

OPTIMALISASI KEDALAMAN TIANG FONDASI *BORED PILE* DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE PLAXIS 3D* PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG JI'RONAH RUMAH SAKIT AISIYIAH BOJONEGORO

Aldila Oldi Firmansyah¹, Arik Triarso²

¹Mahasiswa D4 Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya

²Dosen D4 Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : aldila.22072@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Fondasi *Bored Pile* digunakan pada proyek Gedung Ji'Ronah Rumah Sakit Aisyiyah Bojonegoro untuk mengatasi kondisi tanah lunak yang memiliki daya dukung rendah dan potensi penurunan besar. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kapasitas daya dukung tanah akibat beban struktur di atasnya. Pada penelitian ini menggunakan data SPT dalam penentuan daya dukung fondasi. Metode yang digunakan adalah studi kasus kuantitatif dengan perhitungan pada berbagai kedalaman. Hasil menunjukkan daya dukung *ultimate* tiang tunggal menggunakan metode Luciano Decourt pada kedalaman optimal 45 meter dengan nilai daya dukung 922,06 ton. Didapatkan kesimpulan $Q_{tk} 1322,13 \text{ ton} \geq (V) 1267,47 \text{ ton}$. Daya dukung *ultimate* dari pemodelan menggunakan *Software Plaxis 3D* dihasilkan nilai Q_{ult} sebesar 860,40 ton. Hasil perhitungan dimensi optimal didapatkan tebal *Pile Cap* 1 meter dengan panjang dan lebar 7 x 4,5 meter.

Kata Kunci: Bored Pile, Daya Dukung Ultimate, Metode Luciano Decourt, Pemodelan Plaxis 3D, Tanah lunak, Pile Cap

Abstract

The bored pile foundation was used in the Ji'Ronah Building project of Aisyiyah Hospital Bojonegoro to address soft soil conditions with low bearing capacity and high settlement potential. This study aims to calculate the soil bearing capacity under the load of the overlying structure. SPT data were used in determining the foundation bearing capacity. The method is a quantitative case study with calculations at various depths. Results show the ultimate bearing capacity of a single pile using the Luciano Decourt method at an optimal depth of 45 meters with a bearing capacity of 922.06 tons. It was concluded that $Q_{tk} 1322.13 \text{ tons} > (V) 1267.47 \text{ tons}$. The ultimate capacity from modeling using Plaxis 3D produced a Q_{ult} value of 860.40 tons. Optimal dimensions were obtained Pile Cap thickness 1 meter with length and width 7 x 4.5 meters.

Keywords: Bored Pile, Ultimate Bearing Capacity, Luciano Decourt Method, Plaxis 3D Modeling, Soft Soil, Pile Cap

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Fondasi adalah bagian dari sistem rekayasa yang berperan penting dalam menyalurkan beban yang dipikulnya dan beratnya sendiri ke dalam tanah serta batuan di bawahnya (Bowles, 1982). Pekerjaan fondasi merupakan aspek penting dalam konstruksi bangunan, yang membutuhkan perhatian khusus karena berpengaruh signifikan terhadap kestabilan dan keamanan struktur bangunan (Akil Ade Iskandar, 2017 ; Riadi, 2020 ; Sugiyo & Wena, 2020).

Pada kondisi tanah dengan daya dukung rendah atau beban bangunan yang signifikan, fondasi bored pile dipilih karena memungkinkan instalasi tiang yang mampu menembus lapisan-lapisan tanah bebrbutir padat ataupun tanah kohesif tersementasi jika dibandingkan dengan tiang pracetak (pancang). Dengan penampang tiang yang cukup besar dan panjang maupun diameter penampang yang dapat divariasikan sesuai dengan kebutuhan, tiang bor dapat dijadikan sebagai pilihan fondasi didalam implementasi pondasi tiang.

Massa tanah yang tergantung oleh massa beton yang berat akan menjadikan pengaruh displacement ataupun heave akibat pendesakan/perpindahan massa tanah dapat diantisipasi. Manfaat utama dari fondasi bored pile adalah kapasitasnya untuk menopang beban berat baik secara vertikal maupun horizontal, keserbagunaannya dalam menangani berbagai jenis tanah dan kemampuannya untuk disesuaikan dengan kedalaman dan ketebalan yang diperlukan. Proyek konstruksi berskala besar sering menggunakan fondasi ini karena menawarkan stabilitas struktural yang dapat diandalkan (Arifatussaadah et al., 2024).

Sebelum merancang fondasi, diperlukan data tanah yang akurat dari hasil pengeboran (boring log) untuk menentukan jenis fondasi yang tepat, mengestimasi kapasitas daya dukungnya, serta memilih metode konstruksi yang efisien (Fajarsari & Wulandari, 2013). Perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan fondasi yang salah akan menyebabkan kegagalan bangunan. Kegagalan bangunan akibat fondasi dapat berupa kerusakan ringan pada arsitektur bangunan hingga kerusakan struktural yang membahayakan keselamatan penghuni dan orang yang berada di sekitar bangunan (Prabowo et al., 2019).

