



Teknologi Tiang Pancang dengan Sepatu Tiang (Broaded Bottom Pile)

Karminto*, Johansen Pardede, Hotma Harapan Saragih

Universitas Tarumanagara, Indonesia

Email: karminto_008@yahoo.co.id*, acon.p66@gmail.com, aikosaragih26@gmail.com

Keywords:

Soft soil, Broaded Bottom Pile, construction.

Kata Kunci:

Tanah lunak, Sepatu Tiang Pancang, konstruksi, Vulkanik, Sedimen.

Abstract

Indonesia is a volcanic and sedimentary area, so that in some areas there are soft soil contents such as soft clay, soft silt and peat. This condition becomes a major obstacle in the construction of road infrastructure, bridges, and housing due to low soil bearing capacity and large settlement potential. Various soft soil improvement methods have been developed, but they are still constrained by high costs and long implementation time. This study aims to examine the application of Broaded Bottom Pile technology as an alternative solution for soft soil improvement that is more efficient. The method used is a quantitative approach with bearing capacity calculation analysis based on BH-2 soil investigation data using the α method (adhesion factor) to calculate skin friction capacity and end bearing capacity. The results show that Broaded Bottom Pile technology can achieve end bearing at N-SPT value around 30, lower than conventional piles which require N-SPT 50-60, so that the pile depth can be shortened from 20 m to about 10 m. The ultimate bearing capacity (Q_{ult}) of 35/35 cm pile at 10 m depth reached 120.80 tons with allowable bearing capacity (Q_{all}) of 60.40 tons. The use of this technology provides construction cost savings of up to 30-50% and significant time efficiency, but is limited to single piles with a maximum length of 20 m. This study concludes that Broaded Bottom Pile is a more economical and efficient soft soil improvement solution compared to conventional methods, with wide application potential in various construction projects in Indonesia.

Abstrak

Indonesia merupakan negara dengan kondisi geologi vulkanik dan sedimen, sehingga pada banyak wilayah dijumpai lapisan tanah lunak seperti lempung lunak, lanau lunak, dan gambut. Kondisi ini menjadi kendala utama dalam pembangunan infrastruktur jalan, jembatan, dan perumahan karena daya dukung tanah yang rendah dan potensi penurunan (settlement) yang besar. Berbagai metode perbaikan tanah lunak telah dikembangkan, namun masih terkendala biaya tinggi dan waktu pelaksanaan yang lama. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan teknologi Broaded Bottom Pile (tiang pancang dengan sepatu) sebagai alternatif solusi perbaikan tanah lunak yang lebih efisien. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan analisis perhitungan daya dukung berdasarkan data penyelidikan tanah BH-2 menggunakan metode α (faktor adhesi) untuk menghitung kapasitas dukung selimut (skin friction) dan kapasitas dukung ujung (end bearing). Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi Broaded Bottom Pile mampu mencapai end bearing pada nilai N-SPT sekitar 30, lebih rendah dibandingkan tiang pancang konvensional yang memerlukan N-SPT 50-60, sehingga kedalaman pemancangan dapat dipersingkat dari 20 m menjadi sekitar 10 m. Kapasitas dukung ultimit (Q_{ult}) tiang pancang 35/35 cm pada kedalaman 10 m mencapai 120,80 ton dengan kapasitas dukung izin (Q_{all}) 60,40 ton. Penggunaan teknologi ini memberikan penghematan biaya konstruksi hingga 30-50% serta efisiensi waktu pelaksanaan yang signifikan, namun terbatas pada tiang tunggal (single pile) dengan panjang maksimum 20 m. Penelitian ini menyimpulkan bahwa Broaded Bottom Pile merupakan solusi perbaikan tanah lunak yang lebih ekonomis dan efisien dibandingkan metode konvensional, dengan potensi penerapan yang luas pada berbagai proyek konstruksi di Indonesia.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan kondisi geologi vulkanik dan sedimen, sehingga pada banyak wilayah dijumpai lapisan tanah lunak seperti lempung lunak, lanau lunak, dan gambut. Kondisi tanah lunak ini kerap menjadi kendala utama dalam pembangunan infrastruktur jalan, baik jalan tol, jalan provinsi/kabupaten, jembatan, maupun jalan perumahan, karena daya dukungnya yang rendah dan potensi penurunan (*settlement*) yang besar (Al Kautsar et al., 2024; Apriani & Rahmat, 2020; Gultom et al., 2024; Mosley et al., 1999). Oleh karena itu, diperlukan penanganan konstruksi secara teknis yang dapat menyerupai kinerja konstruksi tiang pancang, namun dengan biaya yang lebih murah dan waktu pelaksanaan yang lebih cepat (AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Section 5: Concrete Structures, 2020; ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete, 2019).

