 1956) dengan input data tanah NSPT, serta membandingkan kapasitas tiang pada berbagai kombinasi diameter dan kedalaman. Hasilnya akan digunakan untuk menentukan rasio D/L yang optimal dalam perencanaan fondasi bored pile pada tanah kohesif.

Kerangka pikir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif dengan menganalisis pengaruh rasio diameter terhadap kedalaman fondasi bored pile (D/L) terhadap kapasitas daya dukung tiang tunggal dan kelompok tiang pada tanah lempung.

2.2 Metode Pendekatan

Penelitian menggunakan pendekatan analitis dan empiris berdasarkan metode perhitungan Meyerhof 1956. Seluruh analisis dilakukan secara manual dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel untuk menyusun tabel, grafik, dan menghitung daya dukung tiang.

2.3 Lokasi dan Sumber Data

Data sekunder yang digunakan diperoleh dari hasil penyelidikan tanah (SPT) pada lokasi tertentu dengan karakteristik tanah lempung. Data ini meliputi nilai N-SPT, jenis tanah per lapisan, dan kedalaman lapisan tanah keras yang diperlukan untuk perhitungan daya dukung fondasi.

2.4 Tahapan Penelitian

- 1 Studi literatur
Menelaah teori dan hasil penelitian terdahulu terkait bored pile, tanah lempung, rasio D/L, dan metode perhitungan daya dukung tiang.
- 2 Pengumpulan data tanah
Menggunakan data N-SPT dan informasi lapisan tanah untuk mengidentifikasi parameter-parameter perhitungan daya dukung.
- 3 Penentuan variasi dimensi tiang
Menentukan beberapa kombinasi diameter (D) dan kedalaman (L) tiang bored pile yang umum digunakan, misalnya diameter 0,6 m sampai dengan 2 m dengan kedalaman 10 m hingga 20 m.
- 4 Perhitungan daya dukung tiang tunggal
Menggunakan metode Meyerhof 1956, daya dukung dihitung berdasarkan tahanan ujung (end bearing) dan tahanan gesek (skin friction), dengan pendekatan berbasis N-SPT.
- 5 Perhitungan daya dukung kelompok tiang dan efisiensinya
Menggunakan rumus empiris dan faktor efisiensi berdasarkan konfigurasi tiang dengan asumsi jarak antar tiang 3 kali diameter tiang (3D).

