

Contents list available at journal.UIB.ac.id**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.UIB.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

Perencanaan Pondasi Tiang Bor Untuk Apartemen Low-Rise 7 Lantai Pada Tanah Lempung Berlanau di Daerah Cakung Jakarta Timur

Bored Pile Foundation Planning for 7 Level Story Low-Rise Apartment in Silty Clay Soil in Cakung Area East Jakarta

Ivana Vianca¹, Yusra Aulia Sari²^{1,2}Teknik Sipil, Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional BatamEmail korespondensi: 1811007.ivana@uib.edu

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Kata kunci :</p> <p>Tiang Bor, Tanah Lempung Berlanau, Perancangan Pondasi Dalam, Perencanaan Biaya.</p>	<p>Struktur bawah memiliki peran untuk menjaga stabilitas struktur dari bangunan dan merupakan hal vital dalam perencanaan gedung. Struktur bawah itu sendiri salah satunya adalah pondasi. Pondasi didefinisikan sebagai bagian terendah dari bangunan yang berfungsi meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang ada di bawahnya. Tujuan penelitian ini untuk merencanakan pondasi tiang bor pada apartemen <i>low-rise</i> 7 lantai dan rencana anggaran biaya yang dibutuhkan. Berdasarkan penelitian tanah, diperoleh jenis tanah didominasi oleh tanah lempung berlanau. Pondasi direncanakan menggunakan tiang bor berdiameter 0,7 m dengan kedalaman 20 m pada <i>bore hole</i> 02 dan 15 m pada <i>bore hole</i> 03. Perhitungan daya dukung aksial ultimit menggunakan metode Meyerhof didapatkan sebesar 492,162 ton pada <i>bore hole</i> 02 dan 677,195 ton pada <i>bore hole</i> 03, dengan kapasitas aksial ijin sebesar 196,865 ton pada <i>bore hole</i> 02 dan 270,878 ton pada <i>bore hole</i> 03. Perhitungan penurunan tiang tunggal menggunakan Metode Semi-Empiris didapatkan <i>bore hole</i> 02 sebesar 0,025 m dan pada <i>bore hole</i> 03 sebesar 0,021 m dengan perhitungan penurunan segera pada kelompok tiang menggunakan Metode Vesic berada pada rentang 2,946 – 5,140 m. Desain <i>pile cap</i> yang diperoleh terdiri dari tiga konfigurasi tiang bor yaitu 2, 4 dan 8 tiang. Maka, perencanaan ini menggunakan 96 tiang bor serta total biaya yang dibutuhkan sebesar Rp. 6.668.625.070,-.</p>
ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Keywords:</p> <p>Bored Pile, Silty Clay Soil, Deep Foundation Design, Cost Calculation.</p>	<p><i>The lower structure has a role to maintain the stability of the structure of the building and is the most vital thing in building planning. The substructure itself is one of the foundations. Foundation is defined as the lowest part of the building that functions to transmit the load of the building to the soil or rocks below it. The purpose of this research is to plan the pile foundation in the low-rise apartment and plan the required budget. Based on the soil investigation, it was found that the soil type was dominated by silty clay. The foundation is planned to use bored pile with a diameter of 0.7 m with a depth of 20 m on sample bore hole 02 and 15 m on sample bore hole 03. The ultimate axial bearing capacity calculation using the Meyerhof method is obtained at 492.162 tons in bore hole 02 and 677,195 tons in bore hole 03, with a permit axial capacity of 196.865 tons on bore hole 02 and 270,878 tons on bore hole 03. The calculation of single pile settlement using the Semi-Empirical Method is obtained at bore hole 02 of 0.025 m and on bore hole 03 of 0.021 m with an immediate settlement calculation at pile group using the Vesic Method is in the range of 2,946 – 5,140 m. The pile cap design obtained consists of three pile configurations, namely 2, 4 and 8 piles. This plan uses 96 bored piles and the total cost required is around IDR. 6.668.625.070,-.</i></p>

1. Pendahuluan

Pertumbuhan ekonomi serta meningkatnya kepadatan penduduk mengakibatkan kebutuhan akan hunian semakin meningkat. Hal itu tidak didukung dengan keterbatasan lahan yang semakin sempit. Pembangunan pada daerah DKI Jakarta sendiri sangatlah berkembang dengan pesat. Pulau Jawa, khususnya pada kota Jakarta sendiri telah menjadi pusat perekonomian, pariwisata, pembangunan dan Ibu Kota selama lebih dari 60 tahun. Dengan keterbatasan lahan, bangunan pun di desain agar menghemat ruang lahan yang digunakan. Rusunawa dan apartemen high-rise maupun low-rise merupakan bangunan bertingkat yang menjadi solusi hunian atas jawaban masalah keterbatasan lahan yang tersedia. Pengembangan hunian gedung bertingkat kini tengah digencarkan oleh pemerintah dan swasta setempat. Hunian bertingkat ini merupakan salah satu kebijakan strategis yang dianggap tepat karena melihat pertumbuhan penduduk Indonesia yang cukup pesat pertahunnya. Pada pembangunan suatu lahan gedung bertingkat memiliki beberapa elemen struktur yaitu struktur bawah dan struktur atas. Struktur bawah itu sendiri salah satunya ialah pondasi. Pondasi didefinisikan sebagai bagian terendah dari bangunan yang berfungsi meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang ada dibawahnya (Christiady, 2015).