Dari penjelasan di atas dan dari hasil penyelidikan tanah, maka pada proyek Gedung Ji'Ronah Rumah Sakit Aisyiyah Bojonegoro ini menggunakan fondasi bored pile dengan kedalaman 50 meter. Perancangan fondasi tidaklah sederhana karena adanya interaksi kompleks antara struktur dan tanah yang mendasarinya. Hal ini disebabkan oleh sifat distribusi beban yang tidak merata serta variasi dalam respons tanah terhadap beban struktur, yang membuat analisis dan desainnya lebih rumit (Das & Sobhan, 2014). Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensi, kecepatan, dan akurasi dalam analisis desain fondasi, berbagai perangkat lunak geoteknik tersedia untuk mendukung proses perancangan. Salah satu perangkat lunak yang umum digunakan adalah software plaxis.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kapasitas daya dukung tanah akibat beban struktur di atasnya, serta mengevaluasi apakah fondasi yang dirancang mampu menopang bangunan. *Software plaxis* merupakan program yang dikembangkan menggunakan metode elemen hingga, di mana metode ini membagi daerah yang akan dianalisis menjadi bagian-bagian kecil yang disebut dengan elemen. *software plaxis* telah dikembangkan untuk menganalisis deformasi serta stabilitas geoteknik

dalam perencanaan di bidang teknik sipil. Permasalahan yang dapat diselesaikan oleh *software plaxis* adalah interaksi tanah dengan fondasi, sehingga *software* ini bisa digunakan dalam menganalisis penurunan serta daya dukung fondasi. Dari perhitungan optimalisasi fondasi ini akan dibandingkan dengan hasil dari perhitungan analitik dari metode yang telah digunakan sebagai parameter acuan keakuratan.

Fondasi Bored Pile

Fondasi tidak boleh terjadi penurunan atau settlement lebih dari batas yang dilebihkan (Das, 1995). Maka dari itu untuk tujuan fondasi. Bangunan harus dirancang dengan perhitungan yang tepat agar mampu menjamin kestabilannya terhadap berat sendiri, beban hidup, serta gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi, dan lainnya, tanpa menyebabkan terjadinya kegagalan geser tanah maupun penurunan settlement tanah atau fondasi yang berlebihan.

Ada beberapa jenis fondasi dangkal (shallow foundation) antara lain fondasi sarang laba laba, fondasi cakar ayam, dan fondasi telapak. Fondasi sumuran, fondasi tiang pancang dan fondasi kaisan merupakan jenis dari komponen fondasi dalam (deep foundation). Pada penelitian ini penulis menggunakan jenis fondasi dalam bored pile.

Fondasi bored pile merupakan fondasi yang pengerjaannya dilakukan dengan mengebor tanah terlebih dahulu (in situ) (Hardiyatmo, 2011).

Standard Penetration Test (SPT)

Standard Penetration Test adalah uji kekuatan yang dilakukan dengan memukul sebuah tabung belah baja (split spoon sampler) dalam lobang bor dengan sebuah palu/hammer seberat 140 lb (63.5 kg) yang dijatuhkan secara bebas pada ketinggian 30 inchi (762 mm). Beberapa sifat tanah, termasuk kerapatan relatif, sudut gesekan internal, berat satuan tanah, dan kuat tekan bebas, menghasilkan hasil SPT secara empiris. Uji SPT bertujuan untuk mengumpulkan sampel tanah yang terganggu untuk keperluan identifikasi tanah dan untuk menentukan ketahanan tanah terhadap penetrasi dinamis dari alat pengambil split barrel sampler. Tujuan utama dari uji SPT adalah untuk memastikan kekuatan dan karakteristik deformasi dari tanah berbutir kasar.

Pengujian Pile Driving Analyzer (PDA)

Pile Driving Analyzer Test adalah sistem pengujian yang menggunakan data komputer digital dari *strain transducer* dan *accelerometer* guna mendapatkan kurva gaya dan kecepatan saat tiang

dipukul dengan menggunakan *hammer* dengan menggunakan 1% - 2% dari rancangan beban tiang pancang yang direncanakan.

Seperti yang dikutip oleh (Kevin Yeremia, 2022), Metode *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada dasarnya menggunakan teori gelombang satu dimensi yang merambat di dalam fondasi tiang yang telah dipancang. Pengujian dilakukan dengan menjatuhkan beban pada ujung tiang, sehingga regangan yang terjadi antara tiang dan tanah akan menghasilkan gelombang perlawanan tanah dengan besar kecil tertentu. Gelombang ini kemudian dianalisis menggunakan alat *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan diinterpretasikan untuk menilai tinggi rendahnya kekuatan tanah.

Hasil yang diperoleh dari uji PDA Daya daya dukung tiang, Nilai integritas keutuhan tiang. Penurunan, Pukulan *hammer* terhadap efisiensi dalam mentransfer energi.

Kapasitas Daya Dukung Menggunakan Metode Luciano Decourt (1982)

Perhitungan daya dukung tanah untuk fondasi *Bored pile* menggunakan persamaan Luciano Decourt (1982) dari hasil uji SPT adalah sebagai berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Q_u = Daya dukung ultimate (ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (*end bearing capacity*) (ton)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (*skin friction bearing*) (ton)

A. Kapasitas daya dukung tiang ujung fondasi *Bored pile* (*end bearing*)

$$Q_p = \alpha \times N_p \times K \times A_p$$

Keterangan:

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

A_p = Luas penampang tiang pancang (m²)

N_p = Nilai rata-rata ketiga nilai NSPT pada ujung tiang (ton/m²)

K = Koefisien tanah L. Decourt 1982.

α = *Base Coefficient* L. Decourt 1982,1996

Tabel 1 Nilai Koefisien Tanah Menurut

Jenis Tanah	Nilai K (ton/m ²)
Lempung	12
Lanau berlempung	20
Lanau berpasir	25
Pasir dan kerikil	40

(Sumber : Decourt, 1982)

Tabel 2 Base Coefficient

α = <i>Base Coefficient</i>	
1,00	Untuk <i>driven pile</i> (tiang pancang)
0,85	Untuk <i>bored pile</i> (pada jenis tanah <i>clay</i>)
0,60	Untuk <i>bored pile</i> (pada <i>intermediate soil</i>)
0,50	Untuk <i>bored pile</i> (pada tanah jenis <i>sands</i>)

(Sumber : Decourt, 1982,1996)

B. Kapasitas daya dukung selimut (*skin friction*)

$$Q_s = [\beta \times (N_s / 3 + 1) \times A_s]$$

Keterangan:

