

ANALISIS KAPASITAS DUKUNG TIANG PANCANG TUNGGAL BERDASARKAN DATA N-SPT, CPT DAN KALENDERING

¹Sulha, ²Umran Sarita, ³Fitriah, ⁴Muhammad Sukri
^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo

Koresponden Author : sulha@uho.ac.id

ABSTRAK

Pondasi merupakan suatu pekerjaan yang sangat penting dalam pembangunan konstruksi teknik sipil, karena pondasi berfungsi untuk meneruskan beban yang bekerja dari konstruksi atas (*upper structure*) ke tanah dasar. Analisis kapasitas tiang pancang tunggal merupakan pendekatan untuk mengestimasi kapasitas dukung tanah dasar. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis daya dukung tiang pancang tunggal pada proyek pembangunan gedung tower Bank Sultra Kendari. Dalam penelitian ini, pondasi bangunan gedung menggunakan tiang pancang sistem hidrolik. Analisis kapasitas dukung tiang berdasarkan data lapangan, yaitu data N-SPT, CPT dan Kalendering.

Hasil perhitungan daya dukung pondasi terdapat perbedaan nilai, baik dilihat dari penggunaan perhitungan berdasarkan data N-SPT, $Q_u = 86$ ton, berdasarkan data CPT, $Q_u = 60$ ton dan berdasarkan data kalendering, $Q_u = 93$ ton. Berdasarkan hasil analisis kapasitas dukung tiang pancang, disarankan menggunakan hasil analisis berdasarkan data N-SPT.

Kata Kunci : Pondasi, Tiang Pancang Tunggal, Kapasitas Dukung

ABSTRACT

Foundation is a very important work in the construction of civil engineering, because the foundation serves to carry the load that works from the upper structure to the sub grade. The analysis of a single pile capacity is an approach to estimating the bearing capacity of sub grade.

This study aims to calculate and analyze the bearing capacity of a single pile in the construction of a Kendari tower bank building. In this study, the building foundation uses hydraulic system piles. Analysis of bearing capacity is based on field data, namely N-SPT, CPT and calendaring data.

The calculation results of foundation bearing capacity are different in value, both seen from the use of calculations based on N-SPT data, $Q_u = 86$ tons, based on CPT data, $Q_u = 60$ tons and based on calendaring data, $Q_u = 93$ tons. Based on the results of bearing capacity analysis, it is recommended to use the results of analysis based on N-SPT data.

Keywords : Foundation, Single Pile, Bearing Capacity

1. PENDAHULUAN

Kendari merupakan salah satu ibu kota provinsi di Indonesia yang semakin berbenah diri dalam pembangunan di berbagai sektor. Pembangunan ini bukan hanya bertitik tolak pada pembangunan yang dilakukan oleh pihak Pemerintah, tetapi juga pihak-pihak swasta yang turut berpartisipasi dalam mewujudkan pembangunan nasional.

Pada dasarnya permasalahan fondasi dalam lebih rumit dari fondasi dangkal. Fondasi tiang pancang merupakan salah satu jenis fondasi dalam yang umum digunakan. Tiang ini berfungsi untuk menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah keras yang mempunyai kapasitas daya dukung tinggi yang letaknya cukup dalam di dalam tanah. Dalam penelitian ini, penulis membandingkan daya dukung tanah berdasarkan hasil uji lapangan

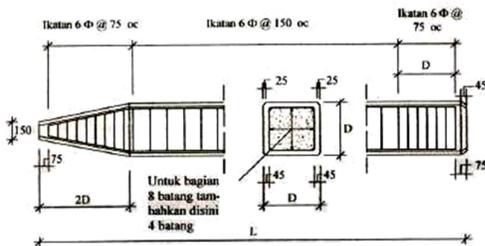
yakni *Standard Penetration Test* (SPT), *Cone Penetration Test* (DCPT) dan hasil uji Kalendering. Hal ini penting untuk mengetahui kelayakan kapasitas dukung tiang pancang tunggal yang optimal terhadap beban struktur yang bekerja.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui daya dukung ultimit tiang pancang tunggal dengan nilai hasil uji SPT, CPT dengan hasil uji Kalendering tiang pancang, mengetahui perbandingan nilai daya dukung ijin uji SPT, CPT dengan hasil uji Kalendering tiang pancang dan mengetahui kelayakan daya dukung tiang pancang tunggal yang optimal dengan beban-beban struktur yang ada.