Perbaikan tanah merupakan alternatif yang diambil ketika kondisi tanah tidak memenuhi syarat untuk mendukung konstruksi bangunan (Schweiger & Tschuchnigg, 2021; Xu & Jin, 2024). Tanah sebagai bahan konstruksi maupun fondasi selalu dapat diperbaiki kinerjanya dengan tujuan meningkatkan kekuatan tanah baik kuat geser maupun kuat tekan tanah, mengurangi kompresibilitas tanah dimana pengurangan volume dapat disebabkan oleh pengurangan volume udara maupun kandungan air oleh beban, mereduksi *settlement* menjadi zero *settlement*, mengontrol permeabilitas, mengurangi tekanan air pori, atau meningkatkan drainase, serta mengontrol penyusutan dan pengembangan atau meningkatkan stabilitas volume tanah (Das, 2010, 2011). Dengan demikian, pemilihan metode perbaikan tanah yang tepat, termasuk teknologi *Broadened Bottom Pile*, perlu memperhatikan kelima aspek tersebut agar fondasi yang dihasilkan mampu mendukung konstruksi secara aman, ekonomis, dan efisien (Anandita et al., 2023; Darojatun & Nuranita, 2024; Herbudiman et al., 2025; Kristyanto et al., 2022). Berbagai metode perbaikan tanah lunak telah banyak digunakan dalam praktik geoteknik, seperti Deep Mixing Method, geotekstil, preloading dengan vertical drain, hingga konstruksi tiang pancang konvensional, di mana pemilihan metode harus disesuaikan dengan karakteristik tanah pada lokasi pekerjaan (Farauk, 2013).

Pada konstruksi tiang pancang konvensional, kapasitas dukung ujung tiang (*end bearing*) umumnya diperoleh pada kedalaman dengan nilai N_{spt} berkisar 50–60, sehingga pada lapisan tanah lunak yang dalam, tiang pancang perlu ditanam sangat panjang agar mencapai lapisan tanah keras (Kong et al., 2021; Li et al., 2022; Lim et al., 2023). Hal ini berdampak pada peningkatan biaya material, waktu pelaksanaan, serta risiko konstruksi (Lin & Burns, 2000; Nawy, 2001). Kondisi ini mendorong pengembangan teknologi inovatif yang mampu meningkatkan efisiensi konstruksi tiang pancang pada tanah lunak.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, dikembangkan teknologi tiang pancang dengan sepatu tiang atau *Broadened Bottom Pile*, yaitu tiang pancang berbentuk kotak dengan pelat tambahan pada bagian bawah yang membuka secara mekanis saat proses pemancangan ditekan oleh besi penyambung tiang. Dengan adanya pelat sepatu ini, daya dukung ujung (*end bearing*) tiang dapat tercapai pada nilai N_{spt} sekitar 30, lebih rendah dibandingkan tiang pancang biasa, sehingga kedalaman tiang yang diperlukan menjadi lebih singkat. Teknologi ini diklaim dapat memberikan penghematan biaya konstruksi hingga 30–50% dibandingkan dengan tiang pancang konvensional, dengan penggunaan yang saat ini terbatas pada tiang tunggal (*single pile*) dengan panjang maksimum 20 m. Namun, kajian ilmiah mengenai perhitungan daya dukung serta efektivitas teknologi *Broadened Bottom Pile* ini pada kondisi tanah lunak masih

terbatas, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memberikan dasar perhitungan yang dapat diaplikasikan pada praktik rekayasa di lapangan.