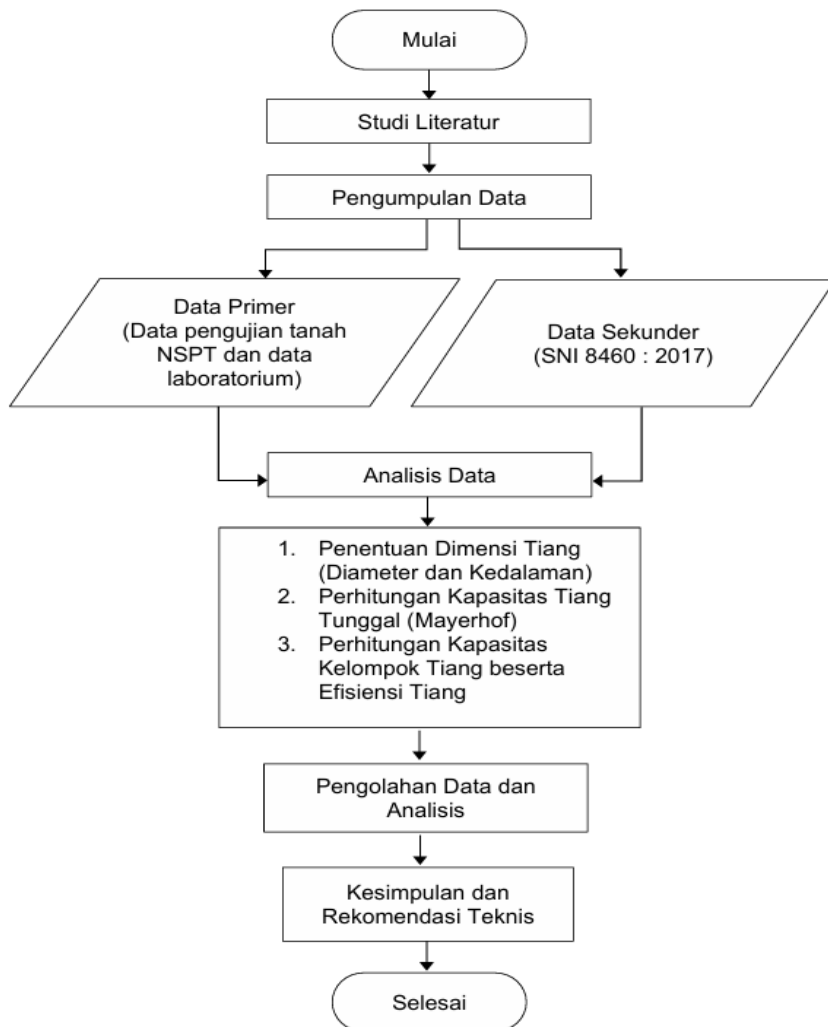
6 Pengolahan data analisis

Hasil perhitungan dikompilasi dalam bentuk tabel dan grafik menggunakan Microsoft Excel untuk melihat pengaruh rasio D/L terhadap kapasitas tiang.

7 Penyusunan kesimpulan

Menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan memberikan rekomendasi teknis untuk perencanaan pondasi bored pile di tanah lempung.

Tahapan penelitian secara sistematis disajikan pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Flowchart penelitian

2.5 Metode Perhitungan

2.5.1 Koreksi N-SPT Akibat Pengaruh Prosedur Lapangan

$$N_{60} = (1/0,6) \times (E_f \times C_b \times C_s \times C_r \times N) \quad (1)$$

(Sumber: *Hardiyatmo (2020)*, halm. 69)

Dimana:

- N_{60} = N-SPT koreksi
- E_f = Efisiensi pemukul
- C_b = Koreksi diameter lubang bor
- C_s = koreksi oleh tipe tabung sampler
- C_r = Koreksi untuk panjang batang bor
- N = Nilai N-SPT hasil uji lapangan

Koefisien E_f untuk menghitung koreksi N-SPT akibat efisiensi pemukul ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah:

Tabel 2. Efisiensi Pemukul (E_f)

Negara	Tipe Pemukul	Mekasnisme pelepasan pemukul	Efisiensi pemukul, E_f
Argentina	Donat	Cathead	0,45
Brasilia	Pin weight	Dilepas tangan	0,72
China	Otomatis	Trip	0,60
	Donat	Dilepas tangan	0,55
	Donat	Cathead	0,50
Colombia	Donat	Cathead	0,50
Jepang	Donat	Tombi trigger	0,78 – 0,85
	Donat	Cathead 2 turn + Pelepas spesial	0,65 – 0,67
Inggris	Otomatis	Trip	0,73
Amerika	Aman	2 turn on cathead	0,55 – 0,60
	Donat	2 turn on cathead	0,45
Venezuela	Donat	Cathead	0,43

Sumber: *Clayton, 1990 dalam Hardiyatmo (2020)*

Koefisien C_b , C_s , C_r untuk menghitung koreksi N-SPT akibat pengaruh lubang bor, tipe tabung sampler, dan panjang batang bor ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah:

Tabel 3. Faktor koreksi N-SPT akibat pengaruh lubang bor, tabung sampler, batang bor

Faktor	Variasi Alat	Nilai Koreksi
Diameter lubang bor (Cb)	65 - 115 mm	1,00
	150 mm	1,05
	200 mm	1,15
Tabung sampler (Cs)	Tabung sampler standar	1,00
	Tabung sampler tanpa liner (tidak direkomendasikan)	1,20
Panjang batang bor (Cr)	3 - 4 m	0,75
	4 - 6 m	0,85
	6 - 10 m	0,95
	>10 m	1,00

Sumber: Skempton, 1986 dalam Hardiyatmo (2020)

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung fondasi bored pile digunakan rumus Metode Mayerhoff 1956

2.5.2 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Ujung Fondasi Bored Pile Metode Mayerhof 1956

$$Q_p = q_c \times A_p$$

(Sumber: Pamungkas dan Harianti (2013), halm. 43) (2)

Dimana:

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

$$N_b = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

N_b = Nilai rata - rata N-SPT pada dasar tiang

N_1 = Nilai rata - rata N-SPT pada kedalaman 4D di bawah tiang

N_2 = Nilai rata - rata N-SPT pada kedalaman 8D di atas tiang

A_p = Luas penampang (m^2)

q_c = 20 x N_b (untuk silt / clay)

= 40 x N_b (untuk sand)

2.5.3 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Selimut Fondasi Bored Pile Metode Mayerhof 1956

$$Q_s = \sum L_i f_i \times A_{st}$$

(Sumber: Pamungkas dan Harianti (2013), halm. 43) (3)

Dimana:

Q_s = Daya dukung selimut (ton)

A_{st} = Keliling penampang tiang (m)

- L_i = Panjang segmen tiang yang ditinjau (m)
 F_i = Gaya geser pada selimut segmen tiang
 = 1N, maksimum 12 ton/m² (untuk silt / clay)
 = (1/5) N, maksimum 10 ton/m² (untuk sand)

2.5.4 Perhitungan Negatif Scin Friction yang Terjadi pada Fondasi Bored Pile

$$Q_{neg} = \sum P_o' \times K_d \times \delta' \times A_s \quad (4)$$

(Sumber: *Hardiyatmo (2020)*, halm. 246)

Dimana:

- Q_{neg} = Gaya gesek negatif (kN)
 P_o' = Tekanan overburden efektif tanah rata-rata (kN/m²)
 $K_d \times \delta'$ = Koefisien $K_d \times \delta'$ (Broms 1976)
 A_s = Luas selimut yang mengalami gaya gesek negatif (m²)

Koefisien $K_d \times \delta'$ untuk menentukan besarnya negatif scin friction yang terjadi diperlihatkan pada Tabel 4 di bawah:

Tabel 4. Koefisien $K_d \times \delta'$

Jenis Tanah	$K_d \times \delta'$
Urugan Batu	0,40
Pasir dan kerikil	0,35
Lanau atu lempung terkonsolidasi normal berplastisitas rendah sampai sedang ($PI < 50\%$)	0,30
Lempung terkonsolidasi normal berplastisitas tinggi	0,2

Sumber: *Broms dalam Hardiyatmo (2020)*

2.5.5 Perhitungan Daya Dukung Ultimated Fondasi Bored Pile

$$Q_u = Q_p + Q_s - Q_{neg} \quad (5)$$

Dimana:

- Q_u = Daya dukung maksimum (kN)
 Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)
 Q_s = Daya dukung selimut (kN)
 Q_{neg} = Gaya gesek negatif (kN)

2.5.6 Perhitungan Daya Dukung Ijin Fondasi Bored Pile

$$Q_{all} = Q_u / SF \quad (6)$$

Dimana:

- Q_u = Daya dukung ultimit (kN)
 Q_{all} = Kapasitas daya dukung izin (kN)
 SF = Faktor keamanan (2.5) Badan Sta (2017)

2.5.7 Perhitungan Efisiensi Daya Dukung Pondasi Bored Pile

Metode Converse-Laberre

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \right] \times \theta \quad (7)$$

Dimana:

- η = Efisiensi kelompok tiang (%)
- m = Jumlah tiang arah vertikal
- n = Jumlah tiang arah horizontal
- θ = arc tg d/s dalam satu baris (derajat)
- s = Jarak as tiang (m)
- d = Diameter tiang (m)

2.5.8 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok

$$Q_g = Q_{all} \times n \times \eta \quad (8)$$

Dimana:

- Q_{all} = Kapasitas daya dukung izin pondasi (kN)
- n = Jumlah tiang dalam kelompok (bh)
- η = Efisiensi kelompok tiang.

2.5.9 Perhitungan Rasio Diameter terhadap Kedalaman (D/L)

$$\text{Rasio} = D / L \quad (9)$$

Dimana:

- D = Diameter (m)
- L = Kedalaman (m)

2.5.10 Perhitungan Kapasitas Fondasi Bored Pile

$$P_{beton} = 0,25 \times f'_c \times A_p \quad (10)$$

Dimana:

- P_{beton} = Kapasitas tekan beton polos (kN)
- A_p = Luas penampang dasar tiang (m²)
- f'_c = Kuat tekan beton (kN/m²).

Jika $Q_{all} \leq P_{beton}$ = Aman, tidak patah

Jika $Q_{all} > P_{beton}$ = Potensi patah pada tiang