

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian terdahulu

Penelitian terdahulu yang dijadikan acuan dalam tugas akhir ini berfokus pada analisis daya dukung dan penurunan pondasi tiang pancang dengan metode pre-boring. Kajian tersebut membantu dalam memahami metode perhitungan, konsep desain, serta pendekatan numerik yang relevan. Ringkasan penelitian terkait disajikan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

Peneliti	Topik Peneliti	Tujuan peneliti	Metode penilitian	Hasil Penilitian
Meiliana, (2023)	Analisis mitigasi desakan akibat pemancangan pada gedung workshop upn “veteran” jawa timur	1. Mengetahui perencanaan fondasi tiang pancang 2. Mengetahui Analisa desakan dan deformasi yang terjadi tanpa mitigasi 3. Mengetahui Analisa desakan dan deformasi yang terjadi dengan mitigasi 4. Mengertahui pengaruh kedalaman terhadap desakan dan besar penurunan yang terjadi	1. Perhitungan Daya dukung Metode Nakazawa 2. metode elemen hingga (software PLAXIS v8.5)	Berdasarkan analisis yang dilakukan, fondasi tiang pancangan yang direncanakan dapat digunakan pada area yang ditinjau dengan sistem pengerjaan menggunakan inject pile. Kegiatan pemancangan mengakibatkan desakan tanah terhadap gedung yang ditinjau. Nilai desakan yang terjadi dapat dimitigasi dengan preboring yang memberikan efek terhadap penurunan nilai desakan pada area studi yang ditinjau.. Mitigasi yang dilakukan berupa preboring diameter 500 mm dengan kedalaman 12,5 m yang berpengaruh dalam menurunkan desakan tanah yang terjadi dan masih dalam batas aman yang diizinkan sehingga tidak

Peneliti	Topik Peneliti	Tujuan peneliti	Metode penelitian	Hasil Penelitian
				berakibat pada kerusakan pada gedung
Malinda, (2023)	Analisis efektivitas pemilihan fondasi abutment pada jembatan overpass sambirejo jalan tol solo – kertosono sta 163+144	1. Mengetahui besar nilai kapasitas daya dukung fondasi 2. Mengetahui perbandingan kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang 3. Kelompok terhadap reaksi upper structure dengan SF = 3. 4. Mengetahui besar penurunan fondasi tiang pancang 5. Mengetahui perbandingan anggaran biaya 6. Mengetahui fondasi yang paling efektif dan efisien	1. Perhitungan Daya dukung Metode Luciano Decourt 2. Penurunan Fondasi program Plaxis	fondasi yang efektif dan efisien dari segi nilai daya dukung fondasi, besar defleksi, penurunan yang terjadi menggunakan perhitungan analitis dan program bantu serta anggaran biaya pekerjaan tiang pancang yaitu fondasi dengan diameter 800 mm dengan jumlah tiang 24 buah; nilai daya dukung tiang grup sebesar 2098,02 ton; besar defleksi masih dibatas aman < 6 mm; dan penurunan yang terjadi menggunakan perhitungan analitis sebesar 24,73 mm dan program bantu sebesar 19,61 mm, serta anggaran biaya paling efisien yaitu sebesar Rp 666.316.583.
Dhiya'ul Haq ,(2018)	Pengaruh variasi dimensi terhadap kapasitas dukung fondasi tiang bor kelompok menggunakan metode elemen hingga.	1. Mengetahui pengaruh variasi diameter tiang terhadap kapasitas dukung fondasi tiang bor kelompok. 2. untuk mengetahui besarnya penurunan yang terjadi pada fondasi tiang bor kelompok	1. metode statis (laboratorium & lapangan) Metode Mayerhoff, dan reese & wright. 2. software Plaxis v8.5 (FEM)	Analisis kapasitas daya dukung kelompok tiang bor pada gedung Twin Building UMY menunjukkan bahwa metode Meyerhoff (data lab & lapangan) dan Reese & Wright memberikan hasil daya dukung yang lebih besar dari beban yang ada ($P = 2.523,564 \text{ kN}$) untuk diameter 70 cm, 80 cm, dan 90 cm. Analisis penurunan dengan metode teoritis menghasilkan penurunan yang lebih kecil dari batas izin (0,084 m) untuk semua diameter. Sementara itu, analisis