Karakteristik dan jenis tanah juga sangat berpengaruh dalam menentukan jenis suatu pondasi bangunan. Pondasi bangunan harus diletakkan pada lapisan tanah yang dianggap cukup keras, padat dan kuat untuk mendukung beban bangunan agar tidak menimbulkan penurunan (*settlement*) yang berlebihan. Berdasarkan dari besarnya beban, kondisi lingkungan, lokasi dan juga lapisan tanahnya, pondasi dalam dibagi menjadi berbagai tipe, namun secara umum pondasi dalam dibagi atas 2 metode pelaksanaan yaitu tiang pancang dan pondasi tiang bor.

Pada penulisan Artikel ini, data tanah yang digunakkan adalah hasil pengujian lapangan di wilayah Cakung Jakarta Timur yaitu hasil uji SPT (*Standard Penetration Test*). Data hasil pengujian lapangan tersebut akan digunakan untuk perencanaan gedung apartemen *low-rise* yang memiliki 7 lantai. Data yang digunakan sebanyak 2 titik yaitu BH-02 dan BH-03. Posisi tanah keras pada BH-02 terletak di kedalaman 20 meter dengan muka air tanah berada di kedalaman 3,05 meter, sedangkan posisi tanah keras pada BH-03 terletak di kedalaman 15 meter dengan muka air tanah berada di kedalaman 1,20 meter. Jenis tanah pada data BH-02 dan BH-03 didominasi dengan tanah lempung berlanau. Lokasi apartemen *low-rise* yang akan dibangun merupakan kawasan perumahan masyarakat sehingga mempermudah akomodasi alat berat untuk pemasangan pondasi. Berdasarkan penjelasan di atas, tipe pondasi yang akan direncanakan adalah pondasi tiang bor. Penulisan ini bertujuan untuk merencanakan pondasi tiang bor pada apartemen *low-rise* di Cakung Jakarta Timur dan menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan dalam perencanaan pondasi tiang bor.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pondasi

Pondasi adalah salah satu konstruksi bangunan yang terletak di bagian bawah sebuah konstruksi dimana pondasi mempunyai peran penting terhadap sebuah bangunan. Pondasi akan menanggung semua beban konstruksi atas ke lapisan tanah yang berada di bawahnya. Tegangan – tegangan tanah yang dihasilkan kecuali pada permukaan tanah merupakan tambahan kepada beban – beban yang sudah ada dalam massa tanah dari bobotnya sendiri (HS. Sardjono, 1988).

Pondasi sendiri dibagi menjadi dua tipe yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*Deep Foundation*), dimana rencana tipe pondasi yang akan dipakai pada perencanaan pondasi untuk gedung apartemen *low-rise* 7 lantai di area Cakung Jakarta Timur menggunakan tipe pondasi dalam atau *Deep Foundation*.

2.2 Pondasi Dalam (*Deep Foundation*)

Pondasi dalam digunakan apabila tanah dasar sebagai tempat perletakan pondasi tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk menahan beban yang berkerja di atasnya atau apabila tanah dasar tersebut letaknya sangat dalam pada lapisan tanah. Ada beberapa jenis pondasi dalam, diantaranya yaitu sebagai berikut.

1. Pondasi Tiang Pancang (*Driving Pile*)

Pondasi tiang pancang adalah jenis pondasi dalam yang biasa dijumpai pada konstruksi darat maupun laut. Jenis pondasi ini digunakan apabila jenis strukturnya bersentuhan langsung dengan rawa, air dan juga tanah yang memiliki daya dukung rendah. Pondasi ini bertujuan untuk menopang beban di atasnya lalu diteruskan melalui tiang pancang tersebut. Berdasarkan jenis perpindahan bebannya, ada yang meneruskan beban dengan tahanan ujung (*end bearing*) atau ada juga yang meneruskan beban melalui kulit dari tiang pancang itu sendiri (*friction pile*).

2. Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

Bored pile atau bisa juga disebut dengan pondasi tiang bor atau sumuran sering digunakan pada konstruksi ukuran besar maupun perumahan yang mempunyai daya dukung tanah keras dan berada pada kedalaman yang cukup jauh di atas permukaan tanah sehingga tidak memungkinkan untuk menggali ataupun menggunakan jenis pondasi dangkal. Pondasi tiang bor atau *bored pile* ini berbeda dengan tiang pancang dimana pondasi ini dibantu oleh beton yang dimasukkan ke dalam casing ataupun ke dalam tanah yang telah di bor (HS. Sardjono, 1988).

2.3 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan kondisi bawah tanah merupakan persyaratan bagi perancangan pondasi struktur bangunan. Penyelidikan tanah biasanya berkisar 0,5 - 1 % dari biaya total sehingga hampir tidak mungkin tidak dilakukannya penyelidikan tanah sebelum merancang pondasi. Penyelidikan tanah sendiri bertujuan untuk mengetahui jenis tanah yang nantinya akan ditentukan jenis pondasi apa yang akan digunakan maupun menentukan karakteristik tanah, kondisi geologi serta sifat dari tanah tersebut. Terdapat beberapa macam penyelidikan tanah yaitu sebagai berikut.

1. Standard Penetration Test

Standard Penetration Test atau bisa juga disebut pengujian penetrasi dinamis biasanya banyak dilakukan sebagai metode penyelidikan tanah. Prinsip kerja dari SPT ini dimana tabung silinder pada alat akan dimasukkan ke dalam tanah lalu tabung akan ditumbukkan dengan alat penumbuk seberat 63,5 kg dan akan dijatuhkan dari ketinggian 76 cm dari atas tabung silinder sehingga tabung mencapai 1 *feet*, adapun banyak pukulan yang diperlukan untuk mencapai 1 *feet* (30,5 cm) itu yang akan disebut sebagai nilai N.