Kajian ilmiah mengenai perhitungan daya dukung serta efektivitas teknologi *Broaded Bottom Pile* pada kondisi tanah lunak masih terbatas (Susanto & Wijaya, 2023). Penelitian terdahulu oleh Pratama et al. (2020) dan Rahman & Hidayat (2022) lebih berfokus pada aspek konstruksi dan biaya, tanpa memberikan analisis mendalam tentang perhitungan daya dukung. Sementara itu, penelitian tentang tiang pancang dengan sepatu di Indonesia masih jarang dilakukan, padahal potensi penerapannya sangat besar mengingat banyaknya wilayah dengan kondisi tanah lunak di Indonesia (Hardiyatmo, 2018). Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memberikan dasar perhitungan yang dapat diaplikasikan pada praktik rekayasa di lapangan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan teknologi tiang pancang dengan sepatu tiang (*Broaded Bottom Pile*) sebagai alternatif solusi perbaikan tanah lunak, serta menghitung dan membandingkan daya dukung tiang pancang yang menggunakan teknologi tersebut dengan tiang pancang konvensional pada kondisi tanah lunak yang sama. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi teknis bagi perencana dan praktisi rekayasa geoteknik dalam memilih metode perbaikan tanah yang lebih efisien, baik dari segi biaya maupun waktu pelaksanaan.

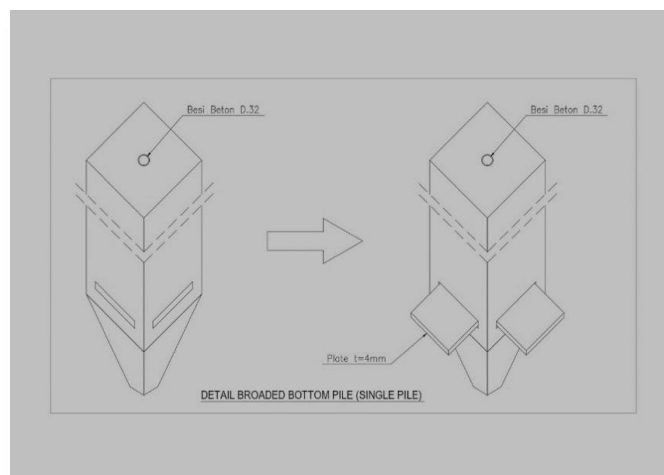
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental berbasis data lapangan yang bersifat komparatif, yaitu membandingkan kapasitas daya dukung antara tiang pancang konvensional dengan tiang pancang menggunakan teknologi *Broaded Bottom Pile* pada kondisi tanah yang sama. Penelitian dilaksanakan di lokasi yang memiliki karakteristik tanah lunak dengan data penyelidikan tanah BH-2 RS Immanuel Jl. Kopo Bandung. Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari hasil uji sondir, uji bor, nilai N-SPT, dan parameter tanah, serta diperkuat dengan data dari berbagai literatur dan dokumen sitasi yang relevan. Instrumen penelitian meliputi peralatan uji tanah, alat sondir, mesin bor, peralatan uji laboratorium, serta perangkat lunak analisis data seperti Microsoft Excel. Prosedur penelitian dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu tahap pengumpulan data yang meliputi identifikasi lokasi, uji sondir dan pengeboran untuk mendapatkan data tanah seperti nilai N-SPT dan parameter tanah, tahap pengolahan data yang meliputi klasifikasi lapisan tanah, penentuan parameter perhitungan daya dukung (kohesi tanah, faktor adhesi, tahanan gesek selimut, dan tahanan ujung), serta perhitungan daya dukung tiang pancang konvensional dan *Broaded Bottom Pile* pada berbagai kedalaman, dan tahap analisis data yang meliputi perbandingan hasil perhitungan daya dukung antara kedua metode serta analisis efisiensi biaya dan waktu pelaksanaan. Perhitungan daya dukung menggunakan rumus konvensional, yaitu $Q_s = A_s \times \sum(C_a \times l_i)$ untuk kapasitas dukung selimut, $Q_b = A_b \times q_b$ untuk kapasitas dukung ujung, $Q_{ult} = Q_s + Q_b$ untuk kapasitas dukung ultimit, dan $Q_{all} = Q_{ult} / SF$ untuk kapasitas dukung izin dengan faktor keamanan 2. Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan menyajikan profil tanah, nilai N-SPT, dan parameter tanah dalam tabel dan grafik, dilanjutkan dengan perhitungan daya dukung pada tiga kedalaman berbeda yaitu 10 m, 16 m, dan 20 m, serta perbandingan kapasitas dukung ultimit, kapasitas dukung izin, efisiensi biaya, dan efisiensi waktu pelaksanaan antara kedua metode.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbaikan Tanah dengan Metoda Tiang Pancang Sepatu (*Broaded Bottom Pile*)