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Fondasi tiang (*pile foundation*), digunakan bila tanah fondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Fondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibanding dengan fondasi sumuran.

Precast reinforced concrete pile adalah tiang pancang dari beton bertulang bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton (bekisting), kemudian setelah cukup kuat (keras) lalu diangkat dan dipancangkan seperti pada tiang pancang kayu. Karena tegangan tarik beton adalah kecil dan praktis dianggap sama dengan nol, sedangkan berat sendiri daripada beton adalah besar, maka tiang pancang beton ini haruslah diberi penulangan yang cukup kuat untuk menahan momen lentur yang akan timbul pada waktu pengangkatan dan pemancangan.



Gambar 1. Tiang dukung ujung dan tiang gesek
(Sumber: Hary Chrishtady, 2010)

Berdasarkan penyaluran beban ketanah, fondasi tiang dibedakan menjadi 2 yaitu: *Point bearing pile (end bearing pile)* Tiang pancang dengan tahanan ujung. Tiang ini meneruskan beban melalui tahanan ujung ke lapisan tanah pendukung.

Friction pile adalah tiang yang meneruskan beban ketanah melalui geseran kulit (*skin friction*). Pada proses pemancangan tiang-tiang ini dalam suatu kelompok (*group*) tiang yang mana satu sama lainnya saling berdekatan akan menyebabkan berkurangnya pori-pori tanah dan mengcompactkan tanah diantara tiang tiang tersebut dan tanah disekeliling kelompok tiang tersebut. Karena itu tiang-tiang yang termasuk kategori ini disebut juga "*Compaction Pile*".

Friction pile pada tanah berbutir sangat halus (*very fine grained*) dan sukar meloloskan air. Tiang ini juga meneruskan beban ketanah melalui kulit (*skin friction*), akan tetapi pada proses pemancangan kelompok tiang tidak menyebabkan tanah diantara tiang-tiang ini menjadi "*Compact*". Karena itu tiang-tiang yang termasuk kategori ini disebut "*Floating Pile Foundation*".

2.1. Analisis daya dukung fondasi tiang pancang tunggal berdasarkan data *Standar Penetration Test (SPT)*

Kapasitas dukung tiang (*pile capacity* atau *pile bearing capacity*) adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban. Jika dalam kapasitas dukung fondasi dangkal satuannya adalah satuan tekanan (kPa) maka dalam kapasitas dukung tiang satuannya adalah gaya (kN).

Hitungan kapasitas dukung tiang dapat dilakukan dengan cara pendekatan statis dan dinamis. Analisis kapasitas dukung tiang secara statis dilakukan menurut teori mekanika tanah, yaitu dengan mempelajari sifat-sifat teknis tanah, sedangkan analisis dengan cara dinamis dilakukan dengan menganalisis kapasitas ultimit dengan data yang diperoleh dari data pemancangan tiang.

Daya dukung ultimit neto tiang (Q_u), adalah jumlah dari tahanan ujung bawah ultimit (Q_b) dan tahanan gesek ultimit (Q_s) antara sisi tiang dan tanah disekitarnya dikurangi dengan berat sendiri tiang (W_p). bila dinyatakan dalam persamaan, maka:

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad \dots\dots\dots (1)$$

dengan,

- Q_u = Daya dukung ultimit neto (kN)
- Q_b = Tahanan ujung bawah ultimit (kN)
- Q_s = Tahanan gesek ultimit (kN)
- W_p = Berat sendiri tiang (kN)

Bila tiang terletak didalam tanah lempung, kapasitas dukung tiang umumnya dihitung pada kondisi pembebanan tak terdrainase (*undrained*), kecuali jika lempung termasuk jenis lempung terkonsolidasi sangat berlebihan (*highly overconsolidated*).

$$Q_b = A_b f_b \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$f_b = c_b N_c + p_b \quad \dots\dots\dots (3)$$

dengan,

- Q_b = Tahanan ujung bawah ultimit (kN)
- A_b = Luas penampang ujung bawah tiang (m^2)
- c_b = Kohesi pada kondisi undrained tanah yang terletak dibawah ujung tiang yang nilainya diambil dari contoh tanah tak terganggu (kN/m^2)
- N_c = Faktor kapasitas dukung (fungsi dari ϕ)
- p_b = Tekanan overburden ujung bawah tiang (kN/m^2)

N_c diambil sama dengan 9 (Skempton, 1959). Nilai ini dipakai jika rasio panjang atau kedalaman tiang terhadap diameter lebih besar 5.