Q_s = daya dukung selimut tiang (ton)

N_s = Nilai rata-rata NSPT sepanjang tiang

A_s = Luas selimut tiang sepanjang tiang tertanam (m²)

β = *Shaft Coefficient* L. Decourt 1982,1996

Tabel 3 Shaft Coefficient

β = <i>Shaft Coefficient</i>	
1,00	Untuk <i>driven pile</i> (tiang pancang)
0,80	Untuk <i>bored pile</i> (pada jenis tanah <i>clay</i>)
0,65	Untuk <i>bored pile</i> (pada <i>intermediate soil</i>)
0,50	Untuk <i>bored pile</i> (pada tanah jenis <i>sands</i>)

(Sumber : Decourt, 1982,1996)

Kapasitas Daya Dukung Dengan Data N-SPT

Daya dukung *bearing capacity* merupakan kemampuan tanah yang berada di bawah dan di sekitar fondasi untuk menopang beban dari struktur di atasnya (E, Yuliawan & Rahayu, 2018). Uji N-SPT dan uji sondir (q_c) adalah pengujian lapangan yang mewakili untuk dipakai sebagai data masukan dalam menganalisis daya dukung fondasi. Metode analisis berdasarkan data uji NSPT yang dipakai ialah nilai N terkoreksi ataupun tidak, yang kemudian dimasukkan ke dalam persamaan tidak langsung atau empiris (Rahmat Waluyo, 2023).

Pemodelan Menggunakan Program Plaxis 3D

Pada penelitian ini, analisis daya dukung struktur fondasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Plaxis 3D. Plaxis merupakan salah satu program bantu yang dapat digunakan untuk menganalisis penurunan dengan metode elemen hingga dan secara khusus dikembangkan untuk

keperluan analisis tersebut. Penggunaan plaxis 3D ini akan memudahkan dalam pengerjaan model geometri fondasi tiang yang dijadikan topik penelitian pada skripsi ini, yang didefinisikan dalam mode tanah serta struktur. Dengan memodelkan pertemuan antara elemen struktur dan tanah, nilai tegangan yang diperoleh pada titik pertemuan elemen menjadi lebih akurat.

Secara umum, perhitungan menggunakan Plaxis 3D terdiri atas tiga tahapan, yaitu :

1. Plaxis Input

Tahap input data dilakukan dengan membangun model geometri, yang meliputi pemodelan lapisan tanah, struktur fondasi tiang, fase konstruksi, pembebanan, serta kondisi batas.

2. Plaxis Calculation

Tahap perhitungan mencakup beberapa jenis analisis yang dapat diterapkan dalam pemodelan, seperti *plastic* untuk meninjau deformasi elastis-plastis, *consolidation* untuk mensimulasikan proses disipasi tekanan air pori pada tanah lempung, *updated mesh* untuk menggambarkan pengaruh deformasi besar, serta *dynamic analysis* untuk analisis dinamik pada kasus geoteknik.

3. Plaxis Output

Output merupakan hasil perhitungan yang diperoleh berdasarkan analisis menggunakan Plaxis 3D. Hasil yang disajikan antara lain berupa *deformed mesh* kalkulasi angka keamanan, tegangan, serta gaya-gaya dalam yang bekerja pada pemodelan tiang akibat beban pada model jaringan elemen hingga hasil *output* menggunakan software Plaxis 3D dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$Q = ULx - 1 + (\sum M_{stage} \times (ULx - ULx - 1))$$

keterangan :

$ULx - 1$ = Beban awal

ULx = Beban kedua yang diberikan

Q = Total beban sampai *collapse*

Berdasarkan paparan di atas, penelitian ini mengangkat beberapa permasalahan yaitu:

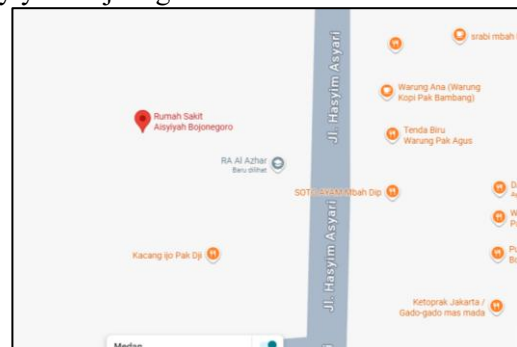
1. Pada kedalaman berapa fondasi *bored pile* dapat menjadi solusi optimal terhadap daya dukung pada proyek pembangunan Gedung Ji'Ronah Rumah Sakit Aisyiyah Bojonegoro?
2. Berapa besar nilai kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* pada proyek pembangunan Gedung Ji'Ronah Rumah Sakit Aisyiyah Bojonegoro menggunakan *software* plaxis 3D?
3. Berapa dimensi optimal yang digunakan untuk type *Pile Cap* (P6)?

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dalam menganalisis perhitungan analitis daya dukung axial atau vertikal fondasi *bored pile* dengan hasil N-spt menggunakan metode Luciano Decourt dan melakukan perbandingan hasil dengan hasil uji lapangan berupa tes PDA & software *plaxis 3D*. Adanya penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan praktis dan solusi yang dapat diterapkan pada permasalahan sama yang dihadapi pada proyek pembangunan yang di teliti dan yang serupa

Lokasi Penelitian

Objek penelitian ini berada pada proyek pembangunan gedung Ji'Ronah Rumah Sakit Aisyiyah Bojonegoro yang beralamat di Jl. Hasyim Asyari No.17, Kauman, Kec. Bojonegoro, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur oleh Tim Pembangunan Gedung Ji'Ronah Rumah Sakit Aisyiyah Bojonegoro.



