

## ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG *SPUN* DAN PERSEGI PADA TANAH BERBUTIR HALUS DAN KASAR

Louis Jordan Divani<sup>1</sup> dan Aniek Prihatiningsih<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*louisjordan\_d@yahoo.com*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*aniekp@ft.untar.ac.id*

Masuk: 03-01-2024, revisi: 12-01-2024, diterima untuk diterbitkan: 26-01-2024

### ABSTRACT

*One type of foundation that is popularly used is driven pile due to the ability of saving cost and time. This study will analyze two types of piles, namely spun and square piles with dimensions of diameter and width of the cross section taken from a circular area with a diameter of 0.6 m with a height of 30 m. Analyzation of the piles will be in 4 kinds of soil: soft clay dominant, hard silt dominant, loose sand dominant, and dense sand dominant. The piles will be analyzed for (compressive, tensile and lateral) bearing capacity, settlement and volume comparison to (compressive, tensile and lateral) bearing capacity and settlement. The comparison results obtained in soft clay and hard silt are the same, namely square piles have better compressive and tensile bearing capacity, settlement and settlement comparison with volume than spun piles. In loose sand soils, square piles performed better in tensile bearing capacity, settlement and settlement to volume ratio than spun piles. Finally, in dense sand, square piles have better compressive and tensile bearing capacity, settlement and ratio of settlement to volume than spun piles.*

*Keywords: Foundation; spun pile; square pile; bearing capacity*

### ABSTRAK

Salah satu jenis fondasi yang populer digunakan adalah tiang pancang karena dapat menghemat biaya dan waktu. Penelitian ini akan menganalisis dua macam tiang pancang yaitu *spun* dan persegi dengan dimensi diameter dan lebar penampang diambil dari suatu area lingkaran berdiameter 0,6 m dengan tinggi tiang sebesar 30 m. Analisis akan dilakukan pada 4 macam tanah yaitu: dominan lempung lunak, dominan lanau keras, dominan pasir lepas, dan dominan pasir padat. Tiang akan dianalisis terhadap daya dukung (tekan, tarik, dan lateral), penurunan dan perbandingan volume terhadap daya dukung (tekan, tarik, dan lateral) dan penurunan. Hasil perbandingan yang didapat pada tanah lempung lunak dan lanau keras adalah sama yaitu tiang pancang persegi memiliki daya dukung tekan dan tarik, penurunan, dan perbandingan penurunan dengan volume yang lebih baik dibanding tiang pancang *spun*. Pada tanah pasir lepas, tiang pancang persegi mendapatkan hasil daya dukung tarik, penurunan, dan rasio penurunan terhadap volume yang lebih baik daripada tiang pancang *spun*. Terakhir, pada tanah pasir padat, tiang pancang persegi memiliki daya dukung tekan dan tarik, penurunan, dan perbandingan penurunan dengan volume yang lebih baik daripada tiang pancang *spun*.

Kata kunci: Fondasi; tiang pancang *spun*; tiang pancang persegi; daya dukung

## 1. PENDAHULUAN

Struktur suatu bangunan dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu struktur bawah dan struktur atas. Secara umum tidak banyak orang tahu tentang struktur bawah karena pada umumnya struktur bawah berada di bawah permukaan tanah sehingga sangat jarang terlihat. Padahal dalam sebuah pembangunan, struktur bawah memiliki peran yang sama penting atau bahkan lebih penting dari struktur atasnya. Desain suatu struktur bawah harus tepat untuk menjaga kestabilan bangunan yang ditopangnya dan tidak menyebabkan keruntuhan yang fatal bagi penghuninya (Long et al., 2019). Perencanaan yang baik dapat dilakukan dengan mengetahui jenis tanah pada lokasi proyek dan beban struktur yang akan ditopangnya (Caecario & Suhendra, 2019).

Pada bangunan yang besar umumnya membutuhkan fondasi dalam untuk menopang beban yang sangat besar. Tiang pancang menjadi salah satu opsi fondasi dalam yang sering digunakan karena alasan waktu konstruksi yang lebih cepat, pengurangan biaya keseluruhan proyek, dan cocok untuk proyek dengan keterbatasan lahan. Alasan-alasan tersebut dikarenakan tiang pancang adalah suatu fondasi dalam yang dibuat atau pracetak pada pabrik serta dapat diantar ke suatu proyek saat diminta dan langsung diinstalasikan kapan pun diinginkan. Proses tersebut mempercepat

proses pembuatan fondasi dalam jika, misalnya, dibandingkan dengan fondasi tiang bor yang memerlukan penggalian lubang, perakitan tulangan serta penginstalasiannya, dan pengecoran yang membutuhkan waktu yang jauh lebih lama dan juga meningkatkan biaya keseluruhan proyek. Perakitan tulangan tiang bor juga membutuhkan tempat yang cukup luas dan lahan untuk penyimpanannya sehingga kurang cocok digunakan pada lahan yang terbatas. Walaupun demikian, tiang pancang dan bor masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri yang biasanya berdasarkan kondisi pada lapangan (Septiadi & Prihatiningsih, 2020). Tiang pancang bervariasi secara dimensi penampang, tinggi tiang, bentuk penampang dan kelas tiang.

Kapasitas suatu struktur bawah untuk menahan beban statis (seperti beban struktur atasnya) atau pun beban dinamis seperti gempa, yang terus meningkatkan perhatiannya khususnya di Indonesia karena beberapa gempa destruktif terdahulu (Susilo et al., 2019) serta beban getaran mesin yang dapat meningkatkan angka air pori dan mengurangi kuat geser tanah, sehingga menurunkan daya dukung tanah (Prihatiningsih et al., 2023). Setelah beban diterima fondasi, beban tersebut akan disalurkan dan disebarkan kepada tanah di sekelilingnya. Untuk itu, pentingnya mengetahui karakteristik dan perilaku tanah seperti memiliki data tanah beserta parameternya yang lengkap pada lokasi yang ingin di rencanakan pembangunan. Parameter tanah dapat dicari dengan melakukan korelasi dan menggunakan nilai tipikal dari *bor log*, parameter yang paling dasar untuk dicari adalah kohesi dan sudut geser karena dapat mengidentifikasi kekuatan tanah yang dibutuhkan untuk daya dukung suatu fondasi (Susilo et al., 2018).