Bila tiang didalam tanah kohesif, persamaan tahanan gesek dinding ultimit yang didasarkan pada persamaan di bawah, menjadi :

$$Q_s = A_b f_s \dots\dots\dots (4)$$

$$f_s = c_d = \alpha c_u \dots\dots\dots (5)$$

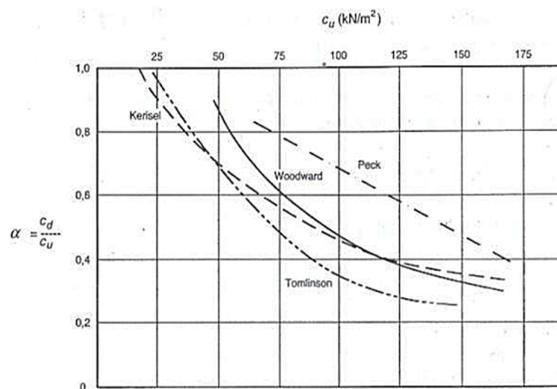
dengan,

- Q_s = Tahanan gesek dinding ultimit (kN)
- f_s = Tahanan gesek per satuan luas ultimit (kN/m²)
- α = Faktor adhesi
- c_u = Kohesi tak terdrainase (kN/m²)
- c_d = Adhesi (kN/m²)
- A_s = Luas selimut tiang (m²)

2.2. Metode α

Untuk menentukan tahanan gesek tiang yang dipancang didalam tanah lempung, digunakan faktor adhesi (α) yang dikumpulkan McClelland (1974).

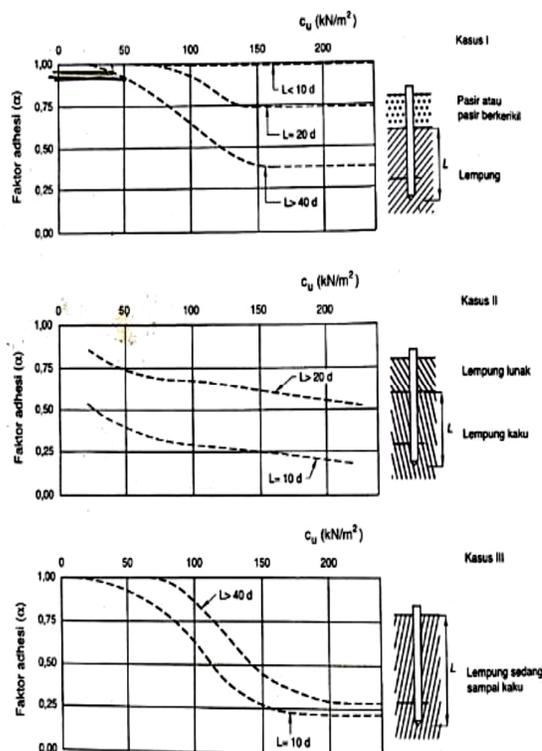
Gambar dibawah ini menunjukkan bahwa lempung dengan $c_u < 25 \text{ kN/m}^2$, α biasa diambil sama dengan 1. Namun, untuk lempung kaku diperoleh nilai yang sangat berbeda-beda oleh pengaruh celah yang terbentuk pada waktu pemancangan tiang.



Gambar 2. Faktor adhesi (α) untuk tiang pancang dalam lempung (McClelland, 1974 dalam Hardiyatmo, 2010)

2.3. Metode Tomlinson

Menurut metode Tomlinson (1977), faktor adhesi memperhatikan pengaruh bentuk-bentuk lapisan tanah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara faktor adhesi dan kohesi untuk tiang pancang dalam tanah lempung (Tomlinson, 1977 dalam Hardiyatmo, 2010)

Dalam kasus I, tiang dipancang dalam tanah berpasir yang terletak diatas lapisan lempung kaku. Celah yang cenderung terbentuk diantara sisi tiang dan tanah disekitarnya, terisi oleh bahan granuler dengan tidak ada tahanan gesek dinding yang hilang. Kasus II, yaitu tanah lunak yang terletak diatas lempung kaku, desakan lempung lunak kebawah mengisi celah diantara dinding dan tanah lempung kaku disekitarnya, akibatnya mengurangi nilai gesekan dinding. Pada kasusu III, tiang dipancang pada lempung sedang sampai kaku yang homogen. Celah yang terbentuk terdapat disekeliling bagian atas tiang. Pada bagian ini tidak ada gesekan dinding yang bekerja. Makin dangkal penembusan tiang dan makin kaku lempungnya, semakin besar pula celah yang terbentuk.