Gambar 1 Lokasi Proyek Pembangunan Gedung Ji'Ronah Rumah Sakit Aisyiyah Bojonegoro (Sumber : Data Proyek)

1) Tahap persiapan

- Studi literatur kapasitas daya dukung *Bored pile* dan *Pile Driving Analyzer (PDA)*.
- Pengumpulan data Proyek Pembangunan Gedung Ji'Ronah Rumah Sakit Aisyiyah Bojonegoro
- Mempelajari penggunaan *software Plaxis 3D*.

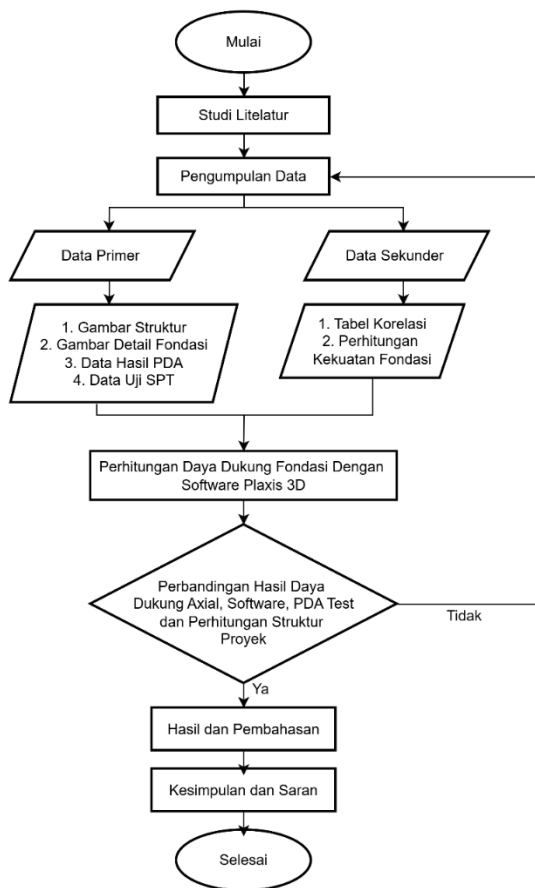
2) Tahap pengolahan data

- Mengolah data tanah dengan cara mengkorelasikan pada microsoft excel.
- Menghitung nilai daya dukung menggunakan metode empiris dengan kedalaman yang berbeda.
- Pemodelan dan analisis hasil simulasi pemodelan *Bored Pile* menggunakan *Software Plaxis 3D*.
- Validasi kapasitas daya dukung *Bored Pile* hasil metode empiris dengan hasil tes *Pile Driving Analyzer (PDA)*.

- Menganalisis daya dukung pada variasi kedalaman tiang menggunakan *Software Plaxis 3D*.
- Mencari nilai optimalisasi dari variasi kedalaman *Bored Pile* berdasarkan hasil simulasi *Plaxis 3D*.

3) Tahap pembahasan

- Mengevaluasi hasil daya dukung tiang *Bored Pile* berdasarkan Simulasi *Software Plaxis 3D*.
- Menentukan rekomendasi kedalaman fondasi *Bored Pile* yang optimal berdasarkan hasil perhitungan empiris dan simulasi *software plaxis 3D*.



Gambar 2 Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Parameter Tanah

Berdasarkan data N-SPT dan hasil laboratorium pada ketiga data tanah yang ada, didapatkan parameter-parameter tanah yang akan digunakan pada input *Software Plaxis 3D*, data tanah yang diinput seluruhnya menggunakan material model *Mohr – Coulomb*. Sebagian besar nilai parameter diperoleh dari pengolahan data N-SPT menggunakan rumus interpolasi, untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang dibutuhkan.

Tabel 1 Korelasi Data Tanah dari Hasil N-SPT

Deskripsi	Lapisan	Kedalaman (m)	DB - 2							
			1 N- Avg	2 ydry (kN/m ²)	3 ysat (kN/m ²)	4 C (kN/m ²)	5 E (kN/m ²)	6 Φ (°)	7 ψ (°)	8 σ
Pasir, Abu-Abu, Kerikil Kecil, Mengandung Bata, Sangat Rendah Padat	1	0 - 2	1,0	4,90	11,77	0,00	3033,69	25,63	0,00	0,25
Lempung & Il, Abu-Abu Kecoklatan, Anorganik, Pasir Jejak, Konsistensi Lembut	2	2,5 - 4	3,0	6,86	14,12	13,33	3585,28	10,22	0,00	0,35
Lempung & Il, Abu-abu Kecoklatan, Anorganik, Jejak Pasir, Konsistensi	3	4,5 - 8	4,5	7,14	14,29	18,33	7170,55	10,73	0,00	0,30
Sedang Sampai Kaku										
Lempung & Il, Abu-abu Kecoklatan, Anorganik, Pasir jejak, Konsistensi Lembut Sampai Menengah	4	8,5 - 14	8,1	7,92	14,75	16,17	3585,28	11,91	0,00	0,35
Lempung & Il, Abu-Abu, Beberapa Pasir, Konsistensi Kaku	5	14,5 - 15,5	12,0	8,67	15,29	26,00	3585,28	13,25	0,00	0,20
Pasir Kasar, Abu-Abu, Kerikil Jejak, Padat Longgar,	6	16 - 17,5	10,0	6,16	13,73	0,00	3033,69	32,00	2,00	0,15
Lempung & Il, Abu-Abu Hijau, Anorganik, Pasir	7	18 - 20	17,6	12,97	17,98	42,80	3585,28	21,00	0,00	0,20
Jejak, Konsistensi Kaku										
Il & Pasir, Coklat, Padat	8	20,5 - 21,5	32	13,24	18,14	0,00	37921,18	35,80	5,80	0,25
Lempung & Il, Abu-Abu Kehijauan, Anorganik, Pasir Jejak, Konsistensi Sangat Kaku	9	22 - 25,5	13,5	8,98	15,49	30,50	14341,10	13,76	0,00	0,20
Il & Tanah Liat, Coklat, Pasir Jejak, Konsistensi Sangat Kaku	10	26 - 27,5	16,0	12,42	17,65	38,00	28682,20	19,32	0,00	0,20
Lempung & Il, Coklat Keabu-Abuan, Anorganik, Pasir	11	28 - 34	14,3	9,09	15,56	32,92	14341,10	13,93	0,00	0,20
Jejak, Konsistensi Kaku Sampai Sangat Kaku										
Lempung & Il, Coklat, Anorganik, Pasir Jejak, Konsistensi Sangat Kaku	12	34,5 - 46	22,7	14,78	19,07	24,00	28682,20	25,00	0,00	0,20
Lempung & Il, Abu-Abu Gelap, Anorganik, Jejak Pasir Kecil, Semeniti Lemah Di Beberapa Kedalaman, Konsistensi Keras	13	46,5 - 49,5	45,4	15,30	19,61	77,14	39851,71	25,00	0,00	0,25