Peneliti	Topik Peneliti	Tujuan peneliti	Metode penelitian	Hasil Penelitian
				dengan PLAXIS 2D menghasilkan penurunan yang mendekati batas izin, tetapi masih dalam batas aman. Dengan demikian, tiang bor dengan diameter 70 cm, 80 cm, dan 90 cm aman digunakan.
Farihatuz zahro, (2022)	Studi komparasi daya dukung antara tiang pancang dan tiang bor pada proyek RSUD dr. Soewandhie Surabaya.	1. Mengetahui daya dukung tiang tunggal dan kelompok pada tiang bor dan tiang pancang. 2. Mengetahui penurunan tiang kelompok pada tiang pancang dan tiang bor. 3. Mengetahui pengaruh lateral pada tiang bor dan tiang pancang. 4. Menganalisis perhitungan penulangan tiang bor. 5. Mengetahui penggunaan tiang yang lebih efisien.	1. Menghitung daya dukung tiang tunggal menggunakan metode Nakazawa 2. Menghitung daya dukung tiang kelompok Coversi-Labarre 3. Menghitung kebutuhan tulangan menggunakan Spcolumn	Analisis daya dukung tiang bor dengan metode Nakazawa menunjukkan rasio lebih tinggi (0,979 - 1,416) dibanding metode Mayerhoff untuk tiang pancang. Penurunan tiang kelompok sesuai SNI 8460:2017, berbanding terbalik dengan jumlah dan diameter tiang. Defleksi lateral juga memenuhi SNI 8460:2017, berbanding terbalik dengan diameter tiang dan kedalaman titik jepit. Penulangan tiang bor sesuai SNI 2847:2019. Kesimpulannya, tiang bor diameter 80 cm paling efektif berdasarkan kapasitas kelompok dan jumlah tiang.

2.2 Fondasi

Fondasi merupakan bagian dari struktur bangunan yang berfungsi untuk menahan dan menerima beban dari bangunan yang bekerja di atasnya serta meneruskannya ke lapisan tanah yang memiliki daya dukung cukup. Fondasi harus dirancang dengan mempertimbangkan berbagai faktor Agar penurunan tidak

melampaui batas yang diizinkan. Fondasi adalah bagian dari perencanaan yang berfungsi untuk menyalurkan beban yang diterima, termasuk berat fondasi itu sendiri, ke tanah dan batuan di bawahnya. (Joseph E. Bowles, 1997).

Menurut Nakazawa (2000), fondasi telapak (spread foundation) digunakan ketika tanah pendukung berada di permukaan tanah atau 2-3 meter di bawah permukaan. Fondasi tiang bor atau fondasi tiang bor digunakan ketika tanah pendukung berada lebih dalam dari 10 meter di bawah permukaan tanah. Jika tanah pendukung berada lebih dari 20 meter di bawah permukaan, maka jenis fondasi yang digunakan sangat bergantung pada batas penurunan yang diizinkan. (Nakazawa, 2000)

Menurut Olivari (1986) menjelaskan bahwa jika rasio kedalaman terhadap lebar fondasi (D/B) < 4 atau 5, maka fondasi dikategorikan sebagai fondasi dangkal (*shallow foundation*). Jika $D/B \geq 4$ atau 10, maka fondasi dikategorikan sebagai fondasi dalam (*deep foundation*). Fondasi dangkal meliputi fondasi sarang laba-laba, fondasi cakar ayam, dan fondasi telapak, sedangkan fondasi dalam meliputi fondasi sumuran, fondasi tiang bor, fondasi tiang pancang, dan fondasi *caisson*.

2.2.1 Fondasi Tiang Bor

Fondasi tiang bor adalah salah satu jenis fondasi dalam yang banyak digunakan dalam konstruksi, terutama ketika gaya dinamis dari tiang pancang dapat menyebabkan gangguan pada struktur sekitar atau saat tanah berada dalam kondisi keras menyulitkan penggunaan tiang pancang. Proses pemasangan tiang bor dimulai dengan mengebor tanah untuk membuat lubang, yang kemudian dimasukkan tulangan dan dilakukan pengecoran menggunakan beton. Fondasi ini sangat cocok untuk tanah yang stabil dan keras,

memungkinkan terbentuknya lubang yang stabil dengan alat bor. Selain itu, kedalaman dan diameter tiang bor dapat dengan mudah disesuaikan, Sehingga sesuai untuk menopang beban ringan maupun struktur berat seperti gedung bertingkat dan jembatan.(Hardiyatmo, 2008)

(Hardiyatmo, 2002) menjelaskan bahwa penggunaan tiang bor memiliki beberapa keuntungan dan kerugian:

Keuntungan :

1. Tidak ada risiko kenaikan muka tanah.
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan sesuai kebutuhan.
3. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium sebelum pengecoran.
4. Tiang dapat dipasang hingga kedalaman yang signifikan, dengan diameter besar, serta memungkinkan pembesaran ujung bawahnya jika tanah dasar berupa lempung atau batu lunak.
5. Penulangan tidak terpengaruh oleh tegangan selama pengangkutan dan pemancangan.