Penelitian ini akan memperhitungkan daya dukung terhadap gaya tekan dan tarik, atau selanjutnya akan disebut daya dukung (tekan, tarik, dan lateral), penurunan, dan perbandingan volume terhadap daya dukung (tekan, tarik, dan lateral) dan penurunan dari dua macam tiang pancang yaitu tiang pancang *spun* dan tiang pancang persegi. Dimensi penampang yang digunakan adalah dengan lebar atau diameter dari suatu area lingkaran berdiameter 0,6 m. Tiang tersebut akan ditinjau pada 4 macam tanah yaitu pada tanah berbutir halus dan kasar dengan konsistensi dan kepadatan yang berbeda. Jenis tanah yang digunakan adalah tanah dominan lempung dengan konsistensi lunak (lempung lunak), tanah dominan lanau dengan konsistensi keras (lanau keras), tanah dominan pasir dengan kepadatan lepas (pasir lepas), dan tanah dominan pasir dengan kepadatan sangat padat (pasir padat). Parameter tanah yang digunakan berasal dari korelasi dan nilai tipikal N-SPT data *boring log*. Hasil dari seluruh perhitungan tiang pancang *spun* dan pancang persegi akan dibandingkan untuk mengetahui jenis tiang yang terbaik dan menjadi tujuan serta kesimpulan dari penelitian ini.

### Daya dukung tekan

Daya dukung suatu tiang pancang dapat dihitung dengan menjumlahkan daya dukung ujung dan selimut serta dibagi dengan suatu faktor keamanan untuk mendapatkan daya dukung izin seperti pada Persamaan 1-2.

$$Q_u = Q_p + Q_s \tag{1}$$

$$Q_{izin} = \frac{Q_u}{FS} \tag{2}$$

dengan  $Q_u$  = daya dukung *ultimate*,  $Q_p$  = daya dukung ujung,  $Q_s$  = daya dukung selimut,  $Q_{izin}$  = daya dukung izin, FS = faktor keamanan (diambil 3).

Daya dukung ujung dan selimut pada tanah berbutir halus dan kasar untuk tiang pancang memiliki perhitungan yang berbeda-beda.

Daya dukung ujung pada tanah pasir ( $c' = 0$ ) oleh Meyerhof dapat menggunakan Persamaan 3-4.

$$Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_l \tag{3}$$

$$q_l = 0,5 p_a N_q^* \tan \phi' \tag{4}$$

dengan  $A_p$  = luas ujung tiang,  $q'$  = tegangan efektif vertikal pada kedalaman ujung tiang,  $N_q^*$  = faktor daya dukung (Tabel 1),  $q_l$  = pembatas satuan tahanan ujung,  $p_a$  = tekanan atmosfer ( $= 100 \text{ kN/m}^2$ ),  $\phi'$  = sudut geser dalam efektif.

Tabel 1. Nilai interpolasi  $N_q^*$  berdasarkan Teori Meyerhof (Das, 2014)

| Sudut Geser Dalam, $\phi$ (°) | $N_q^*$ |
|-------------------------------|---------|
| 20                            | 12,4    |
| 21                            | 13,8    |
| 22                            | 15,5    |
| 23                            | 17,9    |
| 24                            | 21,4    |
| 25                            | 26,0    |

Tabel 1. Nilai interpolasi  $N_q^*$  berdasarkan Teori Meyerhof (Das, 2014)

| Sudut Geser Dalam, $\phi$ ( $^\circ$ ) | $N_q^*$ |
|--|---------|
| 26                                     | 29,5    |
| 27                                     | 34,0    |
| 28                                     | 39,7    |
| 29                                     | 46,5    |
| 30                                     | 56,7    |
| 31                                     | 68,2    |
| 32                                     | 81,0    |
| 33                                     | 96,0    |
| 34                                     | 115,0   |
| 35                                     | 143,0   |
| 36                                     | 168,0   |
| 37                                     | 194,0   |
| 38                                     | 231,0   |
| 39                                     | 276,0   |
| 40                                     | 346,0   |
| 41                                     | 420,0   |
| 42                                     | 525,0   |
| 43                                     | 650,0   |
| 44                                     | 780,0   |
| 45                                     | 930,0   |

Daya dukung ujung pada tanah lempung niralir ( $\phi = 0$ ) oleh Meyerhof dapat menggunakan Persamaan 5.

$$Q_p = 9c_u A_p \quad (5)$$

dengan  $c_u$  = kohesi niralir dari tanah di bawah ujung tiang.

Daya dukung selimut pada tanah pasir dapat menggunakan Persamaan 6-10.

$$Q_s = \sum p \Delta L f \quad (6)$$

$$f = K \sigma'_o \tan \delta' \text{ (untuk } z = 0 \text{ sampai } L') \quad (7)$$

$$f = f_{z=L'} \text{ (untuk } z = L' \text{ sampai } L) \quad (8)$$

$$L' = 15D \quad (9)$$

$$K = 1 - \sin \phi' \quad (10)$$

dengan  $p$  = keliling penampang tiang,  $\Delta L$  = panjang tiang bertahap ketika  $p$  dan  $f$  konstan,  $f$  = tahanan gesek satuan pada kedalaman berapa pun  $z$ ,  $K$  = koefisien tekanan tanah efektif,  $\sigma'_o$  = tegangan vertikal efektif pada kedalaman yang ditentukan,  $\delta'$  = sudut gesekan tanah-tiang ( $0,5\phi'$  sampai  $0,8\phi'$ ),  $z$  = kedalaman tanah yang ditinjau,  $L'$  = kedalaman kritis,  $L$  = tinggi tiang,  $D$  = lebar/diameter penampang tiang.