2. Cone Penetration Test

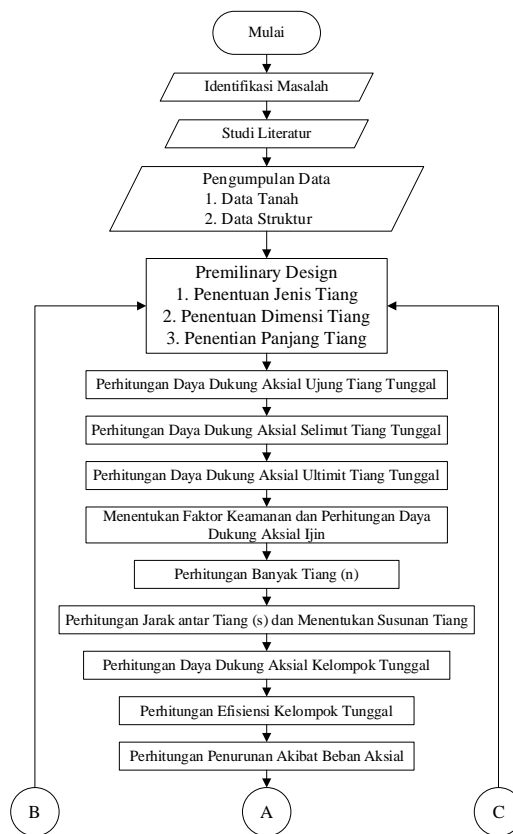
Cone Penetration Test atau biasa disebut dengan sondir atau juga *Dutch Static Penetrometer*, umumnya banyak digunakan di Indonesia dikarenakan jenis tanahnya yang banyak bersifat pasir atau lempung. Pengujian CPT atau sondir ini berbentuk *cone* pada ujung bornya yang memungkinkan untuk menembus lapisan tanah yang akan dilakukan penyelidikan.

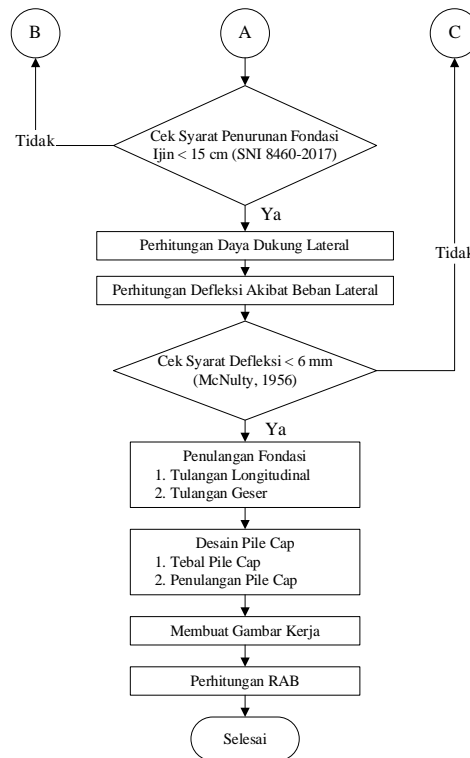
3. Pengujian Laboratorium

Pengujian dengan laboratorium juga biasa dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan sifat dari tanah itu sendiri. Biasanya pengujian ini juga dikorelasikan dengan uji lapangan sehingga didapatkan berapa besar dimensi pondasi yang efisien dan aman pada suatu perencanaan bangunan.

3. Metode Penelitian

Metodologi merupakan suatu kumpulan langkah – langkah dalam penerapan penelitian dan juga hasil penelitiannya. Metode perencanaan yang akan dibuat dalam bentuk diagram alir (*flow chart*). Tahap awal penulisan Artikel yaitu mengidentifikasi permasalahan yang akan diambil, kemudian mengumpulkan data, selanjutnya mencari landasan teori dan referensi penulisan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan. Tahap berikutnya yaitu menganalisa data dengan landasan teori yang ada, kemudian membuat kesimpulan untuk menjawab permasalahan tersebut. Metode perencanaan pondasi tiang bor untuk gedung apartemen *low-rise* pada tanah lempung berlanau di daerah Cakung Jakarta Timur dapat dilihat pada *flowchart* berikut ini.





Gambar 1 Diagram Alir Perencanaan Fondasi Tiang Bor

1. Studi Literatur
Pengumpulan materi – materi yang akan digunakan dalam melakukan perencanaan pondasi tiang bor.
2. Pengumpulan Data
Pengumpulan data yaitu data struktur berupa data pembebanan struktur pada gedung memakai program ETABS. Pengumpulan data tanah berupa data lapangan dan data laboratorium.
3. Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal
Daya dukung aksial tiang tunggal menggunakan metode Meyerhof (1976) berdasarkan data tanah dengan kondisi tanah lempung berlanau. Perhitungan daya dukung tiang tunggal memperhatikan daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang. Penjumlahan daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang menghasilkan daya dukung ultimit, untuk mendapatkan daya dukung ijin dengan cara membagi daya dukung ultimit dengan suatu faktor keamanan.
4. Daya Dukung Kelompok Tiang
Perhitungan daya dukung kelompok tiang menggunakan metode Terzaghi (1948), menentukan jumlah tiang, jarak antar tiang, efisiensi kelompok tiang menggunakan metode Poulos dan Davis untuk tanah lempung berlanau.
5. Penurunan Pondasi Tiang
Perhitungan penurunan pondasi tiang tunggal menggunakan metode Semi-Empiris dengan penurunan total adalah hasil penjumlahan dari penurunan total tiang pondasi tiang tunggal dengan penurunan sepanjang tiang dan penurunan akibat beban pada ujung tiang. Penurunan kelompok tiang menggunakan metode Vesic (1977).
6. Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal dan Defleksi Tiang
Penentuan tiang ujung jepit dan tiang ujung bebas menggunakan metode McNulty (1956). Daya dukung lateral tiang tunggal menggunakan metode Brooms (1964). Defleksi ijin maksimum pada tiang jepit adalah sebesar 6 mm (McNulty).