Kerugian :

1. Pengeboran dapat mengganggu kepadatan tanah, terutama jika tanah berupa pasir atau kerikil.
2. Kualitas pengecoran beton memerlukan pengawasan yang ketat untuk memastikan mutu.

3. Pengecoran beton menjadi sulit jika dipengaruhi oleh air tanah, yang dapat mengurangi kontrol mutu beton.
4. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat menyebabkan gangguan pada tanah, mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang.
5. Pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan jika tanah berupa pasir. (Hardiyatmo, 2002)

2.2.2 Fondasi Tiang Pancang

Fondasi tiang pancang merupakan salah satu jenis fondasi dalam yang termasuk bagian bawah struktur bangunan yang berperan untuk mentransfer beban dari struktur atas ke lapisan tanah keras di bawahnya. Fondasi tiang adalah jenis struktur fondasi yang dapat menahan gaya orthogonal terhadap sumbu tiang dengan cara menyerap fleksi. Ujung tiang pancang yang berada di bawah konstruksi bangunan disatukan dengan tumpuan fondasi untuk membentuk satu kesatuan yang kokoh dan kuat (Nakazawa, 2000). Ketika tanah di bawahnya tidak memiliki daya dukung yang cukup dan mampu menahan beban sendiri serta beban yang bekerja di atasnya, atau ketika tanah keras dan memiliki daya dukung yang cukup dan mampu menahan beban bangunan serta bebannya sangat dalam, maka digunakan tiang pancang sebagai fondasi suatu bangunan (Ir. SARDJONO HS., 1988). Jika semua beban yang bekerja berada di lapisan permukaan tanah yang sangat dalam pada kedalaman > 8 m dan tanah memiliki daya dukung yang untuk mendukung beban bangunan (Joseph E. Bowles, 1997). Karakteristik tanah, jenis tiang pancang, metode atau jenis pembebanan, dan metode pukulan yang digunakan harus dipertimbangkan sebelum dilakukan pemancangan.

Metode preboring diterapkan apabila hasil penyelidikan tanah menunjukkan adanya lapisan lensa tanah, yaitu lapisan tanah yang tipis dengan nilai NSPT lebih dari 50, yang menandakan bahwa lapisan tersebut termasuk tanah keras. Karena lapisan tanah dengan nilai NSPT di atas 50 tidak dapat ditembus saat proses pemancangan, kedalaman tiang pancang yang direncanakan menjadi tidak tercapai. Untuk memastikan kedalaman tiang pancang sesuai dengan rencana, maka dilakukan metode preboring dengan cara melakukan pengeboran hingga mata bor berhasil menembus lapisan lensa tanah tersebut. Diameter pengeboran minimal sama dengan diameter tiang pancang, atau idealnya sedikit lebih kecil dari diameter tiang pancang, sehingga daya dukung selimut (skin friction) dari fondasi tiang pancang dapat diperoleh secara maksimal. (Tarigan dkk., 2021)

Penggunaan tiang pancang memiliki beberapa keuntungan dan kerugian:

Keuntungan :

1. Dapat memikul beban fondasi yang tinggi.
2. Tahan terhadap karat.
3. Sebelum pemancangan, biasanya tiang pancang dilakukan pemeriksaan terlebih dahulu.
4. Air tanah tidak berpengaruh pada prosedur pelaksanaan pemancangan.
5. Tiang dapat dipancang hingga kedalaman yang dalam.
6. Dapat memberikan kepadatan pada tanah granuler pada saat pemancangan

tiang. Kekurangan :

1. Pada saat pemancangan kepala tiang kadang pecah

2. Biaya permulaan dari pembuatannya tinggi.
3. Proses Pemancangan akan lebih sulit dilakukan jika diameter tiang terlalu besar.
4. Menimbulkan kerusakan pada bangunan sekitar area pemancangan tiang dikarenakan gangguan getaran dan deformasi tanah pada saat pemancangan.

2.3 Tanah

Tanah merupakan material alami yang tersusun atas agregat atau butiran partikel padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain, berasal dari pelapukan batuan dan bahan organik, serta mengandung zat cair dan/atau gas yang mengisi pori-pori antar partikel tersebut (Das, 1988). Tanah membentuk lapisan terluar bumi dan berperan penting sebagai media pendukung beban struktur serta sebagai bagian integral dalam sistem geoteknik.