Daya dukung selimut pada tanah lempung (Metode  $\alpha$ ) dapat menggunakan Persamaan 11.

$$Q_s = \sum \alpha c_u p \Delta L \quad (11)$$

dengan  $\alpha$  = faktor adhesi empiris.

### Daya dukung tarik

Daya dukung tarik tiang pancang terdiri dari kapasitas tarik dan berat sendiri tiang. Kapasitas tarik diambil sama dengan daya dukung selimut. Faktor keamanan yang digunakan adalah 2 kali dari daya dukung izin tekan yaitu 6 untuk daya dukung selimut karena ketidakpastian yang tinggi dan berat tiang tidak perlu dibagi suatu faktor keamanan karena nilainya yang dapat diketahui secara cukup akurat. Daya dukung tarik dapat dihitung dengan Persamaan 12-13.

$$T_u = T + W_p \quad (12)$$

$$T_{izin} = \frac{T}{FS} + W_p \tag{13}$$

dengan  $T_u$  = kapasitas total,  $T$  = kapasitas tarik,  $W_p$  = berat tiang

**Daya dukung lateral**

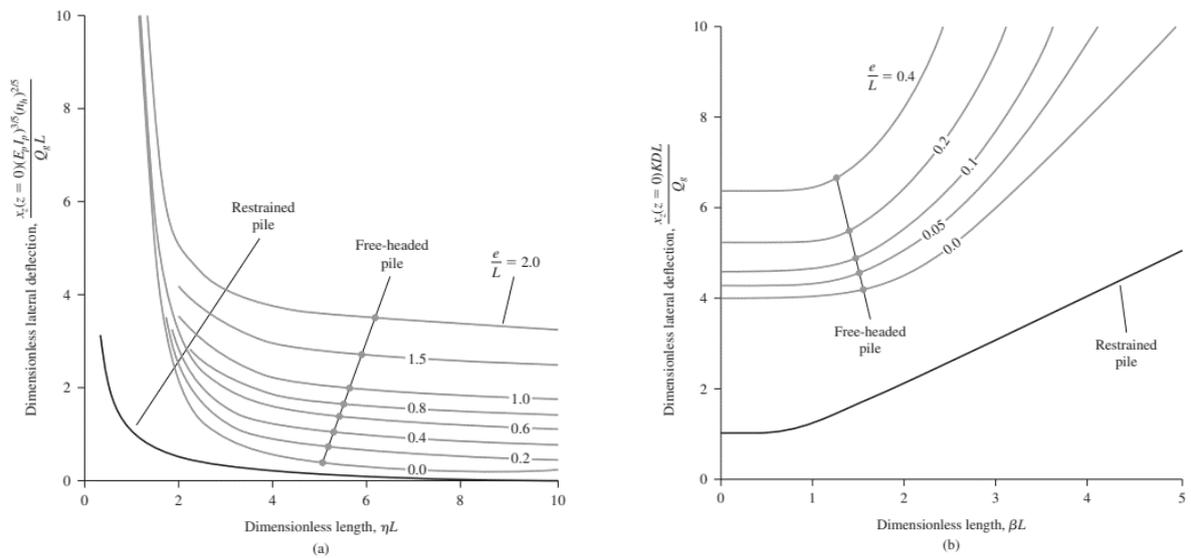
Daya dukung lateral pada penelitian ini dihitung dengan Metode Broms. Defleksi pada fondasi tiang dengan kepala *fixed* dibatasi menjadi 6 mm (Perkadis P2B No. 50 Tahun 2007) sehingga daya dukung lateral yang diperoleh akan berdasarkan defleksi izin.

Untuk mencari daya dukung lateral dengan metode Broms pada tanah pasir dapat menggunakan Persamaan 14-15 dan Gambar 1.

$$\eta = \sqrt[5]{\frac{n_h}{E_p I_p}} \tag{14}$$

$$\text{defleksi lateral tak berdimensi} = \frac{x_z(z=0)(E_p I_p)^{3/5} (n_h)^{2/5}}{Q_g L} \tag{15}$$

dengan  $\eta$  = faktor panjang tak berdimensi,  $n_h$  = konstanta modulus reaksi horizontal tanah dasar (Tabel 2),  $E_p$  = modulus elastisitas tiang,  $I_p$  = momen inersia penampang tiang,  $x_z(z=0)$  = defleksi pada kepala tiang,  $Q_g$  = gaya lateral.



Gambar 1. Grafik solusi Broms untuk mengestimasi defleksi pada kepala tiang pada tanah: (a) pasir dan (b) lempung (Das, 2014)

Tabel 2. Nilai representatif  $n_h$  (Das, 2014)

| Tanah                    | $n_h$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------|-------------------------------|
| Pasir kering atau lembap |                               |
| Lepas                    | 1800-2200                     |
| Medium                   | 5500-7000                     |
| Padat                    | 15000-18000                   |
| Pasir terendam           |                               |
| Lepas                    | 1000-1400                     |
| Medium                   | 3500-4500                     |
| Padat                    | 9000-12000                    |

Untuk mencari daya dukung lateral dengan Metode Broms pada tanah berbutir halus dapat menggunakan Persamaan 16-17 dan Gambar 1.

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{KD}{4E_p I_p}} \quad (16)$$

$$\text{defleksi lateral tak berdimensi} = \frac{x_z(z=0)KDL}{Q_g} \quad (17)$$

dengan  $\beta$  = faktor panjang tak berdimensi,  $K$  = modulus horizontal tanah (**Error! Not a valid bookmark self-reference.**).