7. Penulangan Pondasi dan Penentuan *Pile Cap*
Perhitungan penulangan pondasi dan penentuan dimensi serta penulangan *pile cap* berdasarkan SNI 2847-2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung dan SNI 2052-2017 tentang Baja Tulangan Beton.
8. Gambar Kerja
Gambar kerja meliputi gambar struktur, desain *pile cap*, detail pondasi, serta detail *pile cap* dengan menggunakan *software* AutoCad.
9. Rencana Anggaran Biaya (RAB)
Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dengan harga satuan pekerjaan mengacu pada jurnal harga satuan untuk daerah Jakarta Timur pada tahun 2023 dan penentuan AHSP mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 1 Tahun 2023 Tentang Analisa Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Perhitungan Perencanaan Pondasi

Data perencanaan pondasi adalah data yang mendukung analisis pondasi meliputi data tanah dan data bangunan yang akan direncanakan. Perencanaan pondasi tiang bor menggunakan material beton bertulang. Data yang diperlukan berupa data pembebanan struktur atas berupa beban sendiri dari struktur tersebut serta beban – beban yang mendukungnya dan data tanah berupa laporan hasil penyelidikan tanah. Data pembebanan struktur gedung apartemen *low-rise* 7 lantai dengan tinggi 31,5 meter adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Data Beban Aksial Tiap Kolom

<i>Story</i>	<i>Label</i>	<i>Output Case</i>	FX (ton)	FY (ton)	FZ (ton)
Base	1	Comb Fondasi	1,496	1,068	217,069
Base	2	Comb Fondasi	2,279	23,151	331,277
Base	3	Comb Fondasi	0,028	1,617	364,950
Base	4	Comb Fondasi	0,389	0,984	582,521
Base	5	Comb Fondasi	0,006	1,601	366,782
Base	6	Comb Fondasi	0,011	1,285	626,775
Base	7	Comb Fondasi	0,006	1,601	366,789
Base	8	Comb Fondasi	0,011	1,285	626,775
Base	9	Comb Fondasi	0,028	1,616	364,976
Base	10	Comb Fondasi	0,389	0,983	582,563
Base	11	Comb Fondasi	1,496	1,067	217,113
Base	12	Comb Fondasi	2,279	23,155	331,489
Base	13	Comb Fondasi	2,336	20,830	311,123
Base	14	Comb Fondasi	1,899	0,693	256,531
Base	15	Comb Fondasi	0,365	1,474	589,637
Base	16	Comb Fondasi	0,041	1,112	443,144
Base	17	Comb Fondasi	0,006	1,839	649,587
Base	18	Comb Fondasi	0,705	0,619	532,577
Base	19	Comb Fondasi	0,006	1,839	649,588
Base	20	Comb Fondasi	0,705	0,619	532,577

Base	21	Comb Fondasi	0,366	1,475	589,625
Base	22	Comb Fondasi	0,041	1,113	443,142
Base	23	Comb Fondasi	2,337	20,827	310,901
Base	24	Comb Fondasi	1,899	0,694	256,519
Base	25	Comb Fondasi	1,087	0,882	337,282
Base	26	Comb Fondasi	1,087	0,882	337,282
Base	27	Comb Fondasi	0,768	0,726	140,116
Base	28	Comb Fondasi	0,045	0,881	207,083
Base	29	Comb Fondasi	0,046	0,882	207,061
Base	30	Comb Fondasi	0,768	0,728	140,096
Base	31	Comb Fondasi	0,762	0,650	142,425
Base	32	Comb Fondasi	0,762	0,650	142,444

Tabel 2 Data Beban Lateral Tiap Kolom

<i>Story</i>	<i>Label</i>	<i>Output Case</i>	FX (ton)	FY (ton)	FZ (ton)
Base	1	Gempa Ultimit Max	16,898	2,788	363,246
Base	2	Gempa Ultimit Max	18,785	126,852	799,720
Base	3	Gempa Ultimit Max	19,966	2,995	481,786
Base	4	Gempa Ultimit Max	21,363	2,296	748,640
Base	5	Gempa Ultimit Max	19,736	2,783	480,199
Base	6	Gempa Ultimit Max	20,412	2,187	786,377
Base	7	Gempa Ultimit Max	19,721	2,783	480,209
Base	8	Gempa Ultimit Max	20,438	2,187	786,377
Base	9	Gempa Ultimit Max	20,038	2,994	481,821
Base	10	Gempa Ultimit Max	20,416	2,295	748,697
Base	11	Gempa Ultimit Max	13,160	2,786	363,306
Base	12	Gempa Ultimit Max	13,072	126,860	800,019
Base	13	Gempa Ultimit Max	19,170	72,532	819,315
Base	14	Gempa Ultimit Max	17,397	0,098	404,143
Base	15	Gempa Ultimit Max	21,562	-0,763	762,772
Base	16	Gempa Ultimit Max	19,842	-0,563	572,281
Base	17	Gempa Ultimit Max	20,641	-1,685	816,234
Base	18	Gempa Ultimit Max	20,462	-0,142	672,980
Base	19	Gempa Ultimit Max	20,629	-1,685	816,234
Base	20	Gempa Ultimit Max	18,826	-0,142	672,980
Base	21	Gempa Ultimit Max	20,670	-0,764	762,757
Base	22	Gempa Ultimit Max	19,945	-0,564	572,278
Base	23	Gempa Ultimit Max	13,305	72,539	819,030
Base	24	Gempa Ultimit Max	12,564	0,097	404,127
Base	25	Gempa Ultimit Max	20,809	-0,420	441,265
Base	26	Gempa Ultimit Max	18,141	-0,421	441,265
Base	27	Gempa Ultimit Max	15,923	0,314	268,227