2.3.1 Klasifikasi Tanah

Secara umum, tanah dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan sifat kohesi dan permeabilitasnya, yaitu:

1. Tanah Kohesif

Tanah kohesif adalah jenis tanah yang memiliki sifat lekatan antar butir, disebabkan oleh gaya tarik antar partikel yang kuat. Sifat ini memungkinkan tanah untuk mempertahankan bentuknya dalam kondisi lembab maupun kering. Tanah kohesif memiliki permeabilitas rendah, sehingga laju aliran air melalui pori-porinya sangat lambat. Contoh tanah kohesif adalah lempung dan

lanau. Tanah jenis ini umumnya memiliki tingkat plastisitas yang tinggi dan rentan terhadap perubahan volume akibat perubahan kadar air.

2. Tanah Non Kohesif

Tanah non-kohesif adalah tanah yang tidak memiliki atau hanya memiliki sedikit gaya tarik antar butiran. Partikelnya cenderung terlepas satu sama lain, terutama dalam kondisi kering. Tanah ini memiliki permeabilitas tinggi, sehingga memungkinkan air mengalir dengan cepat melalui pori-porinya. Contoh umum dari tanah non-kohesif adalah pasir dan kerikil. Tanah jenis ini umumnya memiliki kestabilan yang baik dalam kondisi kering dan sering digunakan sebagai material urugan atau pondasi.

2.3.2 Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan besaran atau nilai karakteristik yang merepresentasikan sifat fisik dan mekanik tanah, yang digunakan dalam kajian analisis maupun perencanaan geoteknik. Parameter-parameter ini berperan penting dalam memodelkan respons tanah terhadap pembebanan, deformasi, serta perubahan kondisi lingkungan. Secara umum, parameter tanah meliputi karakteristik sebagai berikut :

1. E (Modulus Elastisitas Tanah): Menggambarkan kekakuan tanah dalam merespons tegangan.
2. ν (Poisson's Ratio): Menunjukkan rasio perubahan lateral terhadap perubahan aksial pada tanah.
3. c (Kohesi Tanah): Menentukan daya lekat antar butir tanah tanpa pengaruh tekanan normal.

4. ϕ (Sudut Geser Dalam): Mengukur kekuatan geser tanah terhadap pergeseran.
5. ψ (Sudut Dilatasi): Menggambarkan perubahan volume tanah saat mengalami geseran.

Tabel yang digunakan untuk korelasi dalam mendapatkan nilai Modulus elastisitas tanah ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Nilai Modulus Elastisitas Tanah

Macam Tanah	E (kN/m ²)
Lempung	
Sangat Lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-9000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
Pasir	
Berlanau	5000-20000
Tidak Padat	10000-140000
Padat	50000-100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	80000-200000
Tidak Padat	50000-140000
Lanau	2000-20000
<i>Loess</i>	15000-60000
Serpih	140000-1400000

Sumber : (Joseph E. Bowles, 1997)

Angka poisson tanah didapatkan dari hasil korelasi. Nilai angka poisson ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3 Nilai Angka Poisson Tanah

Macam Tanah	Angka Poisson
Lempung Jenuh	0,40-0,50
Lempung Tidak Jenuh	0,10-0,30
Lempung Berpasir	0,20-0,30
Lanau	0,30-0,35
Pasir	0,10-1,00
Batuan	0,10-0,40
Umum dipakai untuk tanah	0,30-0,40

Sumber : (Joseph E. Bowles, 1997)

Nilai kohesi tanah didapatkan dari hasil korelasi dari nilai N-SPT. Tanah non-kohesif biasanya dianggap tidak memiliki kohesi. Sedangkan, nilai kohesi untuk tanah kohesif ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2. 4 Nilai Kohesi dari Tanah Kohesif

N-SPT	Konsistensi	Kohesi (kg/cm ²)
0-2	Sangat Lunak	0,12-0,25
2-4	Lunak	0,25-0,50
4-8	Agak Lunak	0,50-1,00
8-15	Sedang	1,00-2,00
15-30	Keras	2,00-4,00
> 30	Sangat Keras	> 4,00

Sumber : (Joseph E. Bowles, 1997)

Sudut geser tanah didapatkan dari hasil korelasi. Nilai sudut geser ditunjukkan pada Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2. 5 Nilai Sudut Geser Tanah

Macam Tanah	Sudut Geser (°)
Pasir	
Sangat Lunak	26-28
Lunak	28-30
Padat	30-36
Sangat Padat	36-41
Lanau/Lempung	
Lunak	15-22
Plastis/sedang	22-30
Keras	30-35

Sumber : (Peck, 1974)

2.4 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan tahap penting dalam rekayasa geoteknik yang bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik tanah di lokasi proyek. Tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam perancangan fondasi dan struktur bangunan, yang menjadi dasar pemilihan jenis fondasi yang tepat. Untuk menentukan kedalaman lapisan tanah keras serta kapasitas daya dukung tanah yang diperbolehkan, diperlukan penyelidikan mekanika tanah yang meliputi kegiatan di lapangan pada lokasi proyek dan pengujian di laboratorium (rudy gunawan, 1983).