(Sumber : Perhitungan Pribadi)

Daya Dukung Tiang Tunggal

Dalam melakukan perhitungan daya dukung fondasi tiang tunggal Metode Luciano Decourt digunakan sebagai salah satu pendekatan dalam menghitung daya dukung axial fondasi *bored pile* pada penelitian ini. Dengan mempertimbangkan data hasil uji SPT dan parameter geoteknik terkait. Perhitungan dilakukan untuk mengestimasi daya dukung ultimit serta memvalidasi hasilnya dengan data pengujian lapangan (*PDA/CAPWAP*). Berikut adalah proses perhitungannya berdasarkan data SPT lapangan dan karakteristik tanah tiap lapisan. Perhitungan yang sama dilakukan pada kedalaman yang berbeda dengan mengacu pada nilai terendah daya dukung ultimate yang ada pada lapangan pada nomor uji *bored pile* BP.42 (PDA).

Perhitungan daya dukung pada kedalaman 45 m.
Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Diameter} &= 1000 = 1 \text{ m} \\ &\text{mm} \\ \text{Kedalaman} &= 41 \text{ m} = 41 \text{ m} \\ 4D &= 4 \text{ m} = 4 \text{ m} \\ K &= 20 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

(Tabel 1. Nilai koefisien tanah menurut L.Decourt 1982)

$\alpha = 0,85$ (Nilai koefisien *bored pile* pada jenis tanah *clay* menurut L.Decourt 1982)

$\beta = 0,80$ (Nilai koefisien *bored pile* pada jenis tanah *clay* menurut L.Decourt 1982)

a. Menghitung luas penampang

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 1^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

b. Menghitung nilai N_p (Nilai N-SPT / koreksi di kedalaman tertentu)

$$\begin{aligned} N_p &= 36,50 \\ &\text{(}N_p\text{ menggunakan }4D \\ &\text{kebawah)} \end{aligned}$$

c. Menghitung nilai Q_p

$$\begin{aligned} Q_p &= \alpha \times N_p \times K \times A_p \\ &= 0,85 \times 36,50 \times 12 \times 0,785 \\ &= 292,26 \text{ Ton} \end{aligned}$$

d. Menghitung luas selimut (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= \pi \cdot D \cdot L \\ &= 3,14 \cdot 1 \cdot 45 \\ &= 141,30 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

e. Menghitung nilai Q_s

$$Q_s = (\beta \times \left(\frac{N_s}{3} + 1\right) \times A_s)$$

N_s = Nilai rata – rata N_{spt} sepanjang tiang tertanam

$$\sum N_s 45 = 13,71$$

$$\begin{aligned} Q_s &= 0,80 \times \left(\frac{13,71}{3} + 1\right) \times 141,30 \\ &= 629,81 \text{ Ton} \end{aligned}$$

f. Menghitung nilai Q_u

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 292,26 + 629,81 \\ &= 922,06 \text{ Ton} \end{aligned}$$

g. Menghitung nilai Q_{ijin}

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &= \left(\frac{Q_{ultimate}}{SF}\right) \\ &= \left(\frac{922,06}{3}\right) \\ &= 307,35 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada kedalaman yang berbeda dengan mengacu pada perhitungan efisiensi *Pile Cap*. Perhitungan didapatkan dari nilai SPT boring log (DB-2) dikarenakan letak posisi tanah yang berada pada tengah zona dan lokasi *Pilecap* (P6) berada pada posisi tengah yang sama. Didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 2 Hasil perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Metode L.Decourt (DB-2)

No.	Kedalaman (m)	Diameter (mm)	Daya Dukung (Q_u) (Ton)	Q izin (Ton)
1.	48	1000	1146,87	382,29
2.	47	1000	1085,62	361,87
3.	46	1000	1073,89	357,96
4.	45	1000	922,06	307,35

(Sumber : Perhitungan Pribadi)

Rekomendasi Kedalaman Bored Pile

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diketahui bahwa kapasitas dukung mengacu pada beban fondasi atau (V). Dalam perencanaan kapasitas daya dukung rencana berdasarkan informasi pemberi tugas yaitu (V) 1267,47. Nilai inilah yang menjadi acuan utama dalam menentukan kedalaman yang optimal agar dapat menahan beban struktur dengan aman. Tetapi pada penelitian kali ini dilakukan perhitungan daya dukung menggunakan metode analitis (Luciano Decourt, 1982) dengan mengacu pada hasil uji dinamis (PDA).