Tabel 2 Data Beban Lateral Tiap Kolom (Lanjutan)

<i>Story</i>	<i>Label</i>	<i>Output Case</i>	FX (ton)	FY (ton)	FZ (ton)
Base	28	Gempa Ultimit Max	19,816	-0,155	296,828
Base	29	Gempa Ultimit Max	19,932	-0,156	296,798
Base	30	Gempa Ultimit Max	13,863	0,312	268,200
Base	31	Gempa Ultimit Max	16,034	0,127	270,545
Base	32	Gempa Ultimit Max	13,988	0,127	270,570

Tabel 3 Data Beban *Shear Wall*

Shear Wall	Output Case	FZ (ton)	FY (ton)	FZ (ton)
SW-1	Comb Pondasi	1660,844	60,414	23,987
SW-2	Comb Pondasi	1660,844	112,973	4,906

Tabel 4 Hasil Penyelidikan Tanah BH-02

Point	GWL (m)	Depth (m)	Soil Description	Thickness (m)	Nspt Value
BH-02	-3,05	00,00 – 1,50	Lanau Berpasir	1,5	-
		1,50 – 17,50	Lempung Berlanau	16,0	12-42
		17,5 – 21,50	Lempung Berlanau	4,0	48-63
		21,50 – 25,00	Andesit	2,1	-
		25,00 – 30,00	Lempung Berpasir	5,0	61-61

Tabel 5 Hasil Penyelidikan Tanah BH-03

Point	GWL (m)	Depth (m)	Soil Description	Thickness (m)	Nspt Value
BH-03	-1,20	00,00 – 1,00	Lanau	1	-
		1,00 – 5.00	Lanau Berpasir	4	8-24
		5.00 – 9.80	Pasir Berlanau	4,8	33-30
		9.80 – 11.20	Pasir Berlanau	1,4	41
		11.20 – 15.00	Lempung Berlanau	3,80	51
		15.00 – 26.00	Lempung Berlanau	11	60
		26.00 – 30.00	Lempung Berkerikil	4	60

4.2 Perhitungan Daya Dukung

Analisis daya dukung ini dilakukan berdasarkan dimensi tiang yang telah ditentukan dan karakteristik tanah yang telah didapatkan dari hasil penyelidikan tanah di lapangan.

1. Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal

Perhitungan daya dukung pondasi menggunakan persamaan metode perhitungan Meyerhof (1976) berdasarkan uji SPT dan data bore hole 02 dengan diameter tiang bor sebesar 0,7 m adalah sebagai berikut.

a. Daya Dukung Ujung Tiang

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

$$N_b = \frac{14,400 + 22,800}{2}$$

$$N_b = 18,600 \text{ m}^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,700^2$$

$$= 0,385 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 40 \times N_b \times A_p \text{ (Batas harga } 40N_b < 1500 \text{ t/m}^2\text{)}$$

$$= 40 \times 18,600 \text{ m}^2 = 744 \text{ ton/m}^2 < 1500 \text{ ton/m}^2 \text{ (OK)}$$

$$= 40 \times 18,600 \text{ m}^2 \times 0,385 \text{ m}^2$$

$$= 286,325 \text{ ton}$$

b. Daya Dukung Selimut Tiang

$$\begin{aligned} Q_{\text{stotal}} &= Q_s \text{ Lapisan pertama} + Q_s \text{ Lapisan kedua} + Q_s \text{ Lapisan ketiga} \\ &= 5,278 + 168,892 + 58,057 \\ &= 232,227 \text{ ton} \end{aligned}$$

c. Daya Dukung Ultimit Tiang

$$\begin{aligned} W_p &= \text{Volume pondasi} \times \text{Berat jenis beton} \\ &= \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,700 \times 20 \right) \times 2,4 \text{ kg/m}^3 \\ &= 26,389 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s - W_p \\ &= 286,325 + 232,227 - 26,389 \\ &= 492,162 \text{ ton} \end{aligned}$$

d. Daya Dukung Ijin Tiang

$$\begin{aligned} Q_{\text{ijin}} &= \frac{Q_u}{\text{FK}} \\ &= \frac{492,162}{2,5} \\ &= 196,865 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. Daya Dukung Kelompok Tiang

Tahapan untuk perhitungan daya dukung kelompok tiang pondasi tiang menggunakan metode Terzaghi (1948) diawali dengan menentukan jumlah tiang, jarak antar tiang, daya dukung kelompok tiang dan efisiensi kelompok tiang. Perhitungan daya dukung kelompok tiang adalah sebagai berikut.

a. Penentuan Jumlah Tiang

$$\begin{aligned} n &= \frac{P_u}{Q_{\text{ijin}}} \\ &= \frac{217,069}{196,865} \\ &= 1,103 \approx 2 \text{ tiang} \end{aligned}$$

b. Jarak Antar Tiang

$$\begin{aligned} S &= 2,5 D \\ S &= 2,5 \times 0,700 \text{ m} \\ S &= 1,750 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Efisiensi Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} \frac{1}{Eg^2} &= 1 + \frac{n \times Q_{u \text{ tunggal}}}{Q_g} \\ \frac{1}{Eg^2} &= 1 + \frac{2 \times 492,162}{1037,103} \\ \frac{1}{Eg^2} &= 1 + \frac{984,324}{1037,103} \\ Eg &= 0,636 \end{aligned}$$

d. Daya Dukung Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} Q_g &= n (Q_p + Q_s) \\ &= 2 (286,325 + 232,227) \\ &= 1037,103 \text{ ton} \end{aligned}$$

4.3 Penurunan Tiang

Penurunan tiang pondasi menggunakan metode Semi-Empiris. Perkiraan besarnya penurunan total maupun beda penurunan merupakan hal yang penting dalam perancangan pondasi untuk menjamin stabilitas dan kemampuan dari bangunan di atasnya.