Tabel 3. Nilai umum  $K$  untuk tanah lempung

| Unconfined compression strength, $q_u$<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | $K$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------------------|
| 200  | 10000-20000                 |
| 200-800  | 20000-40000                 |
| > 800  | > 40000                     |

## Penurunan

Penurunan suatu fondasi terdiri dari tiga macam penurunan yaitu penurunan elastis, penurunan konsolidasi, dan penurunan *secondary*. Penelitian ini hanya akan memperhitungkan penurunan elastis dan konsolidasi (dengan konsolidasi pada tanah pasir dianggap tidak ada karena mendekati nol).

Penurunan elastis memiliki 3 komponen yaitu penurunan elastis akibat material tiang, beban pada ujung tiang, dan beban yang tersalurkan pada selimut tiang, perhitungannya dapat menggunakan Persamaan 18-21.

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (18)$$

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \quad (19)$$

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (20)$$

$$S_{e(3)} = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \quad (21)$$

dengan  $S_e$  = penurunan elastis,  $S_{e(1)}$  = penurunan elastis akibat material tiang,  $S_{e(2)}$  = penurunan elastis akibat beban yang tersalurkan pada ujung tiang,  $S_{e(3)}$  = penurunan elastis akibat beban yang tersalurkan pada selimut tiang,  $Q_{wp}$  = beban yang dipikul pada titik ujung tiang dalam kondisi beban kerja,  $Q_{ws}$  = beban yang dipikul tahanan kulit dalam kondisi beban kerja,  $\xi$  = berkisar 0,5 – 0,67,  $q_{wp}$  = beban titik per satuan area pada titik ujung tiang =  $Q_{wp}/A_p$ ,  $E_s$  = modulus elastisitas dari tanah pada atau di bawah titik ujung tiang,  $\mu_s$  = Rasio Poisson tanah,  $I_{wp}$  = faktor pengaruh  $\approx$  0,85,  $C_s$  = suatu konstanta empiris =  $(0,93 + 0,16\sqrt{L/D})C_p$ ,  $C_p$  = suatu koefisien empiris,  $q_p$  = daya dukung *ultimate*.

Penurunan konsolidasi memiliki rumus yang berbeda-beda berdasarkan jenis konsolidasi pada tanah yang di tinjau (konsolidasi normal atau berlebihan). Penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan Persamaan 22-26.

$$\Delta\sigma'_i = \frac{Q_g}{(B_g + z_i)(L_g + Z_i)} \quad (22)$$

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \quad (\sigma'_o = \sigma'_c, \text{ konsolidasi normal}) \quad (23)$$

$$C_c = 1,15(e_o - 0,35) \quad (24)$$

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \quad (\sigma'_o + \Delta\sigma' \leq \sigma'_c, \text{ konsolidasi berlebihan}) \quad (25)$$

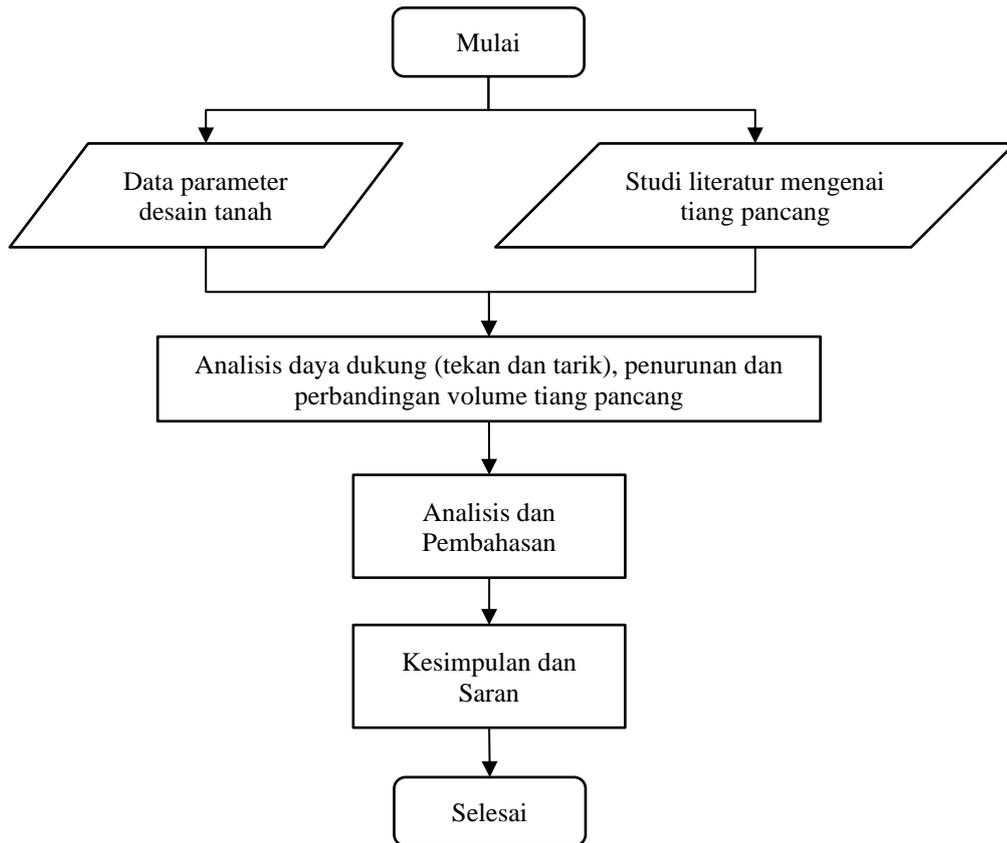
$$S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_c} \quad (\sigma'_o < \sigma'_c < \sigma'_o + \Delta\sigma', \text{ konsolidasi berlebihan}) \quad (26)$$

dengan  $\Delta\sigma'_i$  = penambahan tegangan pada lapisan  $i$ ,  $Q_g$  = beban luar,  $B_g$  = lebar mulainya penyebaran tegangan,  $L_g$  = lebar mulainya penyebaran tegangan,  $z_i$  = kedalaman tengah lapisan dari  $2/3L$ ,  $S_c$  = penurunan konsolidasi,  $C_c$  = indeks kompresi,  $H_c$  = tebal lapisan yang ditinjau,  $e_o$  = angka pori,  $\sigma'_o$  = tegangan akibat berat sendiri tanah di atasnya.