Tabel 3 Tabel Hasil Analisis PDA (CAPWAP)

No. Tiang	Jenis Tiang	Penampang (cm)	Panjang Tiang Terbenam (m)	Kapasitas Dukung CAPWAP (ton)			Kapasitas Dukung Rencana berdasarkan informasi pemberi tugas	
				Selimut	Ujung	Total (Termobilisir)	Ultimate (ton)	Kel.
16	BP	Ø 100	47.8	320.2	131.7	451.9	377	Memenuhi kapasitas dukung rencana
56(*)	BP	Ø 100	48.0	-	-	-	377	n.a
93	BP	Ø 100	48.0	328.4	145.5	473.9	377	Memenuhi kapasitas dukung rencana
42	BP	Ø 100	48.3	213.0	195.6	408.6	377	Memenuhi kapasitas dukung rencana

(Sumber: Data Proyek)

Data diatas menunjukkan bahwa sistem fondasi yang direncanakan belum bekerja secara optimal, dan masih terdapat ruang untuk efisiensi. Optimalisasi tersebut dapat dilakukan dengan cara mempertimbangkan alternatif kedalaman tiang yang berbeda. Dengan demikian, dapat diperoleh konfigurasi perencanaan yang lebih efisien dan

seimbang antara kapasitas daya dukung izin (Qizin) dan beban rencana fondasi (Pu).

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diketahui bahwa kapasitas dukung izin yang digunakan dalam kondisi eksisting pada kedalaman 48,3 m yaitu 408,6 Ton yang diuji menggunakan PDA test yang berarti melebihi kapasitas daya dukung rencana yaitu 377 Ton. Hal ini yang menjadi ruang untuk efisiensi kedalaman yang optimal.

Kedalaman fondasi *Bored Pile* berpengaruh langsung terhadap daya dukung izin (Qizin) dan efisiensinya. Kedalaman yang lebih besar umumnya meningkatkan Qizin, sedangkan jumlah tiang memengaruhi total daya dukung dan bentuk *Pilecap*. Efisiensi optimal dicapai dengan kombinasi kedalaman dan jumlah tiang yang seimbang, agar aman secara struktural namun tetap ekonomis dan praktis dalam perencanaan.

Tabel 4 Perhitungan Efisiensi Pile Cap

1	2	3	4	5	6	7
Type <i>Pilecap</i> p	Jumlah Pile	ϕ^* Pn (Ton)	Pu Max (Ton)	ϕ^* Pn (Ton) - Pu Max (Ton)	5/4	%
P6	6	303,88	197,79	106,09	0,54	54
P5	5	303,88	219,57	84,31	0,38	38
P4	4	303,88	144,65	159,22	1,10	110
P3	3	303,88	229,31	74,56	0,33	33
P2	2	303,88	219,76	84,12	0,38	38

(Sumber: Data Proyek)

Dari perhitungan efisiensi *pilecap* diatas didapatkan *pilecap* Type (P6) dan (P4) yang memerlukan efisiensi kedalaman dikarenakan melebihi dari 50% atau dibidang cukup boros untuk kebutuhan *pilecap*.

Melalui analisis ini, dipilih konfigurasi dengan 6 tiang (P6) pada kedalaman 45 meter karena dianggap sebagai alternatif yang paling seimbang antara efisiensi kapasitas daya dukung dan jumlah elemen struktur yang digunakan. Setelah menentukan kedalaman yang optimal dilanjutkan dengan perhitungan terhadap kelompok tiang dan kekuatan fondasi.

Perhitungan Kekuatan Fondasi

Perhitingan terhadap kekuatan fondasi Pembebanan pada tiang fondasi *bored pile* dengan jenis *pilecap* (P6) diperoleh dari hasil analisis struktur menggunakan program SAP2000. Gaya-gaya dalam yang bekerja pada (P6) menunjukkan variasi beban vertikal atau *axial*, yang menjadi dasar perhitungan distribusi beban ke kelompok tiang.

KELOMPOK TIANG

Kebutuhan jumlah tiang $N_p = 6$ Buah

Syarat spasi antar tiang $2.5 D \leq S \leq 3 D$

Digunakan $S = 2.5 D = 2.5 \text{ m}$

Efisiensi kelompok tiang

$$Eg = 1 - \frac{\theta}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right]$$

Dimana :
 m = Jumlah baris tiang
 n = Jumlah tiang dalam satu baris
 θ = $\arctg(d/s)$, dalam derajat ($^\circ$)
 s = jarak pusat ke pusat tiang (m)
 d = diameter tiang (m)

$\theta = \arctan(0.400) = 21.801^\circ$

Jumlah baris (m) = 2
 Jumlah tiang dalam 1 baris (n) = 3

$Eg = 0.717$

Cek daya dukung tiang kelompok

$$Q_{tk} = Eg \times n \times Q_{tiang}$$

Dimana :
 Q_{tk} = Daya dukung kelompok tiang
 Eg = Efisiensi kelompok tiang

$Q_{tk} = 1322.96$ ton / 45 meter

KONTROL

$Q_{tk} > V$
 $1322.96 > 1267.47$

OK! aman terhadap beban pilar (V)

(Sumber: Perhitungan Pribadi)

Setelah dilakukan perhitungan pada kekuatan fondasi untuk daya dukung tiang kelompok dengan tipe *Pilecap* (P6) didapatkan hasil kesimpulan perhitungan kontrol $Q_{tk} 133,96 \text{ ton} > V 1267,47 \text{ ton}$ yang artinya fondasi *Bored Pile* dengan kedalaman 45 meter dan diameter 1 meter sudah cukup aman untuk daya dukung kelompok. Setelah dilakukan perhitungan terhadap daya dukung kelompok dilanjutkan dengan menghitung data bahan kekuatan terhadap *Pilecap*.