Dalam perencanaan fondasi tiang, penyelidikan tanah merupakan langkah yang sangat penting dan harus dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

- 1 Mendapatkan informasi lapisan tanah dan batuan: Penyelidikan ini bertujuan untuk memahami stratifikasi tanah dan batuan di lokasi proyek, sehingga dapat diketahui lapisan mana yang dapat mendukung beban dari struktur yang akan dibangun.

- 2 Mengetahui keberadaan muka air tanah: Informasi mengenai muka air tanah sangat penting untuk menentukan metode konstruksi yang tepat serta untuk mengantisipasi potensi masalah seperti penggalian yang terpengaruh oleh air.
- 3 Mengidentifikasi sifat fisik dan mekanik tanah dan batuan: Penyelidikan tanah memberikan data tentang karakteristik tanah, termasuk kekuatan, kompresibilitas, dan sifat-sifat lain yang mempengaruhi daya dukung fondasi.
- 4 Menentukan parameter tanah untuk analisis fondasi: Data yang diperoleh dari penyelidikan digunakan untuk analisis fondasi dan simulasi proses konstruksi, sehingga desain fondasi dapat disesuaikan dengan kondisi tanah yang ada.

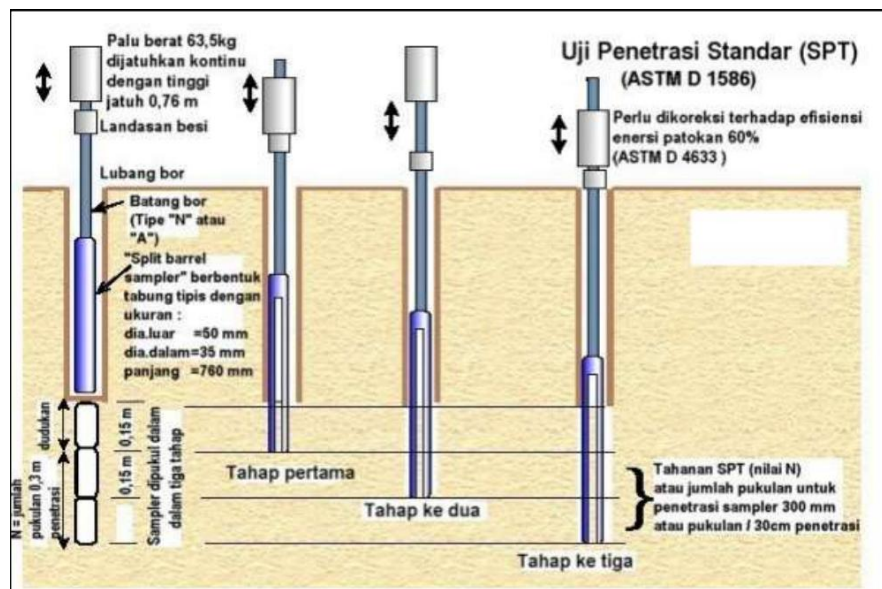
2.4.1 Prosedur Tahapan Penyelidikan Tanah

Prosedur penyelidikan tanah dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

- 1 Evaluasi dan studi kondisi lapangan: meliputi pengumpulan data tentang topografi, vegetasi, bangunan sekitar, akses jalan, kondisi geologi, potensi gempa regional, peraturan yang berlaku, serta besaran beban struktur yang akan dibangun.
- 2 Penyelidikan tanah awal: Pada tahap ini dilakukan pemboran dan uji lapangan dalam jumlah terbatas untuk mendapatkan gambaran awal mengenai kondisi tanah. Informasi ini digunakan untuk merencanakan penyelidikan lebih lanjut.
- 3 Penyelidikan tanah terinci: Tahap ini bertujuan untuk mencukupi kebutuhan perencanaan dan kontraktor dalam menentukan jenis, kedalaman, dan daya dukung fondasi. Selain itu, tahap ini juga berfungsi untuk mengantisipasi penurunan yang mungkin terjadi pada struktur di masa depan.

2.4.2 Pengujian Standard Penetration Test (SPT)

SPT adalah metode pengujian lapangan yang digunakan untuk menentukan kepadatan relatif dan kekuatan tanah dengan menghitung jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus tanah pada kedalaman tertentu. Hasil SPT sering digunakan untuk menghitung daya dukung fondasi.