Penemuan tiang pancang yakni *Broaded Bottom Pile* yakni Tiang Pancang kotak dengan dimensi yang disesuaikan, dimana pelat keluar dari bawah setelah ditekan besi Penyambung Tiang Pancang ini khusus untuk Panjang yang digunakan **0-20m (Single Pile)** tidak bisa digunakan untuk Tiang bersambung. Keunggulan dari metoda ini adalah dari segi biaya bisa penghematan bisa sampai 30-50% dibandingkan tiang pancang biasa, dimana untuk tiang pancang end bearing di **Nspt 50-60**, sedangkan untuk *Broaded Bottom Pile end bearing* di **NSPT 30**



Gambar 1. Detail Broaded Bottom Pile (Single Pile)

Sumber: Wicaksono & Santoso (2021) dan dokumen teknis Broaded Bottom Pile (2024)

Spesifikasi teknis Broaded Bottom Pile :

1. Tiang Pancang dengan Sepatu Tiang /Broaded Bottom Pile single Pile maksimum 20m
2. Saat End bearing Di NSPT 40 keluar Pelat ke 4 sisi nya dengan tebal pelat 4mm
3. Terdapat besi D32mm untuk menggerakkan pelat tebal 4mm sehingga keluar saat dipancang ke empat pelat tersebut.
4. Menggunakan berat ram hammer ideal agar tiang pancang tertanam sempurna tanpa merusak tiang Sepatu dengan rumus sebagai berikut :

$$W_h = (0,5 \times W_p) + 600 \text{ kg}$$

W_h = berat hammer (kg)

W_p = berat tiang pancang (kg)

Contoh Perhitungan Daya Dukung Menggunakan Bottom Broaded Pile

Secara *teoritis* perhitungan *Broaded Bottom Pile* berdasarkan data tanah BH-2 yakni *Pemancangan Tiang Pancang • 35cmx35cm* dikedalaman **10m**, Apabila menggunakan tiang pancang • 35cmx35cm adalah di kedalaman **20m**

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah diambil data test tanah Bor Hole no 2 RS Immanuel Jl. Kopo Bandung sebagai berikut :

1. Lapisan 1 (0 m s/d -2 m)

$$N_{average} = 4$$

$$q_u = 50 \text{ kN/m}^2 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = 0,5 \text{ } q_u = 0,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_a = \alpha C_u = 0,45 \cdot 0,25 = 0,1125 \text{ kg/cm}^2$$

2. Lapisan 2 (-2 m s/d -4 m)

$$N_{average} = \frac{1}{2}(8+50) = 29$$

$$q_u = 386 \text{ kN/m}^2 = 3,86 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = 0,5 \text{ } q_u = 1,93 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_a = \alpha C_u = 0,45 \cdot 1,93 = 0,8685 \text{ kg/cm}^2$$

3. Lapisan 3 (-4 m s/d -6 m)

$$N_{average} = \frac{1}{2}(50+10) = 30$$

$$q_u = 400 \text{ kN/m}^2 = 4 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = 0,5 \text{ } q_u = 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_a = \alpha C_u = 0,45 \cdot 2 = 0,9 \text{ kg/cm}^2$$

4. Lapisan 4 (-6 m s/d -8 m)

$$N_{average} = \frac{1}{2}(10+16) = 13$$

$$Q_u = 171 \text{ kN/m}^2 = 1,71 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = 0,5 \text{ } q_u = 0,855 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_a = \alpha C_u = 0,45 \cdot 0,855 = 0,385 \text{ kg/cm}^2$$

5. Lapisan 5 (-8 m s/d -10 m)

$$N_{average} = \frac{1}{2}(16+40) = 28$$

$$Q_u = 373 \text{ kN/m}^2 = 3,73 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = 0,5 \text{ } q_u = 1,86 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_a = \alpha C_u = 0,45 \cdot 1,86 = 0,837 \text{ kg/cm}^2$$