1. GAYA AKSIAL PADA TIANG PANCANG

Berat tanah di atas pilecap,	$W_z = L_x \cdot L_y \cdot z \cdot w_z =$	0.00	kN
Berat pilecap,	$W_c = L_x \cdot L_y \cdot h \cdot w_c =$	756.00	kN
Total gaya aksial terfaktor,	$P_u = P_{uk} + 1.2 \cdot W_z + 1.2 \cdot W_c =$	12312.20	kN
Lengan maksimum tiang pancang arah x thd. pusat,	$x_{max} =$	2.50	m
Lengan maksimum tiang pancang arah y thd. pusat,	$y_{max} =$	1.25	m
Lengan minimum tiang pancang arah x thd. pusat,	$x_{min} =$	-2.50	m
Lengan minimum tiang pancang arah y thd. pusat,	$y_{min} =$	-1.25	m
Gaya aksial maksimum dan minimum pada tiang pancang,			
	$P_{u,max} = P_u/n + M_{ux}/x_{max}/\Sigma x^2 + M_{uy}/y_{max}/\Sigma y^2 =$	1909.40	kN
	$P_{u,min} = P_u/n + M_{ux}/x_{min}/\Sigma x^2 + M_{uy}/y_{min}/\Sigma y^2 =$	2194.67	kN
Syarat:	$P_{u,max} \leq \phi^* P_n$	1909.40 < 2040.00	→ AMAN (OK)

2. GAYA LATERAL PADA TIANG PANCANG

Gaya lateral arah x pada tiang,	$h_{ux} = H_{ux}/n =$	122.17	kN
Gaya lateral arah y pada tiang,	$h_{uy} = H_{uy}/n =$	114.00	kN
Gaya lateral kombinasi dua arah,	$h_{u,max} = \sqrt{(h_{ux}^2 + h_{uy}^2)} =$	167.09	kN
Syarat:	$h_{u,max} \leq \phi^* H_b$	167.09 < 280.00	→ AMAN (OK)

(Sumber: Pribadi)

Setelah dilakukan perhitungan pada kekuatan fondasi grup untuk tipe *Pilecap* (P6) didapatkan hasil kesimpulan perhitungan $Pu_{Max} 1909,40 \text{ Kn} \leq P_n 2040,00$ yang artinya fondasi *Bored Pile* dengan kedalaman 45 meter dan diameter 1 meter sudah cukup aman. Dengan dimensi optimal didapatkan tebal *Pile Cap* 1 meter dengan panjang dan lebar 7 x 4,5 meter.

Daya Dukung Tiang Kelompok

Setelah diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal dari hasil perhitungan sebelumnya, menggunakan metode analitis (Luciano De Court) dengan mengacu pada hasil uji dinamis (PDA), langkah selanjutnya adalah menghitung daya dukung tiang dalam kondisi kelompok. Jumlah tiang yang digunakan dalam perhitungan daya dukung tiang kelompok terdapat pada jenis pilecap (P6).

Adapun cara perhitungan daya dukung izin maksimum dari kelompok tiang dapat dilakukan dengan mengalikan daya dukung *ultimate* yang sudah dikalkulasi dengan faktor keamanan (digunakan $FK=3$) dengan jumlah tiang dalam kelompok, sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel berikut:

Tabel 5 Hasil Perhitungan Qall Kelompok (P6) Metode L.Decourt (DB-2)

No	Kedalaman (m)	Daya Dukung (Qu) (Ton)	Q izin (Ton)	Jumlah tiang	Qall Kelompok (Ton)
1.	48	1146,87	382,29	6	1645,50
2.	47	1085,62	361,87	6	1557,63
3.	46	1073,89	357,96	6	1540,80
4.	45	922,06	307,35	6	1322,96

(Sumber : Perhitungan Pribadi)

Perhitungan Daya Dukung Fondasi Bored Pile Menggunakan Software Plaxis 3D

Terdapat beberapa cara untuk memodelkan daya dukung fondasi bored pile melalui Software Plaxis 3D, salah satunya daya dukung fondasi bored pile dapat diperoleh melalui pemodelan penurunan yang diizinkan untuk mendapatkan daya dukung ultimate nya. Secara umum input pada Plaxis 3D, dibagi menjadi beberapa tahapan-tahapan yakni *soil, structures, mesh, flow conditions, dan stage construction*. Berikut ini adalah langkah-langkah yang digunakan untuk memodelkan daya dukung ultimate fondasi bored pile pada tugas akhir ini.

Daya dukung fondasi dapat diketahui dengan menghitung beban maksimum sebelum fondasi tiang pancang mengalami *collapse* menggunakan rumus pendekatan sederhana terhadap ΣM_{stage} seperti berikut:

$$Q = UL_{X-1} + (\Sigma M_{stage} \times (UL_x - UL_{X-1}))$$

Ket :

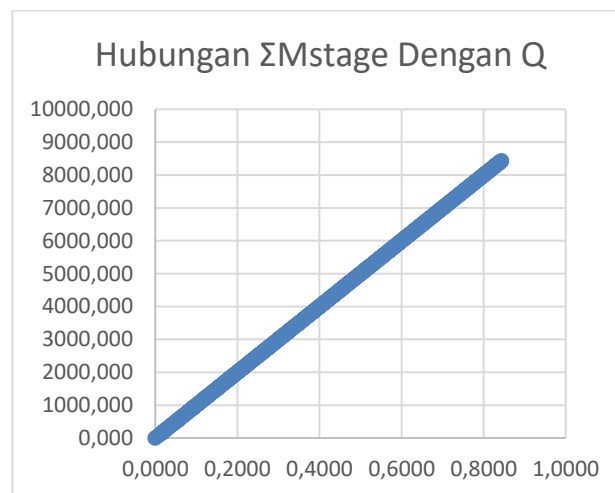
$$\begin{aligned} Q &= \text{Total beban sampai } collapse \\ UL_{X-1} &= \text{Uniform loads awal (kN)} \\ UL_x &= \text{Uniform loads akhir (kN)} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus tersebut maka didapatkan nilai daya dukung fondasi bored pile dengan kedalaman tiang 41 meter dan diameter bored pile 1 meter, menggunakan 1 pembebanan.