Gambar 2. 1 Skema uji penetrasi standart (SPT)

(Sumber: SNI 4153:2008 tentang cara uji penetrasi lapangan dengan SPT)

2.4.3 Koreksi N-SPT

Koreksi nilai N-SPT adalah tahapan Penting dalam analisis geoteknik untuk memastikan data yang diperoleh dari uji SPT mencerminkan kondisi tanah yang sebenarnya di lokasi proyek. Data hasil koreksi ini kemudian dapat diandalkan untuk perencanaan dan desain struktur bangunan secara efektif dan aman. Proses koreksi N-SPT antara lain terhadap tekanan overburden dan muka air tanah.

2.4.4 Koreksi N-SPT Terhadap Prosedur Lapangan

Dalam analisis data Standard Penetration Test (SPT), diperlukan koreksi terhadap nilai N-SPT yang diperoleh dari pengujian lapangan. Koreksi ini dilakukan untuk memperhitungkan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengujian, seperti energi yang digunakan oleh alat pengujian dan kondisi tanah di sekitarnya. Setelah proses koreksi dilakukan, akan diperoleh nilai N₆₀, yang merupakan nilai N yang telah disesuaikan dan lebih akurat untuk digunakan dalam perhitungan geoteknik. Nilai N₆₀ ini merepresentasikan perubahan nilai N akibat koreksi yang telah diterapkan. Nilai koreksi yang digunakan dalam koreksi N-SPT terhadap prosedur lapangan ditunjukkan pada Tabel 2.6 berikut:

Tabel 2. 6 Nilai koreksi N-SPT terhadap prosedur lapangan

SPT Hammer Efficiencies		
Hammer Type	Hammer Release Mechanism	Efficiency , EH
Automatic	Trip	0,70
Donut	Hand dropped	0,60
Donut	Cathead+2 turns	0,50
Safety	Cathead+2 turns	0,55 - 0,60
Drop/Pin	Hand dropped	0,45
Borehole, Sampler and Rod Correction Factors		
Factor	Equipment Variables	Correction Factor
Borehole Dia Factor, CB	65 – 115 mm (2.5-4.5 in)	1,00
	150 mm (6 in)	1,05
	200 mm (8 in)	1,15
Sampler Correction, CS	Standard sampler	1,00
	Sampler without liner (not recommended)	1,20
Rod Length Correction, CR	3 – 4 m (10-13 ft)	0,75
	4 – 6 m (13-20 ft)	0,85
	6 – 10 m (20-30 ft)	0,95
	>10 m (>30 ft)	1,00

Sumber : (Rahman, 2017)

2.4.5 Koreksi N-SPT Terhadap Tekanan Overburden

Pada tanah non-kohesif, tekanan overburden memainkan peran penting dalam mempengaruhi ketahanan tanah terhadap penetrasi. Nilai SPT yang diperoleh pada kedalaman dangkal cenderung lebih rendah dari yang seharusnya. Sebaliknya, pada kedalaman yang lebih besar, tanah yang sama akan menunjukkan ketahanan penetrasi yang lebih tinggi (Rahman, 2017).

Oleh karena itu, koreksi terhadap tekanan overburden perlu dilakukan. Setelah koreksi ini diterapkan pada nilai N_{60} , akan diperoleh nilai $(N_1)_{60}$. Nilai $(N_1)_{60}$ ini merupakan hasil dari penyesuaian nilai N_{60} terhadap pengaruh tekanan overburden, sehingga lebih akurat dalam merepresentasikan kondisi tanah yang sebenarnya.

2.4.6 Koreksi N-SPT Terhadap Tekanan Muka Air Tanah

Beberapa peneliti merekomendasikan koreksi nilai N-SPT terhadap pengaruh muka air tanah, khususnya pada tanah berpasir halus atau lanau yang berada di bawah permukaan air. Tekanan pori dalam tanah dapat memengaruhi ketahanan tanah terhadap penetrasi, dan akibatnya memengaruhi nilai N yang diperoleh. Oleh karena itu, dalam kondisi ini, disarankan untuk melakukan koreksi terhadap muka air tanah guna mendapatkan hasil yang lebih akurat.

2.5 Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal

Kapasitas dukung tanah di bawah dan sekitar fondasi tiang bor sangat penting untuk menopang beban yang diberikan oleh struktur di atasnya. Kapasitas ini dapat dihitung berdasarkan karakteristik kuat geser tanah yang

diperoleh dari pengujian tanah di laboratorium dan lapangan, atau melalui metode empiris menggunakan alat uji seperti Standard Penetration Test (SPT).

Kapasitas dukung fondasi tiang bor bergantung pada dua komponen utama, yaitu kapasitas dukung ujung tiang dan kapasitas geser antara fondasi dengan lapisan tanah. Kemampuan geser tanah meningkat seiring dengan bertambahnya panjang tiang yang ditanam lebih dalam.