6. Lapisan 6 (-10 m s/d -12 m)

$$N_{average} = \frac{1}{2}(40+50) = 45$$

$$q_u = 400 \text{ kN/m}^2 = 4 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = 0,5 \text{ } q_u = 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_a = \alpha C_u = 0,45 \cdot 2 = 0,9 \text{ kg/cm}^2$$

7. Lapisan 7 (-12 m s/d -14 m)

$$N_{average} = \frac{1}{2}(50+14) = 32$$

$$q_u = 400 \text{ kN/m}^2 = 4 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = 0,5 \text{ } q_u = 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_a = \alpha C_u = 0,45 \cdot 2 = 0,9 \text{ kg/cm}^2$$

8. Lapisan 8 (-14 m s/d -16 m)

$$N_{average} = \frac{1}{2}(14+10) = 12$$

$$q_u = 157 \text{ kN/m}^2 = 1,57 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = 0,5 \text{ } q_u = 0,785 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_a = \alpha C_u = 0,45 \cdot 0,785 = 0,353 \text{ kg/cm}^2$$

9. Lapisan 9 (-16 m s/d -18 m)

$$N_{average} = \frac{1}{2}(10+50) = 30$$

$$q_u = 400 \text{ kN/m}^2 = 4 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = 0,5 \text{ } q_u = 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_a = \alpha C_u = 0,45 \cdot 2 = 0,9 \text{ kg/cm}^2$$

10. Lapisan 10 (-18 m s/d -20 m)

$$N_{average} = \frac{1}{2}(50+26) = 38$$

$$q_u = 400 \text{ kN/m}^2 = 4 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = 0,5 q_u = 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_a = \alpha C_u = 0,45 \cdot 2 = 0,9 \text{ kg/cm}^2$$

11. Tekanan Konus End Bearing

$$\text{Kedalaman pondasi} = - 12 \text{ m}, \gamma_t = 1,5 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Cut Of Level} = - 0 \text{ m}, \gamma_w = 1,0 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Ground Water Level} = - 2 \text{ m}, \gamma_{\text{eff}} = 0,5 \text{ ton/m}^3$$

$$N = 45, \phi = 39, N_q = 36$$

$$P_{\text{oeff}} = 0,5(2 \cdot 1,5) + (12 - 2)(1,5 - 1)$$

$$= 6,5 \text{ ton/m}^2$$

$$Q_b = P_{\text{oeff}} \cdot (N_q - 1)$$

$$= 6,5 \cdot (36 - 1)$$

$$= 227 \text{ ton/m}^2$$

12. Tekanan Konus End Bearing

$$\text{Kedalaman pondasi} = - 12 \text{ m}, \gamma_t = 1,5 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Cut Of Level} = - 0 \text{ m}, \gamma_w = 1,0 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Ground Water Level} = - 2 \text{ m}, \gamma_{\text{eff}} = 0,5 \text{ ton/m}^3$$

$$N = 45, \phi = 39, N_q = 36$$

$$P_{\text{oeff}} = 0,5(2 \cdot 1,5) + (12 - 2)(1,5 - 1)$$

$$= 6,5 \text{ ton/m}^2$$

$$Q_b = P_{\text{oeff}} \cdot (N_q - 1)$$

$$= 6,5 \cdot (36 - 1)$$

$$= 227 \text{ ton/m}^2$$

13. Tekanan Konus End Bearing

$$\text{Kedalaman pondasi} = - 16 \text{ m}, \gamma_t = 1,5 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Cut Of Level} = - 0 \text{ m}, \gamma_w = 1,0 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Ground Water Level} = - 2 \text{ m}, \gamma_{\text{eff}} = 0,5 \text{ ton/m}^3$$

$$N = 12, \phi = 31, N_q = 35$$

$$P_{\text{oeff}} = 0,5(2 \cdot 1,5) + (16 - 2)(1,5 - 1)$$

$$= 8,5 \text{ ton/m}^2$$

$$Q_b = P_{\text{oeff}} \cdot (N_q - 1)$$

$$= 8,5 \cdot (35 - 1)$$

$$= 289 \text{ ton/m}^2$$

14. Tekanan Konus End Bearing

$$\text{Kedalaman pondasi} = - 20 \text{ m}, \gamma_t = 1,5 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Cut Of Level} = - 0 \text{ m}, \gamma_w = 1,0 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Ground Water Level} = - 2 \text{ m}, \gamma_{\text{eff}} = 0,5 \text{ ton/m}^3$$