2.4. Analisis daya dukung tiang pancang berdasarkan data uji kerucut statis

Analisis daya dukung fondasi tiang berdasarkan data pengujian *Dutch Cone Penetration Test* (CPT) / Sondir, dimana persamaan umum daya dukung ultimate netto fondasi tiang pancang yakni sebagai berikut :

$$Q_{U-Netto} = Q_b + Q_s - W_p$$

$$= A_b f_b + A_s f_s - W_p \quad \dots\dots\dots (6)$$

dengan,

- Q_u : kapasitas dukung ultimate netto
- A_b : luas ujung bawah tiang
- A_s : luas selimut tiang
- f_b : tahanan ujung tiang
- f_s : tahanan gesek satuan tiang
- W_p : berat tiang

Menurut deRuiter dan Beringen, tahanan gesek satuan tanah kohesif (lempung) ditentukan dari nilai kohesi tak terdrainase ($c_u = q_c/20 = 0,05 q_c$) sebagai berikut :

$$f_s = 0,05 \cdot \alpha \cdot q_c \quad \dots\dots\dots (7)$$

dengan,

- f_s : tahanan gesek satuan, dengan nilai maksimum 1,2 kg/cm² (120 kPa)
- q_c : tahanan konus (kg/cm²)
- α : faktor adhesi, diambil 1 untuk lempung terkonsolidasi normal, dan 0,5 untuk lempung yang over konsolidasi.

Sedangkan tahanan ujung fondasi tiang pada tanah lempung dianalisis seperti halnya pada teori kapasitas daya dukung fondasi dangkal sebagai berikut:

$$f_b = 5 \cdot c_u \quad \dots\dots\dots (8)$$

Dalam menghitung f_b , nilai $c_u = q_u/Nk$ yang digunakan harus mewakili kondisi tanah di sekitar ujung tiang, yaitu dalam kisaran 8d di atas dasar tiang dan 4d di bawahnya.

2.5. Analisis daya dukung tiang pancang berdasarkan data kalendering

Hitungan daya dukung ultimit tiang secara dinamik didasarkan pada rumus tiang pancang dinamik. Rumus ini hanya berlaku untuk tiang tunggal dan tidak memperhatikan hal-hal berikut yakni perilaku tanah yang terletak dibawah dasar kelompok tiang dalam mendukung beban struktur, reduksi tahanan gesek sisi tiang sebagai akibat pengaruh kelompok tiang dan perubahan struktur tanah akibat pemancangan.

Dalam penjabaran rumus pancang, lebih dahulu perlu ditunjukkan notasi-notasi dan satuan yang akan dipakai, yaitu:

- A = Tampang melintang tiang (L^2)
- E_p = Modulus elastis bahan tiang (FL^{-2})
- e_h = Efisiensi pemukul (*hammer efficiency*)
- E_h = Besaran energy pemukul dari pabrik (LF)

- g = Grafitasi (LT^{-2})
- h = Tinggi jatuh pemukul (L)
- I = Jumlah implus yang menyebabkan kompresi atau perubahan momentum (FT)
- k_1 = Kompresi elastis blok penutup (*capblock*) dan *pile cap*, yaitu Q_uL/AE (L)
- k_2 = Komperensi elastic tiang, yaitu Q_uL/AE (L)
- k_3 = Kompresi elastis tanah (L)
- L = Panjang tiang (L)
- m = Massa (berat/gravitasi) (FT^2L^{-1})
- M_r = Momentum ram (*ram momentum*) = mrv (FT)
- n = Koefisien Restitusi
- n_i = Jumlah implus yang menyebabkan restitusi (FT)
- Q_u = Kapasitas tiang limit
- s = Penetrasi per pukulan
- v_{ce} = Kecepatan tiang dan pada akhir periode kompresi (LT^{-1})
- v_i = Kecepatan ram pada saat benturan (LT^{-1})
- v_r = Kecepatan ram pada saat akhir periode restitusi (LT^{-1})
- v_p = Kecepatan tiang pada saat akhir periode restitusi (LT^{-1})
- W_p = Berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap block*) (Juga termasuk *anvil* untuk pemukul uap aksi double) (F)
- W_r = Berat *ram* (untuk pemukul aksi *double* termasuk berat *casing*)

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{C} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \quad \dots\dots\dots (9)$$