Analisis kapasitas dukung tiang bor dilakukan dengan mengumpulkan data penting seperti karakteristik tanah, kedalaman fondasi, jarak antar tiang, dan data pendukung lainnya. Tiang bor dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan cara mendukung beban, yaitu tiang dengan dukungan ujung (*end bearing pile*) dan tiang dengan gesekan sepanjang badan tiang (*friction pile*).

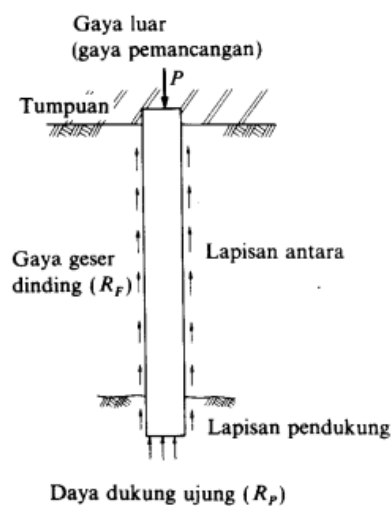
Total kapasitas dukung tiang terdiri dari dua komponen, yaitu kapasitas dukung ujung tiang (R_p) dan daya dukung selimut tiang (R_f). Dengan memahami kedua komponen ini, didapatkan perancangan fondasi yang aman dan efisien sesuai dengan kondisi geoteknik di lokasi proyek.

2.4.1 Daya Dukung Ujung Tiang Dan Selimut Tiang

Menurut tiang dapat dikategorikan menjadi dua jenis berdasarkan cara menahan beban:

1. Tiang ujung (*end bearing pile*): Tahanan ujung tiang menentukan daya dukung tiang, yang biasanya terletak pada lapisan tanah keras. Pada tipe tiang ini, kapasitas dukung ditentukan oleh kekuatan lapisan tanah keras di bawah ujung tiang, yang menjadi faktor utama dalam penentuan kapasitas tiang.

2. Tiang Selimut (*skin friction pile*): Daya dukung tiang selimut ditentukan oleh tahanan gesek yang terjadi antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya. Dalam analisis daya dukung untuk tiang gesek, perlu diperhitungkan juga tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi pada lapisan tanah dasar. Metode yang digunakan untuk menghitung tahanan gesek ini sering kali mengacu pada data dari pengujian Standard Penetration Test (SPT).



Gambar 2. 2 Mekanisme daya dukung fondasi

Sumber : (Nakazawa, 2000)

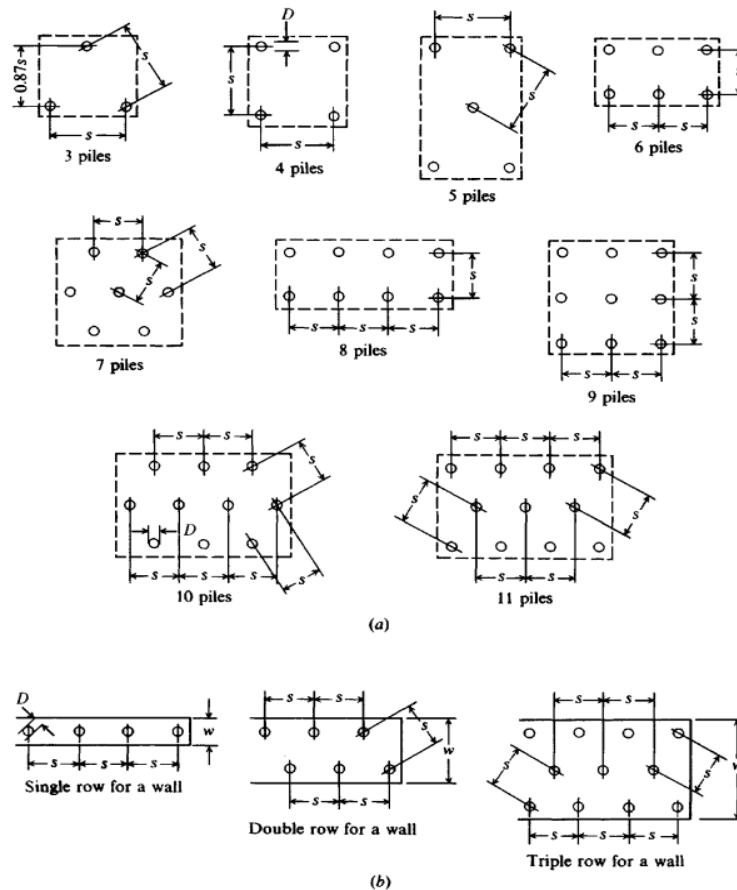
2.4.2 Kapasitas Daya Dukung Tiang Berdasarkan Hasil SPT