## 2. METODE PENELITIAN

Alur penelitian ini mengikuti diagram alir pada Gambar 2, berikut adalah uraiannya:

1. Persiapan berupa tersedianya data parameter desain tanah serta studi literatur yang cukup agar dapat menganalisis daya dukung (tekan dan tarik), penurunan, dan perbandingan volume tiang pancang.
2. Analisis dilakukan terhadap daya dukung (tekan dan tarik), penurunan, dan perbandingan volume tiang pancang berpenampang bulat dan persegi.
3. Hasil perhitungan akan ditampilkan dalam sebuah tabel sehingga besaran hasil dapat dibandingkan secara mudah.
4. Terakhir, kesimpulan dari perbandingan antara kedua macam tiang pancang akan dijelaskan serta dengan saran untuk penelitian berikutnya.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

### Parameter desain tanah

Parameter tanah yang dibutuhkan untuk menghitung daya dukung (tekan dan tarik) dan penurunan terdapat pada Tabel 4-5 untuk tanah dominan lempung lunak, Tabel 6-7 untuk tanah dominan lanau keras, Tabel 8-9 untuk tanah dominan pasir lepas, dan Tabel 10-11 untuk tanah dominan pasir padat.

Tabel 4. Ringkasan parameter desain tanah dominan lempung lunak

| Lapisan | Kedalaman (m) |      | Jenis Tanah       | Konsistensi       | N-SPT (pukulan/30 cm) | $c'$ (kPa) | $\phi'$ ( $^{\circ}$ ) | $\gamma_{\text{sat}}$ ( $\text{kN/m}^3$ ) | $\gamma_{\text{wet}}$ ( $\text{kN/m}^3$ ) |
|---------|---------------|------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------|------------------------|---|---|
| 1       | 0             | 9    | <i>Silty Clay</i> | <i>Stiff</i>      | 11                    | 10         | 27                     | 19  | 18  |
| 2       | 9             | 25,5 | <i>Silty clay</i> | <i>Very soft</i>  | 1                     | 2          | 20                     | 15  | 14  |
| 3       | 25,5          | 30   | <i>Silty clay</i> | <i>Very stiff</i> | 10                    | 10         | 30                     | 19  | 18  |

Tabel 5. Ringkasan parameter desain tanah dominan lempung lunak (lanjutan)

| Lapisan | $S_u$<br>(kPa) | $e_0$ | OCR | E<br>(MPa) | k<br>(cm/s) | Rasio<br>Poisson | n    | Pc'<br>(kPa) |
|---------|----------------|-------|-----|------------|-------------|------------------|------|--------------|
| 1       | 38             | 0,6   | 5   | 16         | 1E-08       | 0,25             | 0,38 | 220          |
| 2       | 2              | 1,2   | 0,3 | 3          | 1E-07       | 0,4              | 0,55 | 10           |
| 3       | 38             | 0,5   | 1,1 | 16         | 1E-11       | 0,2              | 0,33 | 160          |

Tabel 6. Ringkasan parameter desain tanah dominan lanau keras

| Lapisan | Kedalaman<br>(m) |    | Jenis Tanah | Konsistensi | N-SPT<br>(pukulan/30 cm) | $c'$<br>(kPa) | $\phi'$<br>( $^\circ$ ) | $\gamma_{sat}$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_{wet}$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|---------|------------------|----|-------------|-------------|--------------------------|---------------|-------------------------|--|--|
| 1       | 0                | 14 | Clay        | Soft        | 4                        | 3             | 22                      | 17                                     | 16                                     |
| 2       | 14               | 25 | Silt        | Hard        | 48                       | 42            | 40                      | 20                                     | 19                                     |
| 3       | 25               | 37 | Silt        | Very stiff  | 28                       | 20            | 35                      | 19                                     | 18                                     |
| 4       | 37               | 50 | Sand        | Very dense  | 60                       | -             | 44                      | 21                                     | 20                                     |

Tabel 7. Ringkasan parameter desain tanah dominan lanau keras (lanjutan)

| Lapisan | $S_u$<br>(kPa) | $e_0$ | OCR | E<br>(MPa) | K<br>(cm/s) | Rasio<br>Poisson | n    | Pc'<br>(kPa) |
|---------|----------------|-------|-----|------------|-------------|------------------|------|--------------|
| 1       | 10             | 2,8   | 1   | 4          | 1E-11       | 0,35             | 0,74 | 50           |
| 2       | 160            | 0,4   | 9   | 60         | 1E-10       | 0,2              | 0,29 | 1300         |
| 3       | 100            | 0,5   | 2   | 36         | 1E-09       | 0,25             | 0,33 | 500          |
| 4       | -              | 0,4   | 4   | 70         | 0,0000001   | 0,35             | 0,29 | 1400         |

Tabel 8. Ringkasan parameter desain tanah dominan pasir lepas

| Lapisan | Kedalaman<br>(m) |      | Jenis Tanah | Kepadatan    | N-SPT<br>(pukulan/30 cm) | $\phi'$<br>( $^\circ$ ) | $\gamma_{sat}$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_{wet}$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|---------|------------------|------|-------------|--------------|--------------------------|-------------------------|--|--|
| 1       | 0                | 27   | Sand        | Very loose   | 2                        | 27                      | 18                                     | 17                                     |
| 2       | 27               | 31,5 | Clayey Sand | Loose        | 10                       | 30                      | 19                                     | 18                                     |
| 3       | 31,5             | 76,5 | Clayey Sand | Medium Dense | 22                       | 34                      | 20                                     | 19                                     |