Nilai efisiensi pemukul (e_h) bergantung pada kondisi pemukul dan blok penutup (*capblok*) dan kondisi tanah (khususnya untuk pemukul tenaga uap). Rumus yang disarankan oleh Janbu (1953), Mansur & Hunter (1970) adalah sebagai berikut :

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{K_u s} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$K_u = C_d \left[1 + \left(1 + \frac{\lambda}{C_d} \right)^{1/2} \right] \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$C_d = 0,75 + 0,15 \left(\frac{W_p}{W_r} \right) \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\lambda = \frac{e_h E_h L}{AE_p s^2} \quad \dots\dots\dots (13)$$

Dengan s adalah penetrasi terakhir (m) yaitu digunakan nilai rata-rata 5 pukulan terakhir untuk

pemukul yang cara pemukulannya dijatuhkan dan 20 pukulan untuk jenis yang lain (Chellis, 1961).

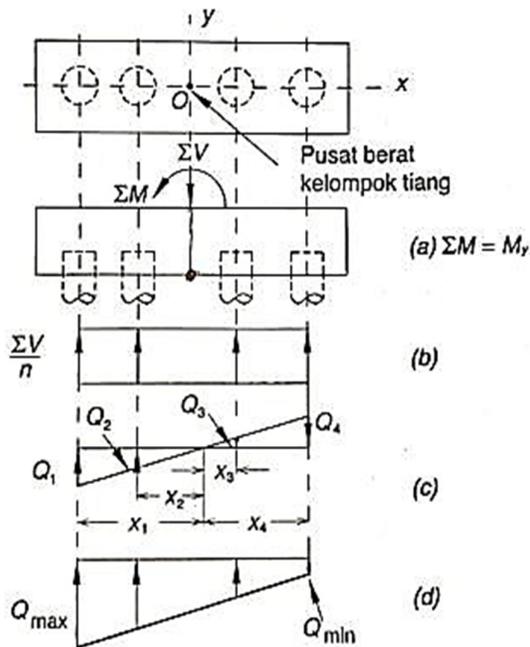
Olsen & Flate, 1967 menyarankan :

$$Q_u = \frac{e_h E_h}{s + C_1} \dots\dots\dots (14)$$

$$C_1 = \sqrt{\frac{e_h E_h L}{2AE}} \dots\dots\dots (15)$$

2.6. Perhitungan Beban Tiang

Analisis tahanan momen kelompok tiang diilustrasikan pada Gambar. Jika tidak ada momen, beban vertical total V akan lewat titik berat dari empat tiang dan beban pada masing-masing tiang akan sama (Gambar 4b). Tetapi, jika beban yang bekerja hanya momen saja, beban yang harus didukung oleh masing-masing tiang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4c. Beban pada tiang yang sama juga akan diperoleh bila beban vertical (V) eksentris sebesar e disebelah kiri pusat tiang.



Gambar 4. Hitungan reaksi tiang (Hardiyatmo, 2010)

Reaksi total atau beban aksial pada masing-masing tiang adalah jumlah dari reaksi akibat beban-beban V dan M_y , yaitu:

$$Q_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\Sigma x^2} \dots\dots\dots (16)$$

dengan,

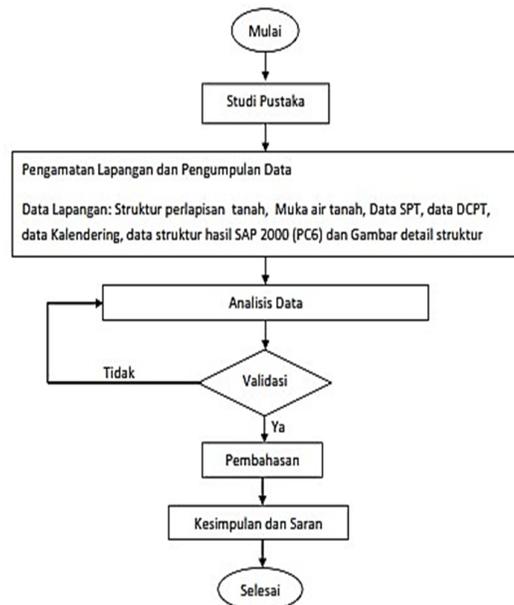
- Q_i = reaksi tiang atau beban aksial tiang ke-I (kN)
- V = jumlah gaya-gaya vertikal (kN)
- M_y = $e \times V$ = jumlah momen terhadap sumbu-y (kN.m)
- e_x = eksentrisitas searah sumbu-x (m)
- n = jumlah tiang dalam kelompok
- x_i = jarak searah sumbu-x dari pusat berat kelompok tiang ketiang nomer-i
- Σx^2 = jumlah kwadrat dari jarak tiap-tiap tiang kepusat kelompok tiang (m^2)