$$N = 31, \phi = 34, N_q = 35$$

$$P_{\text{oeff}} = 0,5(2 \cdot 1,5) + (20 - 2)(1,5 - 1)$$

$$= 10,5 \text{ ton/m}^2$$

$$Q_b = P_{\text{oeff}} \cdot (N_q - 1)$$

$$= 10,5 \cdot (35 - 1)$$

$$= 357 \text{ ton/m}^2$$

Tabel 1. Kedalaman tanah dengan Jumlah Ca

Lapisan	Kedalaman	Tebal	Ca	Juml Ca	Juml Ca Kum
1	2	2	1,125	2,25	2,25
2	4	2	8,685	17,37	19,62
3	6	2	9	18	37,62
4	8	2	3,85	7,7	45,32
5	10	2	8,37	16,74	62,06
6	12	2	9	18	80,06
7	14	2	9	18	98,06
8	16	2	3,53	7,06	105,12
9	18	2	9	18	123,12
10	20	2	9	18	141,12

Sumber: Data penyelidikan tanah BH-2 (2016); Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering*, Seventh Edition. Boston: Pws-Kent Publishing Company.

Kedalaman 10 m

Pancang 35/35 cm

$$\begin{aligned}\text{Skin Friction : } Q_s &= A_s \cdot \sum(Ca) \\ &= 3,14 \cdot 0,35(62,06) \\ &= 97,4 \text{ ton.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{End Bearing : } Q_b &= A_b \cdot q_b \\ &= (0,35 \cdot 0,35) \cdot 191 \\ &= 23,4 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{ult} &= Q_s + Q_b \\ &= 97,4 + 23,4 \\ &= 120,8 \text{ ton}\end{aligned}$$

SF= 2 → Q allowable = 60.4 ton.

Kedalaman 16 m

Pancang 35/35 cm

$$\begin{aligned}\text{Skin Friction : } Q_s &= A_s \cdot \sum(Ca) \\ &= 3,14 \cdot 0,35(105,12) \\ &= 115,58 \text{ ton.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{End Bearing : } Q_b &= A_b \cdot q_b \\ &= (0,35 \cdot 0,35) \cdot 289 \\ &= 35,40 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{ult} &= Q_s + Q_b \\ &= 115,58 + 35,40 \\ &= 150,98 \text{ ton}\end{aligned}$$

SF= 2 → Q allowable = 75 ton.

Kedalaman 20 m

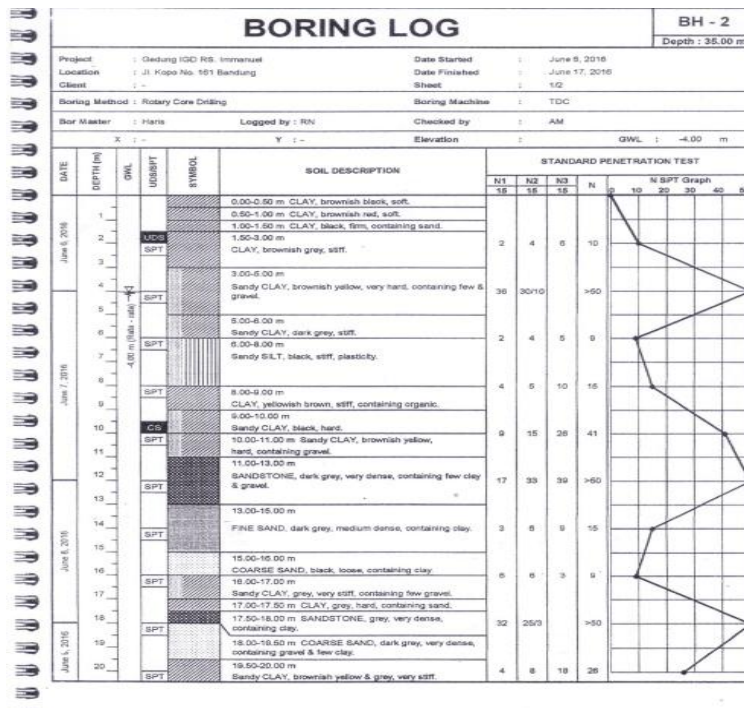
Pancang 35/35 cm

$$\begin{aligned}\text{Skin Friction : } Q_s &= A_s \cdot \sum(Ca) \\ &= 3,14 \cdot 0,35(141,12) \\ &= 155,16 \text{ ton.}\end{aligned}$$