1. Penurunan Tiang Tunggal

a. Penurunan Sepanjang Tiang

$$\begin{aligned}
 Q_p &= 286,325 \text{ ton} \\
 Q_s &= 232,227 \text{ ton} \\
 L &= 20 \text{ m} \\
 A_p &= 0,385 \text{ m}^2 \\
 E_p &= 4700 \sqrt{29,05} = 2533208 \text{ ton/m}^2 \\
 \alpha &= 0,5 \text{ (Vesic, 1977)} \\
 S_1 &= \frac{(Q_p + \alpha Q_s) \times L}{A_p \times E_p} \\
 &= \frac{(286,325 + (0,5 \times 232,227)) \times 20}{0,385 \times 2533208} \\
 &= 0,0083 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Penurunan Tiang Akibat Beban Pada Ujung Tiang

$$\begin{aligned}
 A_p &: 0,385 \text{ m}^2 \\
 Q_p &: 286,325 \text{ ton} \\
 D &: 0,700 \text{ m} \\
 C_p &: 0,03 \text{ (Vesic, 1977)} \\
 q_p &= \frac{Q_p}{A_p} \\
 &= \frac{286,325}{0,385} \\
 &= 744 \text{ ton/m}^2 \\
 S_2 &= \frac{Q_p \times C_p}{D \times q_p} \\
 &= \frac{286,325 \times 0,03}{0,700 \times 744} \\
 &= 0,016 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c. Penurunan Tiang Akibat Beban yang Diteruskan Sepanjang Tiang

$$\begin{aligned}
 Q_s &: 232,227 \text{ ton} \\
 P &: 2,199 \text{ m} \\
 \mu_s &: 0,03 \text{ (Bowles, 1968)} \\
 E_s &: 15000 \text{ ton/m}^2 \\
 D &: 0,700 \text{ m} \\
 I_{ws} &= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \\
 &= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{20}{0,700}} \\
 &= 3,871 \\
 S_3 &= \left(\frac{Q_s}{p \times L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \\
 &= \left(\frac{232,227}{2,199 \times 20} \right) \frac{0,700}{15000} (1 - 0,03^2) 3,871 \\
 &= 0,0010 \text{ m}
 \end{aligned}$$

d. Penurunan Total Tiang Tunggal

$$\begin{aligned}
 S &= S_1 + S_2 + S_3 \\
 &= 0,0083 \text{ m} + 0,016 \text{ m} + 0,0010 \text{ m} \\
 &= 0,025 \text{ m} \\
 &= 2,570 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

2. Penurunan Tiang Tunggal

$$\begin{aligned}
 S &: 0,025 \text{ m} \\
 D &: 0,700 \text{ m} \\
 B_g &: 1,400 \text{ m} \\
 S_g &= S \times \sqrt{\frac{B_g}{D}} \\
 &= 0,025 \times \sqrt{\frac{1,400}{0,700}} \\
 &= 0,036 \text{ m} \\
 &= 3,635 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

4.4 Daya Dukung Lateral Tiang

Pondasi tidak hanya menerima beban aksial tetapi pondasi juga menerima beban lateral seperti misalnya tekanan aktif tanah pada pondasi tiang. Gaya lateral yang terjadi pada tiang bergantung pada kekakuan atau tipe tiang, penurunan ujung tiang ke dalam pelat penutup kepala tiang, sifat gaya – gaya, besar defleksi dan rangka bangunan yang mengirimkan gaya lateral tersebut ke kolom bagian paling bawah. Perhitungan beban lateral yang digunakan adalah metode Broms (1964).

1. Penurunan Tiang Tunggal

a. Menentukan Jenis Tiang

$$\begin{aligned}
 D &: 0,700 \text{ m} \\
 E &: 2533208 \text{ ton/m}^2 \\
 I &: 0,0241 \text{ m}^4 \\
 \eta_h &: 277 \text{ ton/m}^3 \text{ (Peck and Davisson, 1962)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= \sqrt[5]{\frac{EI}{\eta_h}} \\
 &= \sqrt[5]{\frac{2533208 \times 0,0241}{277}} \\
 &= 2,966
 \end{aligned}$$