2.7. Faktor Aman Tiang Pancang

Untuk memperoleh kapasitas izin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Faktor aman, F umumnya digunakan 3 sampai 6. Dalam penelitian ini, F untuk perhitungan data N-SPT dan kalendering menggunakan $F = 3$ dan data CPT menggunakan $F = 4$.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan mengumpulkan data lapangan terkait lokasi penelitian yakni data N-SPT, DCPT, Kalendering dan data struktur yakni hasil SAP 2000 nomor axis/as D2 (PC6) serta gambar detail struktur. Dalam penelitian ini, prosedur penelitian dilakukan sehubungan dengan tujuan penelitian disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang tunggal dilakukan dengan data hasil pengujian lapangan yakni hasil pengujian N-SPT, CPT dan kalendering.

4.1. Perhitungan Kapasitas Dukung Ultimit Berdasarkan Data N-SPT

Pada perhitungan daya dukung (Q_u) tiang pancang tunggal dengan berdasar pada nilai SPT digunakan Persamaan 1, Persamaan 2 dan Persamaan 3. dengan ketentuan sebagai berikut.

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$$

Tahanan ujung ultimit tiang (*end bearing pile*) adalah :

$$\begin{aligned} Q_b &= A_b c_u N_c \\ &= 0,452 \times 132 \times 9 \\ &= 240,57 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tahanan gesek ultimit tiang (*friction pile*)

$$Q_s = \alpha c_u A_s$$

4.1.1. Metode α

Keliling tiang = $4s = 4 \times 0,45 = 1,8 \text{ m}$
Berdasarkan gambar 2, dengan memilih kurva Woodward: untuk $c_u = 132 \text{ kN/m}^2$, diperoleh $\alpha = 0,35$.

$$\begin{aligned} Q_s &= \alpha c_u A_s \\ &= 0,35 \times 132 \times (1,8 \times 21) \\ &= 1746,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.1.2. Metode Tomlinson

Berdasarkan Gambar 3 (Kasus III) untuk $c_u = 132 \text{ kN/m}^2$, diperoleh $\alpha = 0,6$

$$\begin{aligned} Q_s &= \alpha c_u A_s \\ &= 0,6 \times 132 \times (1,8 \times 21) \\ &= 2993,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berat tiang (W_p) :

$$\begin{aligned} W_p &= \text{volume tiang } (\gamma_{\text{beton}} - \gamma_w) \\ &= (0,452 \times 1 \times 25) + (0,452 \times 20 \times (25 - 10)) \\ &= 65,81 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk menentukan nilai Q_s , berdasarkan hasil hitungan dengan metode α dan metode Tomlinson, penulis mengambil nilai rata-rata dari kedua metode tersebut.

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{1}{2} (1746,36 + 2993,76) \\ &= 2370,06 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Jadi, kapasitas dukung ultimit tiang adalah :

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_b + Q_s - W_p \\ Q_u &= 240,57 + 2370,06 - 65,81 \\ &= 2544,82 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.2. Perhitungan Kapasitas Dukung Ultimit Berdasarkan Data CPT

Panjang tiang pancang yang direncanakan = 9 m (Persamaan 1)

$$\begin{aligned} Q_u &= A_b f_b + A_s f_s - W_p \\ A_b &= 0,452 = 20,25 \text{ m}^2 \\ A_s &= 4 \times 0,45 (9 \times 100) = 1620 \text{ m}^2 \\ f_b &= 5 c_u \\ &= 5 (144,04/20) = 0,036010 \text{ ton/m}^2 \\ f_s &= K_c q_c \\ &= 0,001062 \text{ ton/m}^2 \\ Q_u &= (20,25 \times 0,036010) + (1620 \times 0,001062) - 4,650 \\ &= 240,30632 \text{ ton} = 2357 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.3. Perhitungan Kapasitas Dukung Ultimit Berdasarkan Data Kalendering