Tabel 9. Ringkasan parameter desain tanah dominan pasir lepas (lanjutan)

| Lapisan | $e_0$ | OCR | E<br>(MPa) | k<br>(cm/s) | Rasio<br>Poisson | n    | Pc'<br>(kPa) |
|---------|-------|-----|------------|-------------|------------------|------|--------------|
| 1       | 0,8   | 0,1 | 3          | 0           | 0,15             | 0,44 | 20           |
| 2       | 0,7   | 0,7 | 14         | 0           | 0,2              | 0,41 | 140          |
| 3       | 0,6   | 0,5 | 30         | 0           | 0,25             | 0,38 | 320          |

Tabel 10. Ringkasan parameter desain tanah dominan pasir padat

| Lapisan | Kedalaman<br>(m) |    | Jenis Tanah   | Kepadatan  | N-SPT<br>(pukulan/30 cm) | $\phi'$<br>( $^\circ$ ) | $\gamma_{sat}$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_{wet}$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|---------|------------------|----|---------------|------------|--------------------------|-------------------------|--|--|
| 1       | 0                | 14 | Gravelly sand | Dense      | 40                       | 40                      | 20                                     | 19                                     |
| 2       | 14               | 30 | Sand          | Very Dense | 50                       | 42                      | 22                                     | 21                                     |

Tabel 11. Ringkasan parameter desain tanah dominan pasir padat (lanjutan)

| Lapisan | $e_0$ | OCR | E<br>(MPa) | k<br>(cm/s) | Rasio<br>Poisson | n    | Pc'<br>(kPa) |
|---------|-------|-----|------------|-------------|------------------|------|--------------|
| 1       | 0,5   | 11  | 46         | 0,0001      | 0,3              | 0,33 | 1000         |
| 2       | 0,4   | 5   | 62         | 1E-05       | 0,35             | 0,29 | 1100         |

### Properti tiang pancang

Tiang pancang spun yang digunakan adalah berdasarkan brosur PT Wijaya Karya Beton Tbk (2019), dengan diameter luar sebesar 600 mm (kelas A), tebal dinding sebesar 100 mm, area penampang sebesar 1570,8 cm<sup>2</sup>, inersia penampang sebesar 510508,81 cm<sup>4</sup>, berat jenis sebesar 393 kg/m, kuat tekan beton ( $f_c'$ ) sebesar 52 MPa, dan tekanan izin sebesar 252,7 ton.

Tiang pancang persegi memiliki lebar penampang sebesar 531,7362 mm, data properti tiang diambil dari ukuran penampang tiang yang mendekati yaitu lebar 500x500 mm (kelas A) dan 450x450 mm (kelas A) pada brosur PT Wijaya Karya Beton Tbk (2019), berat jenis sebesar 700,5321 kg/m, kuat tekan beton ( $f_c'$ ) sebesar 42 MPa, dan tekanan izin sebesar 375,8311 ton (interpolasi).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah analisis perhitungan daya dukung (tekan dan tarik), penurunan, dan perbandingan volume dengan rumus dan data tanah beserta parameternya dari bab sebelumnya, didapatkan hasil pada tanah dominan lempung lunak tertera pada Tabel 12, pada tanah dominan lanau keras tertera pada Tabel 13, pada tanah pasir lepas tertera pada Tabel 14, dan pada tanah dominan pasir padat tertera pada Tabel 15.

Tabel 12. Hasil perhitungan tiang pancang *spun* dan persegi pada tanah dominan lempung lunak

| Parameter                   | Jenis Tiang Pancang |          |
|-----------------------------|---------------------|----------|
|                             | <i>Spun</i>         | Persegi  |
| <b>Tekan</b>                |                     |          |
| $Q_{pa}$ (kN)               | 32,2327             | 32,2327  |
| $Q_{sa}$ (kN)               | 264,4140            | 298,3593 |
| $Q_a$ (kN)                  | 296,6468            | 330,5920 |
| Kapasitas Beton             | Cukup               | Cukup    |
| <b>Tarik</b>                |                     |          |
| $Q_{sa}$ (kN)               | 132,2070            | 149,1796 |
| $W_p$ (kN)                  | 115,6599            | 206,1666 |
| $T_{izin}$ (kN)             | 247,8669            | 355,3462 |
| <b>Penurunan</b>            |                     |          |
| $S_e$ (mm)                  | 3,6712              | 3,0826   |
| $S_c$ (mm)                  | 14,8614             | 14,8614  |
| $S_{total}$ (mm)            | 18,5326             | 17,9439  |
| <b>Lateral</b>              |                     |          |
| Broms ( $Q_{all(g)}$ ) (kN) | 56,1600             | 53,5990  |
| <b>Volume</b>               |                     |          |
| Volume ( $m^3$ )            | 2,5918              | 8,4823   |
| $Q_a$ /Volume               | 114,4553            | 38,9743  |
| $T_{total(izin)}$ /Volume   | 95,6345             | 41,8927  |
| $S_{total}$ /Volume         | 7,1504              | 2,1155   |
| Lateral/Volume              | 21,6682             | 6,3189   |

Tabel 13. Hasil perhitungan tiang pancang *spun* dan persegi pada tanah dominan lempung keras

| Parameter                   | Jenis Tiang Pancang |          |
|-----------------------------|---------------------|----------|
|                             | <i>Spun</i>         | Persegi  |
| <b>Tekan</b>                |                     |          |
| $Q_{pa}$ (kN)               | 84,8230             | 84,8230  |
| $Q_{sa}$ (kN)               | 658,9805            | 743,5798 |
| $Q_a$ (kN)                  | 743,8035            | 828,4028 |
| Kapasitas Beton             | Cukup               | Cukup    |
| <b>Tarik</b>                |                     |          |
| $Q_{sa}$ (kN)               | 329,4902            | 371,7899 |
| $W_p$ (kN)                  | 115,6599            | 206,1666 |
| $T_{izin}$ (kN)             | 445,1501            | 577,9565 |
| <b>Penurunan</b>            |                     |          |
| $S_e$ (mm)                  | 1,9613              | 1,7239   |
| $S_c$ (mm)                  | 0,9910              | 0,9910   |
| $S_{total}$ (mm)            | 2,9524              | 2,7150   |
| <b>Lateral</b>              |                     |          |
| Broms ( $Q_{all(g)}$ ) (kN) | 164,7059            | 156,7222 |