Karena $L \geq 4T$, maka tiang dapat dikategorikan sebagai tiang elastis (panjang)

b. Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal

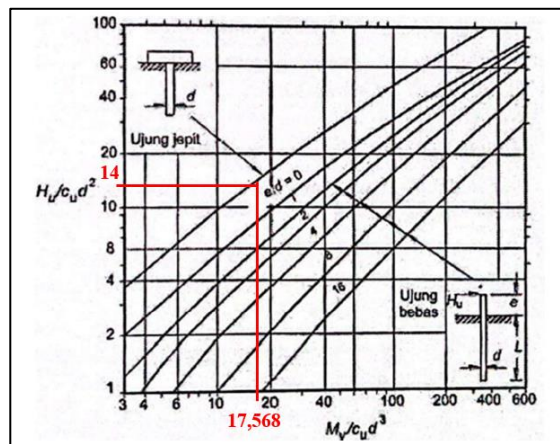
$$\begin{aligned}
 N &: 31,400 \\
 \sigma_y &: 24000 \text{ ton/m}^2 \\
 I &: 0,0241 \text{ m}^4 \\
 T &: 2,966
 \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 C_u &= 4 \times N \\
 &= 4 \times 31,400 \\
 &= 125,600 \text{ Kpa} \\
 &= 12,560 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z &= 1,8 T \\
 &= 1,8 \times 2,966 \\
 &= 5,339 \text{ m} \\
 W &= \frac{1}{z} \\
 &= \frac{1}{5,339} \\
 &= 0,005 \text{ m}^2 \\
 M_y &= \sigma_y \times W \\
 &= 24000 \times 0,005 \\
 &= 108,117 \text{ ton} \\
 \frac{M_y}{C_u \times d^3} &= \frac{108,117}{12,560 \times 0,700^3} \\
 &= 17,568
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tersebut selanjutnya diplot pada gambar 2.



Gambar 2 Tahanan Lateral Ultimit Tiang dalam Tanah Kohesif untuk Tiang Panjang

Berdasarkan hasil plot pada Gambar 2 diperoleh nilai $H_u/C_u d^2$ sebesar 14
Maka,

$$\begin{aligned}
 H_u &= \left(\frac{H_u}{C_u d^2} \right) C_u d^2 \\
 &= 4 \times 12,560 \times 0,700^2 \\
 &= 60,313 \text{ ton} \\
 H_{ijin} &= \frac{H_u}{FK} \\
 &= \frac{60,313}{2,5} \\
 &= 24,125 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

c. Defleksi Lateral Tiang

$$\begin{aligned}
 H_{ijin} &= 24,125 \text{ ton} \\
 D &= 0,700 \text{ m} \\
 \eta_h &= 277 \text{ (Peck and Davisson, 1962)} \\
 z &= 5,339 \\
 E &= 2533208 \text{ ton/m}^2 \\
 I &= 2533208 \text{ m}^4 \\
 \text{Maka dapat dihitung:} \\
 K_h &= \eta_h \left(\frac{z}{d} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 277 \left(\frac{5,339}{0,700} \right) \\
 &= 2112,821 \text{ ton/m}^2 \\
 \beta &= \left(\frac{k_h d}{4E_p I_p} \right)^{\frac{1}{4}} \\
 &= \left(\frac{2112,821 \times 0,700}{4 \times 2533208 \times 2533208} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,279 \\
 y_0 &= \frac{H_{ijin} \beta}{k_h d} \\
 &= \frac{24,125 \times 0,279}{2112,821 \times 0,700} \\
 &= 0,0045 \text{ m} \\
 &= 4,553 \text{ mm} < 6 \text{ mm (McNulty, 1956)}
 \end{aligned}$$

d. Daya Dukung Lateral Kelompok Tiang

n : 2 tiang

E_g : 0,636

H_u : 60,313 ton

Maka dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 H_g &= n \times E_g \times H_u \\
 &= 2 \times 0,636 \times 60,313 \\
 &= 76,682 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Cek Syarat:

$H_g > H_u$ ijin

76,682 ton > 24,125 ton **(OK)**

4.5 Penulangan Pondasi

Perhitungan tulangan pondasi mengacu pada SNI 2847:2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang untuk Bangunan Gedung. Hasil perhitungan tulangan pondasi untuk tulangan longitudinal dan tulangan geser adalah sebagai berikut.

- Penulangan longitudinal yang digunakan untuk pondasi dengan diameter 0,7 m adalah 11D22
- Penulangan geser yang digunakan untuk pondasi dengan diameter 0,7 m adalah D16 - 70.

4.6 Penentuan Dimensi dan Penulangan *Pile Cap*

Pile cap atau pelat penutup tiang merupakan suatu struktur yang berfungsi untuk mengikat kelompok tiang dalam pondasi serta mendistribusikan beban dari kolom ke tiang pondasi.

- Perhitungan gaya geser 1 arah mengacu pada SNI 2847:2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang untuk Bangunan Gedung. Dengan hasil dari perhitungan gaya geser 1 arah pada arah x didapat $V_{ux} = 371.993,0746 \text{ N}$ dan $\phi V_{cx} = 1.159.650,273 \text{ N}$, sedangkan gaya geser 1 arah pada arah y di dapat $V_{uy} = 143.205,177 \text{ N}$ dan $\phi V_{cy} = 2.050.433,483 \text{ N}$. Syarat $V_u < \phi V_c$. **(OK)**
- Perhitungan gaya geser 2 arah mengacu pada SNI 2847:2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang untuk Bangunan Gedung. Dengan hasil daripada gaya geser 2 arah didapat $V_u = 484.685,094 \text{ N}$ dan $\phi V_c = 8.612.260,235 \text{ N}$. Syarat $V_u < \phi V_c$. **(OK)**
- Kebutuhan tulangan *pile cap* digunakan D22 dengan jumlah dan jarak yang bervariasi tiap *pile cap*.