Untuk menentukan daya dukung tiang pancang tunggal berdasar pada data kalendering metode yang digunakan yakni menurut Janbu (1953), Mansur dan Hunter (Persamaan 10–12) dan Olsen dan Flate (1967) (Persamaan 14–15). Dengan ketentuan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Dimensi tiang pancang} &= 0,45 \times 0,45 \text{ m} \\ \text{Panjang tiang pancang yang rencana} &= 12 + 9 \\ &= 21 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang tiang (A)} &= 0,45 \times 0,45 \\ &= 0,2025 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Final set (s)} &= 0,73 \text{ cm/pukulan} \\ &= 0,0073 \text{ m/pukulan.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tiang pancang / m}^3 \text{ Bj.Beton} \times A_s &= 24 \text{ kN/m}^3 \\ \times 0,2025 \text{ m}^2 &= 4,86 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_p &= \text{volume tiang } (\gamma_{\text{beton}} - \gamma_w) \\ &= (0,452 \times 1 \times 25) + (0,452 \times 20 \times (25 - 10)) \\ &= 65,81 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Hammer (Wr)} &= 5,3 \text{ ton} = 5,3 \times 9,8067 \\ &= 51,9753 \text{ kN} = 5300 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi jatuh hammer (h)} = 1,5 \text{ m}$$

Karena dipakai pemukul aksi tunggal, $e_h = 0,75$.

4.3.1. Janbu (1953), Mansur & Hunter (1970)

$$\begin{aligned} E_h &= W_r h \\ &= 51,9753 \times 1,5 = 77,96295 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_p &= 4700 \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \sqrt{45,8} \\
 &= 31807,578 \text{ MN/m}^2 = 31807578 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{e_h E_h L}{A E_p s^2} \\
 &= \frac{0,75 \times 77,96295 \times 21}{0,2025 \times 31807578 \times 0,00005329} \\
 &= \frac{1227,916}{343,2427278} = 3,57
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_d &= 0,75 + 0,15 (W_p/W_r) \\
 &= 0,75 + 0,15 (65,81/51,9753) = 0,94
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_u &= C_d [1 + (1 + \lambda C_d)^{1/2}] = 0,94 [1 + (1 + \\
 &3,57/0,94)^{1/2}] = 2,99
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= \frac{e_h E_h}{s + C_1} \\
 &= \frac{0,75 \times 51,9753 \times 1,5}{3,42 \times 0,0073} \\
 &= \frac{58,4722125}{0,024991934} = 2339,643 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4.3.2. Olsen & Flate (1967)

$$\begin{aligned}
 Q_u &= \frac{e_h E_h}{s + C_1} \\
 C_1 &= \sqrt{\frac{e_h E_h L}{2 A E_p}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,75 \times 77,96295 \times 21}{2 \times (0,45)^2 \times 31807578}} \\
 &= \sqrt{\frac{1227,91}{12882068,97}} = 0,009763187 \text{ m} \\
 Q_u &= \frac{0,75 \times 77,96295}{0,0073 + 0,00976} \\
 &= \frac{58,4722125}{0,017063187} = 3426,805 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas dukung ultimit (Q_u) tiang pancang berdasarkan perhitungan Janbu (1953), Mansur & Hunter (1970), Olsen & Flate (1967) memiliki perbedaan nilai daya dukung yang cukup signifikan. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa nilai daya dukung metode Olsen dan Flate lebih tinggi dari pada metode Janbu, sehingga untuk menentukan daya dukung ultimit berdasarkan data

kalendering dapat diambil nilai rata-rata dari hasil hitungan kedua metode yang digunakan. Dengan ketentuan dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 \text{Qrata-rata} &= \frac{1}{2} (2339,64 + 3426,81) \\
 &= 2883,22 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan 8, daya dukung ijin tiang pancang tunggal (Q_a) adalah :

Berdasarkan data N-SPT,

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{2544,82}{3} \\
 &= 848,27 \text{ kN} = 86 \text{ ton.}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data CPT,

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{240,31}{4} \\
 &= 60 \text{ ton.}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data kalendering,

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{2883,22}{3} \\
 &= 961,07 \text{ kN} = 98 \text{ ton.}
 \end{aligned}$$

4.4. Pembahasan

Pada perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal berdasarkan data hasil N-SPT, CPT dan Kalendering, diperoleh nilai kapasitas dukung tiang yang berbeda. Adapun nilai daya dukung ijin fondasi yang dimaksud adalah:

Tabel 1. Hasil perhitungan kapasitas dukung ijin tiang pancang tunggal

No.	Pengujian	Kedalaman (m)	Kapasitas Dukung Ijin, Q_a (ton)
1	N-SPT	21	86
2	CPT	9	60
3	Kalendering	21	98

Daya dukung ijin (Q_{all}) CPT dengan kedalaman 9 m, menunjukkan bahwa kedalaman pengujian tidak mencapai tanah keras yakni ≥ 21 m, hal tersebut dikarenakan terbatasnya pengambilan kekuatan struktur tanah pada sondir yaitu dengan kapasitas bacaan *cone resistance* maksimal 250 kg/cm², sehingga hasil perhitungan berdasarkan data CPT, tidak dapat di jadikan acuan perhitungan kapasitas dukung tiang.