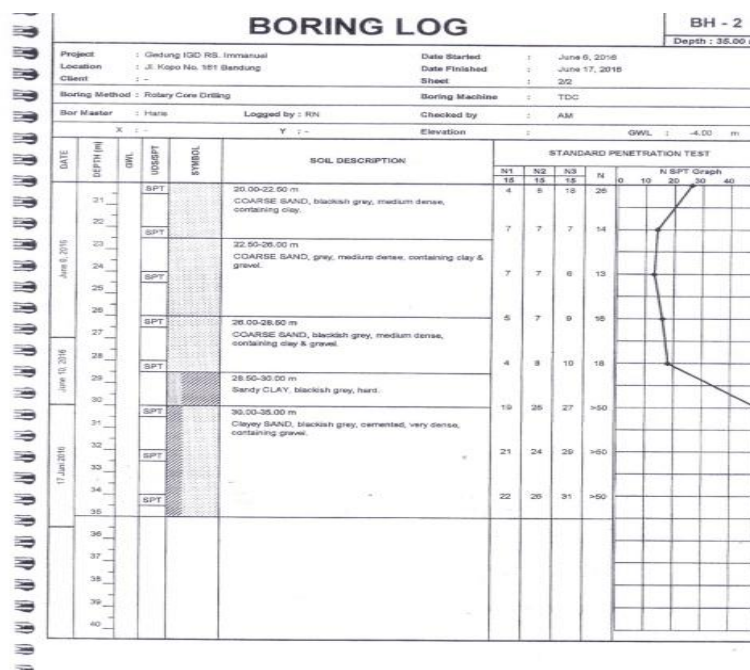
$$\begin{aligned}\text{End Bearing : } Q_b &= A_b \cdot q_b \\ &= (0,35 \cdot 0,35) \cdot 357 \\ &= 43,73 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{ult} &= Q_s + Q_b \\ &= 155,16 + 43,73\end{aligned}$$

= 198,89 ton
 SF= 2 à Q allowable = 99 ton.



Gambar 2. Boring Log BH-2 (Sheet 1/2) - Gedung IGD RS. Immanuel
 Sumber: Data penyelidikan tanah BH-2, Gedung IGD RS. Immanuel, Jl. Kopo No. 161 Bandung (2016)