Hasil uji lapangan Standard Penetration Test (SPT) digunakan untuk memperkirakan daya dukung fondasi tiang bor pada tanah. Dalam analisis perhitungan daya dukung tiang, metode statik yang diterapkan adalah metode Nakazawa (Nakazawa, 2000). Berdasarkan Penelitian yang membahas perbandingan daya dukung tiang bor menggunakan data N-SPT dengan beberapa metode berbeda, Metode Nakazawa menawarkan hasil nilai yang lebih kecil dalam perhitungan kapasitas dukung sehingga lebih aman untuk diwujudkan dalam pelaksanaan di lapangan. (Solin dkk., 2022)

2.6 Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok

Fondasi tiang tunggal (*single pile*) umumnya digunakan untuk mendukung beban dari struktur ringan. Namun, dalam praktiknya, beban dari bangunan atas sering kali dapat ditanggung oleh sekelompok tiang. Keberadaan tiang-tiang lain dalam kelompok ini memberikan keuntungan tambahan, yaitu mengurangi risiko kegagalan pada tiang tunggal. Dengan demikian, penggunaan tiang grup menjadi pilihan yang lebih aman dan efisien dalam mendukung beban struktural yang lebih besar. Dalam perhitungan kapasitas daya dukung tiang kelompok, pile cap diasumsikan sebagai elemen yang benar-benar kaku. Dengan asumsi ini, terdapat dua poin penting yang perlu diperhatikan:

1. Jika beban yang diterapkan pada kelompok tiang menyebabkan terjadinya penurunan, maka setelah proses penurunan tersebut, bidang *pile cap* akan tetap berada dalam posisi datar.
2. Gaya yang bekerja pada masing-masing tiang dalam kelompok akan berbanding lurus dengan penurunan yang dialami oleh tiang-tiang tersebut.



Gambar 2. 3 Contoh susunan tiang
(Joseph E. Bowles, 1997)

2.7 Efisiensi Kelompok Tiang

Fondasi tiang tunggal sering diterapkan untuk mendukung beban struktur. Namun, dalam kenyataannya, beban dari bangunan atas biasanya dapat ditanggung oleh sekelompok tiang. Keberadaan tiang-tiang tambahan ini membantu mencegah terjadinya kegagalan pada tiang tunggal. Ini menjadi salah satu keuntungan utama dari penggunaan kelompok tiang.

Daya dukung tiang tunggal dalam satu kelompok dapat ditentukan dengan mengalikan daya dukung 1 tiang tunggal dan efisiensi. Nilai group pile efficiency dapat ditentukan berdasarkan persamaan Converse-Labarre (1990)

2.8 Penurunan Tiang Kelompok Yang Diijinkan

Penurunan fondasi terjadi akibat beban yang diberikan oleh struktur di atasnya, yang menyebabkan tanah di sekitar tiang mengalami penurunan. Perhitungan penurunan fondasi tiang sangat penting untuk mencegah terjadinya penurunan berlebihan yang dapat mengakibatkan kegagalan struktur. Berdasarkan SNI 8460-2017 pasal 9.2.4.3, penurunan total dan perbedaan yang diperbolehkan harus ditetapkan sesuai dengan toleransi bangunan itu sendiri serta bangunan di sekitarnya. Batas toleransi untuk setiap bangunan harus dievaluasi secara individual dengan mempertimbangkan stabilitas, integritas, dan fungsi struktur. Penurunan yang diizinkan tidak boleh kurang dari $<15 \text{ cm} + b600 < 15 \text{ cm} + 600b$ (di mana b dinyatakan dalam cm) (SNI 8460:2017, 2017).

Perhitungan penurunan tiang mencakup dua komponen utama, yaitu penurunan segera (immediate settlement) yang terjadi seketika setelah beban diterapkan, dan penurunan konsolidasi (consolidation settlement) yang berlangsung secara bertahap akibat pelepasan tekanan air pori dalam tanah lempung jenuh. Untuk memperoleh hasil analisis yang lebih akurat dan realistis, pendekatan numerik seperti metode elemen hingga (finite element method/FEM) digunakan.

Metode elemen hingga merupakan teknik analisis numerik yang membagi sistem kontinu, seperti tanah atau struktur, menjadi elemen-elemen kecil yang saling terhubung dan dihitung secara simultan. Setiap elemen dianalisis terhadap tegangan, regangan, dan deformasi, sehingga menghasilkan simulasi perilaku sistem secara keseluruhan di bawah beban tertentu (Tjong, 2021).