Tabel 13 (lanjutan). Hasil perhitungan tiang pancang *spun* dan persegi pada tanah dominan lempung keras

| Parameter                        | Jenis Tiang Pancang |         |
|----------------------------------|---------------------|---------|
|                                  | <i>Spun</i>         | Persegi |
| <b>Volume</b>                    |                     |         |
| Volume (m <sup>3</sup> )         | 2,5918              | 8,4823  |
| Q <sub>a</sub> /Volume           | 286,9818            | 97,6625 |
| T <sub>total(izin)</sub> /Volume | 171,7524            | 68,1368 |
| S <sub>total</sub> /Volume       | 1,1391              | 0,3201  |
| Lateral/Volume                   | 63,5485             | 18,4764 |

Tabel 14. Hasil perhitungan tiang pancang *spun* dan persegi pada tanah dominan pasir lepas

| Parameter                         | Jenis Tiang Pancang |           |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|
|                                   | <i>Spun</i>         | Persegi   |
| <b>Tekan</b>                      |                     |           |
| Q <sub>pa</sub> (kN)              | 545,5960            | 154,2636  |
| Q <sub>sa</sub> (kN)              | 953,8946            | 973,0466  |
| Q <sub>a</sub> (kN)               | 1499,4906           | 1127,3102 |
| Kapasitas Beton                   | Cukup               | Cukup     |
| <b>Tarik</b>                      |                     |           |
| Q <sub>sa</sub> (kN)              | 476,9473            | 486,5233  |
| W <sub>p</sub> (kN)               | 115,6599            | 206,1666  |
| T <sub>izin</sub> (kN)            | 592,6072            | 692,6899  |
| <b>Penurunan</b>                  |                     |           |
| S <sub>e</sub> (mm)               | 12,6476             | 4,6078    |
| S <sub>c</sub> (mm)               | 0,0000              | 0,0000    |
| S <sub>total</sub> (mm)           | 12,6476             | 4,6078    |
| <b>Lateral</b>                    |                     |           |
| Broms (Q <sub>all(g)</sub> ) (kN) | 47,3766             | 52,1312   |
| <b>Volume</b>                     |                     |           |
| Volume (m <sup>3</sup> )          | 2,5918              | 8,4823    |
| Q <sub>a</sub> /Volume            | 578,5487            | 132,9015  |
| T <sub>total(izin)</sub> /Volume  | 228,6457            | 81,6630   |
| S <sub>total</sub> /Volume        | 4,8798              | 0,5432    |
| Lateral/Volume                    | 18,2793             | 6,1459    |

Tabel 15. Hasil perhitungan tiang pancang *spun* dan persegi pada tanah dominan pasir padat

| Parameter                         | Jenis Tiang Pancang |           |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|
|                                   | <i>Spun</i>         | Persegi   |
| <b>Tekan</b>                      |                     |           |
| Q <sub>pa</sub> (kN)              | 2227,6034           | 2227,6034 |
| Q <sub>sa</sub> (kN)              | 1100,7898           | 1122,8910 |
| Q <sub>a</sub> (kN)               | 3328,3932           | 3350,4944 |
| Kapasitas Beton                   | Tidak Cukup         | Cukup     |
| Q <sub>a</sub> (yang digunakan)   | 2478,9870           | 3350,4944 |
| <b>Tarik</b>                      |                     |           |
| Q <sub>sa</sub> (kN)              | 550,3949            | 561,4455  |
| W <sub>p</sub> (kN)               | 115,6599            | 206,1666  |
| T <sub>izin</sub> (kN)            | 666,0548            | 767,6121  |
| <b>Penurunan</b>                  |                     |           |
| S <sub>e</sub> (mm)               | 5,2899              | 4,8232    |
| S <sub>c</sub> (mm)               | 0,0000              | 0,0000    |
| S <sub>total</sub> (mm)           | 5,2899              | 4,8232    |
| <b>Lateral</b>                    |                     |           |
| Broms (Q <sub>all(g)</sub> ) (kN) | 1351,7153           | 743,6853  |

Tabel 15 (lanjutan). Hasil perhitungan tiang pancang *spun* dan persegi pada tanah dominan pasir padat

| Parameter                        | Jenis Tiang Pancang |          |
|----------------------------------|---------------------|----------|
|                                  | <i>Spun</i>         | Persegi  |
| <b>Volume</b>                    |                     |          |
| Volume (m <sup>3</sup> )         | 2,5918              | 8,4823   |
| Q <sub>a</sub> /Volume           | 956,4680            | 394,9983 |
| T <sub>total(izin)</sub> /Volume | 256,9840            | 90,4957  |
| S <sub>total</sub> /Volume       | 2,0410              | 0,5686   |
| Lateral/Volume                   | 521,5325            | 87,6750  |

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan antara tiang pancang *spun* dan persegi, berikut adalah kesimpulan yang didapat:

1. Pada tanah dominan lempung lunak, tiang pancang persegi memberikan hasil daya dukung tekan (330,5920 kN) dan tarik (355,3462 kN) serta penurunan (17,9439 mm) yang terbaik, hal tersebut dikarenakan area permukaan tiang pancang persegi lebih luas dibanding tiang pancang *spun* sehingga menghasilkan daya dukung selimut yang lebih baik yaitu sebesar 298,3593 kN, sementara tiang pancang *spun* hanya sebesar 264,4140 kN. Tiang pancang *spun* dapat memberikan daya dukung lateral terbaik yaitu sebesar 56,1600 kN dan secara volume padat, tiang pancang *spun* memiliki volume yang lebih sedikit secara signifikan yaitu sebesar 2,5918 m<sup>3</sup> dibanding 8,4823 m<sup>3</sup>, sehingga jika daya dukung tekan, tarik, dan lateral dibandingkan dengan volume, maka tiang pancang *spun* memberikan rasio yang lebih baik yaitu sebesar 114,4553, 95,6343, dan 21,6682 berturut-turut. Namun pada perbandingan penurunan dengan volume, tiang pancang persegi memberikan rasio yang lebih baik yaitu sebesar 2,1155.
2. Pada tanah dominan lanau keras, tiang pancang persegi memberikan hasil daya dukung tekan (828,4028 kN) dan tarik (577,9565 kN) serta penurunan (2,7150 mm) yang terbaik, hal tersebut dikarenakan area permukaan tiang pancang persegi lebih luas dibanding tiang pancang *spun* sehingga menghasilkan daya dukung selimut yang lebih baik yaitu sebesar 743,5798 kN, sementara tiang pancang *spun* hanya sebesar 658,9805 kN. Tiang pancang *spun* dapat memberikan daya dukung lateral terbaik yaitu sebesar 164,7059 kN serta ketika daya dukung tekan, tarik, dan lateral dibandingkan dengan volume, tiang pancang *spun* memberikan rasio yang lebih baik yaitu sebesar 286,9818, 171,7524, dan 63,5485 berturut-turut karena volumenya yang lebih sedikit secara signifikan. Namun, pada perbandingan penurunan dengan volume tiang pancang persegi memberikan rasio yang lebih baik yaitu sebesar 0,3201.
3. Pada tanah dominan pasir lepas, tiang pancang persegi memberikan hasil daya dukung tarik (692,6899 kN) dan lateral (52,1312 kN) dan penurunan (4,6078 mm) yang terbaik. Sehingga, daya dukung tekan terbaik dihasilkan tiang pancang *spun* sebesar 1499,4906 kN dikarenakan selisih daya dukung ujung lebih dominan daripada selisih daya dukung selimut. Ketika daya dukung tekan, tarik, dan lateral dibandingkan dengan volume, tiang pancang *spun* memberikan rasio yang lebih baik yaitu sebesar 578,5487, 228,6457, dan 18,2793 berturut-turut karena volumenya yang lebih sedikit secara signifikan. Namun, pada perbandingan penurunan dengan volume tiang pancang persegi memberikan rasio yang lebih baik yaitu sebesar 0,5432.
4. Pada tanah dominan pasir padat, daya dukung tekan kedua tiang tidak mencukupi kapasitas beton sehingga daya dukung tekan maksimum dibatasi pada kapasitas beton. Tiang pancang persegi memberikan hasil daya dukung tekan (3350,4944 kN) yang jauh lebih baik karena kapasitas beton tiang pancang persegi yang jauh lebih tinggi daripada tiang pancang *spun*. Tiang pancang persegi juga memberikan daya dukung tarik (767,6121 kN) yang jauh lebih baik karena berat tiangnya (206,1666 kN) yang jauh lebih tinggi dibanding tiang pancang *spun* (115,6599 kN). Penurunan yang terjadi juga minimal pada tiang pancang persegi yaitu sebesar 4,8232 mm. Tiang pancang *spun* memiliki daya dukung lateral yang lebih baik yaitu sebesar 1351,7153 kN. Ketika daya dukung tekan, tarik, dan lateral dibandingkan dengan volume, tiang pancang *spun* memberikan rasio yang lebih baik yaitu sebesar 956,4680, 256,9840, dan 521,5325 berturut-turut karena volumenya yang lebih sedikit secara signifikan. Namun, pada perbandingan penurunan dengan volume tiang pancang persegi memberikan rasio yang lebih baik yaitu sebesar 0,5686.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Caecario, R., & Suhendra, A. (2019). Analisa daya dukung fondasi enlarged base berdasarkan data N-SPT dengan program Microsoft Excel. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(2), 135-142. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i2.4302>
- Das, B. M. (2014). *Principles of foundation engineering*. Cengage Learning.

- Long, S., Iskandar, A., & Leman, S. (2019). Analisis daya dukung tiang bor aksial, lateral, dan penurunan pada tanah clay shale di Sentul, Bogor. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 125-134. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i3.5816>
- Penataan dan Pengawasan Bangunan Provinsi DKI Jakarta. (2007). *Pedoman perencanaan struktur dan geoteknik bangunan* (Perkadis P2B No. 50 Tahun 2007).
- Prihatiningsih, A., Iskandar, A., & Veronica. (2023). Dynamic pore water pressure in saturated soil due to turbine engine's vibration. *E3S Web Conf.*, 429, 04010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342904010>
- PT Wijaya Karya Beton Tbk. (2019). *Download brosur*. Diperoleh dari <https://wika-beton.co.id/download-brosur/ind>
- Septiadi, K., & Prihatiningsih, A. (2020). Studi manfaat daya dukung belled pile dan multi-belled pile. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(4), 1113-1124. <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i4.8394>
- Susilo, A. J., Sentosa, G. S., & Prihatiningsih, A. (2019). Predicting the safety factor of ash impoundment against liquefaction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 508, 1-10. DOI 10.1088/1757-899X/508/1/012018
- Susilo, A. J., Sentosa, G. S., Sumarli, I., & Prihatiningsih, A. (2018). Karakteristik parameter kekuatan tanah yang dipadatkan dengan uji triaksial metode UU. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan*, 2(2), 572-579. <https://doi.org/10.24912/jmstkik.v2i2.2721>