Gambar 3. Data Standard Penetration Test (SPT) BH-2
 Sumber: Data penyelidikan tanah BH-2, Gedung IGD RS. Immanuel, Jl. Kopo No. 161 Bandung (2016)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai teknologi tiang pancang dengan sepatu (Broaded Bottom Pile) sebagai alternatif solusi perbaikan tanah lunak, dapat disimpulkan bahwa teknologi Broaded Bottom Pile merupakan inovasi konstruksi tiang pancang yang menggunakan pelat sepatu pada bagian bawah tiang yang membuka secara mekanis saat proses pemancangan ditekan oleh besi penyambung tiang, namun penggunaannya terbatas pada tiang tunggal (single pile) dengan panjang maksimum 20 m karena mekanisme pelat sepatu hanya efektif pada tiang tanpa sambungan. Selain itu, pada konstruksi tiang pancang konvensional, end bearing dicapai pada nilai N-SPT 50-60, sedangkan dengan teknologi Broaded Bottom Pile, end bearing dapat tercapai pada nilai N-SPT sekitar 30 karena pelat sepatu yang keluar dari tiang pancang saat ditekan memperluas bidang tumpu pada ujung tiang dan meningkatkan kapasitas dukung meskipun tanah di sekitarnya belum sepenuhnya keras, sehingga kedalaman pemancangan menjadi lebih pendek (sekitar 10 m) dibandingkan tiang pancang konvensional (sekitar 20 m) yang berdampak pada penghematan biaya konstruksi hingga 30-50% serta efisiensi waktu pelaksanaan yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Section 5: Concrete Structures, (2020).
- Al Kautsar, R., Saputro, I., & Samaila, M. (2024). Analisis Perbandingan Perhitungan Struktur Beton pada Bangunan Gedung Aston Sorong City Hotel Berdasarkan Standar SNI dengan Eurocode. *Jurnal Karkasa*, 10(2), 16–28. <https://doi.org/10.32531/jkar.v10i2.895>
- Anandita, D., Nurdiana, A., & Setiabudi, B. (2023). Perencanaan Jembatan Beton Prategang RSUD Temanggung dengan Berbasis Building Information Modeling (BIM) 3D, 4D, dan 5D. *Jurnal Sipil Dan Arsitektur*, 1(3), 60–75. <https://doi.org/10.14710/pilars.1.3.2023.60-75>
- Apriani, W., & Rahmat, H. (2020). Review Design Struktur Beton Bertulang terhadap Struktur Baja pada Struktur Gedung diatas Tanah Lunak. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 8–16. <https://doi.org/10.29103/tj.v10i1.254>
- Darojatun, B. K., & Nuranita, B. (2024). Kajian Analisis Struktur PC-I Girder Prestressed pada Jembatan Bentang 35,8 meter. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v10i1.1>
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering* (6th ed.). Pws-Kent Publishing Company.
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering* (7th ed.). Pws-Kent Publishing Company.
- Farauk, M. M. (2013). *Foundation Engineering Design and Analysis of Retaining Walls*. Course Dynamics, Mugla Sitki Kocman Universitesi.
- Gultom, A., Ginting, R., & Lubis, Y. A. (2024). SNI 2847:2013 sebagai Acuan Uji Kekuatan Struktur Kolom Gedung Beton Bertulang pada Bangunan Bertingkat. *Jurnal UDA*, 32(5), 458–471. <https://doi.org/10.46930/ojsuda.v32i5.4873>
- Herbudiman, B., Nuranita, B., & Putra, S. M. I. (2025). Studi Efisiensi Desain Jembatan Beton Prategang dengan Variasi Tipe I-Girder. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 31(1), 114–122. <https://doi.org/10.14710/mkts.v31i1.70897>
- ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete, (2019).
- Kong, S. M., Oh, D. W., & Lee, S. Y. (2021). Analysis of reinforced retaining wall failure based on reinforcement length. *International Journal of Geo-Engineering*, 12, 13. <https://doi.org/10.1186/s40703-021-00143-6>

- Kristyanto, H., Purwoko, F., & Wijayanti, L. (2022). Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Tanah pada Pondasi Dangkal Berdasarkan Data SPT dan CPT. *CivETech: Civil Engineering and Technology Journal*, 4(2), 17–30. <https://doi.org/10.47200/civetech.v4i2.1300>
- Li, J., Li, X., Jing, M., & Pang, R. (2022). Numerical Limit Analysis of the Stability of Reinforced Retaining Walls with the Strength Reduction Method. *Water*, 14(15), 2319. <https://doi.org/10.3390/w14152319>
- Lim, H., Park, J., Kim, J., & Ko, J. (2023). Numerical study on stability and deformation of retaining wall according to groundwater drawdown. *Geomechanics and Engineering*, 33(2), 195–202. <https://doi.org/10.12989/gae.2023.33.2.195>
- Lin, T. Y., & Burns, N. H. (2000). *Desain Struktur Beton Prategang* (Edisi Ketiga). Penerbit Erlangga.
- Mosley, W. H., Bungey, J. H., & Hulse, R. (1999). *Reinforced Concrete Design*. Palgrave Macmillan.
- Nawy, E. G. (2001). *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Mendasar*. Penerbit Refika Aditama.
- Schweiger, H. F., & Tschuchnigg, F. (2021). A numerical study on undrained passive earth pressure. *Computers and Geotechnics*, 140, 104441. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2021.104441>
- Xu, M., & Jin, D. (2024). Prediction of the long-term deformation of high rockfill geostructures using a hybrid back-analysis method. *Geomechanics and Engineering*, 36(1), 83–97. <https://doi.org/10.12989/gae.2024.36.1.083>