$$\begin{aligned} Q &= 0 + (0,8437 \times 10000-0) \\ &= 8437,61 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 6 Rekap Beban Yang Diinput Pada Plaxis 3D

Tahap	Uniform Load (kN/m ²)	Beban Total (kN/m ²)	ΣM_{Stage}	Ket
Initial Phase	-	-	1	OK
Construction Phase 1	-	-	1	OK
Loading Phase 2	10000	8437,61	0,8437	Collapse



Gambar 3 Grafik Hubungan ΣM_{stage} Dengan Q (Sumber : Perhitungan Pribadi)

Untuk menghitung daya dukung ultimate berdasarkan hasil output Software Plaxis 3D dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q \times \Sigma M_{stage} \\ &= 10000 \times 0,8437 \\ &= 8437,61 \text{ kN} \\ Q_{ult} &= 8437,61 \text{ kN} \times 0,101972 \\ &= 860,40 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Perbandingan Hasil Daya Dukung Ultimate

Perbandingan hasil perhitungan daya dukung ultimit fondasi bored pile pada kedalaman 41 meter menggunakan metode Luciano Decourt dan software Plaxis 3D serta presentase selisihnya adalah sebagai berikut, pada Tabel 10.

Tabel 4 Presentase Perbandingan Hasil Daya Dukung

Luciano Decourt	Software Plaxis 3D	Selisih (Luciano & Plaxis 3D)	%
922,06	860,40	61,66	6,69

Nilai daya dukung ultimate fondasi *Bored Pile* menggunakan metode Luciano Decourt dan pemodelan menggunakan *Software Plaxis 3D*. Data diatas menunjukkan bahwa pemodelan daya dukung metode analitis menggunakan metode Luciano Decourt cenderung memiliki hasil daya dukung ultimate yang sedikit mendekati jika dibandingkan dengan hasil pemodelan menggunakan *Software Plaxis 3D*. Hal ini dapat disebabkan oleh koefisien yang berbeda pada metode Luciano Decourt dibanding metode pemodelan menggunakan *Software Plaxis 3D*. Selisih yang diperoleh antara metode manual analitis Luciano Decourt dan pemodelan daya dukung menggunakan metode perangkat lunak *Plaxis 3D* yaitu 6,69 %. Selisih yang diperoleh antara metode manual analitis Luciano Decourt, pemodelan daya dukung metode Plaxis 3D berkisar 10 – 15 % masih dalam batas aman menurut (Ghiasi & Eskandari, 2023), dimana selisih persentase berada di bawah 15%.

SIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Dalam perhitungan menggunakan metode Luciano Decourt dengan kedalaman yang berbeda didapatkan hasil nilai daya dukung dari korelasi tanah N-SPT boring log (DB-2) yaitu kedalaman optimal pada 45 meter dengan nilai daya dukung tunggal sebesar 922,06 ton. Dalam hal ini pada kedalaman dihitung per meter dan dikontrol menggunakan perhitungan efisiensi kelompok tiang yang aman terhadap beban pilar. $Q_{tk} 1322,13 \text{ ton} \geq (V) 1267,47 \text{ ton}$, yang artinya fondasi *Bored Pile* kedalaman 45 meter dan diameter 1 meter sudah cukup aman untuk daya dukung kelompok.
2. Hasil daya dukung ultimate dari pemodelan fondasi *Bored Pile* kedalaman 45 meter dengan diameter 1 meter menggunakan *Software Plaxis*

3D berupa ΣM_{stage} dengan satuan kN. Dimana nilai ΣM_{stage} tersebut kemudian dikalikan dengan total beban yang diinput pada saat pemodelan dan dihasilkan nilai Qult sebesar 860,40 ton.

3. Hasil perhitungan dimensi optimal yang digunakan untuk type *Pile Cap* (P6) yaitu didapatkan hasil kesimpulan perhitungan Pumax sebesar 1909,40 Kn dengan nilai Pn sebesar 2040,00 Kn yang artinya aman dan masih memenuhi kapasitas kekuatan. Didapatkan dimensi optimal yaitu tebal *Pile Cap* 1 meter dengan panjang dan lebar 7 x 4,5 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifatussaadah, N., Rahayu, S., & Agustian, K. (2024). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode Analisis SWIFT Pada Pekerjaan Fondasi Bored Pile. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 5(2), 105–114. <https://doi.org/10.38038/vocatech.v5i2.168>
- Das. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *An Instructor ' s Solutions Manual to Accompany PRINCIPLES OF GEOTECHNICAL ENGINEERING , 8 TH EDITION*.
- Fajarsari, E., & Wulandari, S. (2013). Perencanaan Pondasi Tiang Bor Pada Proyek Cikini Gold Center. *Prosiding PESAT*, 5(0), 8–9.
- Ghiasi, V., & Eskandari, S. (2023). Comparing a single pile's axial bearing capacity using numerical modeling and analytical techniques. *Results in Engineering*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100893>
- Kevin Yeremia. (2022). *Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dengan Metode Statis Dan Metode Dinamis*.
- Prabowo, A. A., Pratama, D. A., & Maha Agung, P. A. (2019). Perbandingan Daya Dukung Antara Pondasi Tiang Pancang Dengan Pondasi Bor. *Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta*, 11.
- Rahmat Waluyo, Y. (2023). *Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Metode Manual Dengan Software AllPile V.7 (Studi Kasus Rusun Pemkot Semarang Tower 4)* (Vol. 1, Number 3).
- Yuliawan, E. , & Rahayu, T. (2018). *Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Berdasarkan Pengujian SPT & Cyclic Load Test*. <https://doi.org/https://doi.org/10.24853/jk.9.2.1-13>