Berdasarkan hasil daya dukung perhitungan sebelumnya pada nomor axis/as D2 (PC.6) yakni diperoleh nilai beban sebesar 445,958 kN, momen di x ($M1$) sebesar 124.640 kN-m dan momen di y ($M2$) sebesar 79.125 kN-m untuk 6 tiang (tiang kelompok). Berdasarkan lay out pada Gambar 6, beban yang ditanggung oleh masing-masing tiang di jabarkan dengan menggunakan Persamaan 16 berikut.

$$Q_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x^2}$$

$$\sum x^2 = 2 \times 0,6752 + 2 \times (-0,675) 2 = 1,823$$

$$\sum y^2 = 3 \times 1,3502 + 2 \times (-1,350) 2 = 10,935$$

$$Q_{11} = 239.064 \text{ kN} = 24 \text{ ton}$$

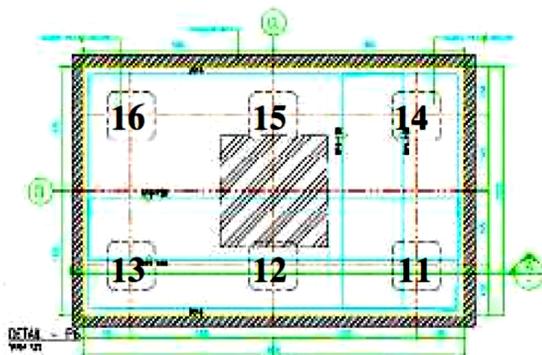
$$Q_{12} = 69.450 \text{ kN} = 7 \text{ ton}$$

$$Q_{13} = -100.164 \text{ kN} = -10 \text{ ton}$$

$$Q_{14} = 248.817 \text{ kN} = 25 \text{ ton}$$

$$Q_{15} = 79.203 \text{ kN} = 8 \text{ ton}$$

$$Q_{16} = -90.411 \text{ kN} = -9 \text{ ton}$$



Gambar 6. Lay out tiang pancang

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan, diperoleh beberapa kesimpulan berikut:

1. Kapasitas dukung batas tiang pancang tunggal sesuai data N-SPT = 2544,82 kN pada kedalaman 21 m, berdasarkan data CPT = 2357 kN di kedalaman 9 m dan berdasarkan data kalendering = 2883,22 kN di kedalaman 21 m.
2. Pada hasil analisis daya dukug izin (Q_a) tiang pancang tunggal berdasarkan N-SPT, CPT dan kalendering, diperoleh nilai N-SPT = 86 ton, CPT = 60 ton dan Kalendering = 98 ton. Dengan

demikian, terlihat bahwa nilai daya dukung ijin kalendering lebih tinggi dibandingkan nilai pengujian lainnya.

3. Berdasarkan hasil hitungan distribusi beban tiang kelompok ke tiang tunggal, diperoleh nilai beban untuk tiang tunggal adalah sebesar 248,817 kN = 25 ton. Dengan demikian tiang yang digunakan pada proyek pembangunan tower Bank Sultra Kendari, dapat dikategorikan aman dan mampu mendukung beban struktur yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph. 1991. *Foundation Analisis and Design, Jilid II* 123 halaman. Erlangga. Jakarta.
- Bowles, J.E., 1977, *Foundation Analisis and Design*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo, Japan.
- Hardiyatmo, H.C., 2007, *Mekanika Tanah II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Christady, Hary. 1996. *Teknik Pondasi I* 314 halaman. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2010, *Analisis dan Perancangan Fondasi, Bagian II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sardjono HS, 1988. *Pondasi tiang pancang, Jilid I* SNI 4153-2008, 2008, *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*, Badan Standarisasi Nasional, Balitbang Departemen PU, Jakarta.
- SNI 2827-2008, 2008, *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan Sondir*, Badan Standarisasi Nasional, Balitbang Departemen PU, Jakarta.