4.7 Perhitungan Biaya Pondasi

Rencana Anggaran Biaya (RAB) meliputi penentuan harga bahan, harga sewa alat, harga pekerja, perhitungan volume pekerjaan dan penentuan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dengan harga satuan pekerjaan mengacu pada jurnal harga satuan untuk daerah DKI Jakarta pada tahun 2023 dan penentuan AHSP mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 1 Tahun 2023 Tentang Analisa Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Untuk mendapatkan hasil rencana anggaran biaya dengan cara mengalikan volume setiap pekerjaan dengan analisis harga satuan setiap pekerjaan. Berdasarkan hasil perhitungan, maka diperoleh biaya untuk pekerjaan pondasi dan *pile cap* sebesar Rp. 6.668.625.070.-

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan dan analisis pondasi tiang bor yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan yaitu adalah sebagai berikut.

- a. Tiang bor yang digunakan berdiameter 0,700 m dengan panjang 20 m pada BH-02 dan 15 m pada BH-03
- b. Daya dukung ijin tiang tunggal pada BH-02 sebesar 196,865 ton dan pada BH-03 sebesar 270,878 ton, perhitungan penurunan tiang tunggal sebesar 2,570 cm pada BH-02 dan 2,083 cm pada BH-03, sedangkan untuk penurunan kelompok tiang berada pada rentang 0,036 m – 0,051 m, dimana nilai tersebut masih dalam batas toleransi yang diterapkan dalam SNI yaitu 15 cm. perhitungan daya dukung lateral ijin sebesar 24,125 ton, defleksi pada BH-02 sebesar 4,553 mm dan pada BH-03 sebesar 4,645 mm.
- c. Perhitungan penulangan untuk pondasi tiang bor didapatkan dari perhitungan tulangan longitudinal dan perhitungan tulangan geser yaitu tiang pondasi yang digunakan merupakan tiang bor mutu beton K-350 atau 29,05 MPa, desain *pile cap* terdiri atas 3 konfigurasi susunan tiang pancang yaitu 2 tiang, 4 tiang dan 8 tiang, tulangan yang digunakan pada desain pondasi tiang adalah D22 sebagai tulangan utama dan D16 sebagai tulangan sengkang serta tulangan yang digunakan pada desain *pile cap* merupakan tulangan D22.
- d. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk Perencanaan Pondasi Tiang Bor untuk Apartemen *Low-Rise 7* Lantai pada Tanah Lempung Berlanau di Daerah Cakung Jakarta Timur di dapatkan sebesar Rp. 6.668.625.070,-

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perencanaan dan analisis pondasi tiang bor yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran adalah sebagai berikut.

1. Menggunakan *software* yang sedang berkembang pada saat ini di dunia konstruksi sipil seperti *software* Plaxis atau *software* lain yang sesuai untuk menganalisis tanah dan pondasi sehingga analisis perencanaan dapat diselesaikan dengan cepat dan mengurangi kesalahan dalam perhitungan.
2. Merencanakan struktur atas bangunan dapat menggunakan bantuan berbagai macam *software* seperti SAP2000, Tekla dan Revit.
3. Menggunakan beberapa metode perhitungan dalam perencanaan pondasi tiang bor agar dapat dijadikan pembanding untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.

Daftar Rujukan

- [1] Bowles. Joseph E, "Analisis dan Desain Pondasi Jilid 2", Edisi Keempat, Jakarta, Erlangga, 1988.

- [2] Das. Braja M, "Principles of Foundation Engineering", Edisi Ketujuh, Penerbit Global Engineering, USA, 1990.
- [3] Debataraja, "Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dermaga Menggunakan Data SPT Pada Pembangunan Pelabuhan Balohan Kota Sabang Sabang, Aceh", Jurnal Teknik Sipil Universitas Darma Agung, 2021.
- [4] Fauizek. Michelle & Suhendra Andryan, "Efek Dari *Dynamic Compaction* (Dc) Terhadap Peningkatan Kuat Geser Tanah", Jurnal Mitra Teknik Sipil. Jakarta: Universitas Tarumanegara, 2018.
- [5] Pamungkas. A & Harianty. E, "Desain Fondasi Tahan Gempa", Edisi Pertama, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 2013.
- [6] Hardiyatmo. Hary Christady, "Teknik Fondasi 2", Edisi Kedua, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta, 2002.
- [7] Hardiyatmo. Hary Christady, "Analisis dan Perancangan Fondasi II", Edisi Ketiga, Penerbit Gajah Mada Universitas Press, Yogyakarta, 2015.
- [8] HS. Sardjono, "Pondasi Tiang Pancang Untuk Universitas dan Umum Jilid 1", Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya, 1988.
- [9] Husnah, "Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Pondasi Tissue Block 5 & 6", Jurnal Teknik Sipil Univeristas Abdurrah, 2018.
- [10] Standarisasi Nasional, "SNI 2847-2013. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung", Jakarta : Badan Standarisasi Nasional, 2013.
- [11] Tanjung. D & Nusa. Ahmad B, "Pengaruh Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan GIS (*Gas Insulated Switch Gear*) Di Kecamatan Payung Sekaki Pekanbaru", Buletin Utama Teknik, Vol. 14, No. 1, ISSN : 2598-3814, 2018.
- [12] Turin, "Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Pada Pembangunan Reservoir Dan Tangki Wtp Kapasitas 250 Ribu Liter Pdam Kec. Loakulu Kab. Kutai Kartanegara", Jurnal Teknik Sipil Universitas 17 Agustus, Samarinda. 2018.
- [13] Triarso. Arik, "Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data CPT dan Data SPT Pada Pondasi Gedung Parkir RSUD Soedono", Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 1. E-ISSN : 2655-6421, 2021.
- [14] Yanuar. Rino, "Perencanaan Pondasi Tiang Pancang pada Gedung Dinas Pemadam Kebakaran Jakarta Selatan", Jurnal Teknik Sipil Universitas Gunadarma, 2016.