

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG PADA BATUAN LEMPUNG DENGAN BERBAGAI DIAMETER

Elbert Conroy Zai¹ dan Aniek Prihatiningsih²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
elbert.325190084@stu.untar.ac.id

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

Masuk: 10-07-2023, revisi: 01-08-2023, diterima untuk diterbitkan: 13-10-2023

ABSTRACT

In several locations in Indonesia found soil that is claystone. Claystone itself is soil composed of solid grains resulting from weathering. Claystone is very cohesive and has low permeability. In the construction of multi-storey buildings on claystone, it is necessary to pay attention to the weight bearing. Stable strength is required to resist settlement along the shear plane. In foundation planning, problems often occur regarding the amount of settlement. Expansive soil contains minerals that expand and affect changes in water content. Claystone is a type of expansive soil that will expand or increase in volume when it contracts with water. The condition of the soil below the surface is one of the factors that can affect its decline. The foundation used is the drilled pile foundation. Soil data taken in East Kalimantan. Carrying capacity will be calculated and find out the amount of settlement that will occur in the soil. In this research, we will find out the foundation strength for various diameters at a depth of 6000 for a 20-storey building on claystone.

Keywords: Claystone; bearing capacity; settlement; deep foundations; drilled piles

ABSTRAK

Di beberapa lokasi di Indonesia ditemukan tanah yang bersifat batuan lempung. Batuan Lempung sendiri adalah tanah yang tersusun dari butiran padat hasil pelapukan. Batuan lempung sangat kohesif dan bersifat permeabilitas rendah. Dalam pembangunan gedung bertingkat di atas batuan lempung perlu diperhatikan dalam menahan beban. Diperlukan kekuatan yang stabil untuk menahan penurunan disepanjang bidang geser. Dalam perencanaan fondasi sering terjadi masalah terhadap besarnya penurunan. Tanah ekspansif mengandung mineral-mineral yang bersifat mengembang dan berpengaruh terhadap perubahan kadar air. Batuan lempung termasuk jenis tanah ekspansif yang akan mengalami pengembangan atau peningkatan volume apabila berkontraksi dengan air. Kondisi tanah yang berada di bawah permukaan menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi penurunannya. Fondasi yang digunakan fondasi tiang bor. Diambil data tanah di Kalimantan Timur. Akan dilakukan perhitungan daya dukung, dan mengetahui besar penurunan yang akan terjadi pada tanah. Dalam penelitian ini akan mengetahui kekuatan fondasi untuk berbagai diameter pada kedalaman 6000 terhadap bangunan 20 lantai pada tanah batuan lempung.

Kata kunci: Batuan lempung; daya dukung; penurunan tanah; fondasi dalam; tiang bor

1. PENDAHULUAN

Perkembangan zaman yang mencakup ekonomi dan teknologi hingga kini membuat banyak kemajuan. Perkembangan zaman ini diiringi oleh kemajuan pembangunan. Konstruksi infrastruktur di Indonesia hingga saat ini semakin meningkat. Pembangunan infrastruktur yang semakin maju membuat kebutuhan masyarakat semakin meningkat. Pembuatan suatu infrastruktur pasti tidak terlepas dari pembuatan suatu fondasi.

Fondasi merupakan elemen struktur yang berguna untuk menopang beban suatu struktur dan meneruskan beban kepada tanah. Menurut Terzaghi et al. (1996). Fondasi merupakan bangunan yang memindahkan beban gravitasi bangunan konstruksi ke bumi dan terletak pada bagian bawah sebuah struktur. Untuk menghasilkan struktur yang kokoh, fondasi harus direncanakan dengan baik agar kegagalan suatu struktur dapat dihindari. Fondasi berperan penting agar dapat menopang beban suatu struktur pada jenis tanah apapun.

Tanah mempunyai peranan penting dalam pembangunan. Berfungsi sebagai penahan beban dan bangunan konstruksi di atasnya. Masalah yang dihadapi adalah bertambahnya jumlah penduduk manusia maka ketersediaan lahan pembangunan semakin berkurang. Yang mengakibatkan tidak terhindarnya mendirikan bangunan di atas segala jenis

tanah termasuk di atas batuan lempung. Masalahnya daya rembes air sangat lemah, menyebabkan penurunan yang terjadi membutuhkan waktu yang lama.

Menurut Septiadi dan Prihatiningsih (2020), kesalahan dalam mendesain fondasi dapat mengakibatkan kegagalan fondasi yang akan terjadi cepat atau lambat. Jika fondasi didesain secara benar, maka fondasi yang terbangun tidak akan menjadi boros (*over design*), begitupun sebaliknya. Hal ini tentunya akan membuat anggaran pengeluaran yang dikeluarkan membengkak sehingga harga proyek menjadi mahal. Disaat yang sama, gedung bertingkat tinggi yang akan dibangun mungkin saja tidak memerlukan spesifikasi fondasi yang terlalu tinggi.

Berdasarkan peninjauan dari batasan masalah, rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Menghitung besar daya dukung fondasi yang diperlukan di bangunan bertingkat tinggi pada tiang tunggal dan tiang kelompok jika menggunakan fondasi tiang ujung.
2. Menghitung besar penurunan tanah yang terjadi di bangunan bertingkat tinggi pada tiang tunggal dan tiang kelompok jika menggunakan fondasi tiang ujung.
3. Menganalisa daya dukung fondasi dan penurunan tanah yang terjadi di bangunan bertingkat tinggi jika menggunakan fondasi tiang ujung.

Tanah lempung

Tanah lempung memiliki karakteristik mudah mengalami pelapukan tanah jika terus menerus terekspos dengan udara, pelapukan tanah berdampak pada penurunan kuat geser tanah sehingga bisa berdampak longsor di daerah konstruksi bangunan (Prihatiningsih & Tantra, 2019). Keberadaan lempung sangat tidak stabil meskipun di kondisi kontur yang landai. Tanah lempung sering dijumpai dalam struktur tanah di Indonesia, sehingga ditemukan juga beberapa lokasi di Indonesia yang mengandung batu lempung.

Fondasi dalam

Fondasi terdiri dari dua jenis ada fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dalam merupakan struktur yang memiliki fungsi untuk menyalurkan beban bangunan ke tanah dengan kedalaman yang telah ditentukan (Das & Sivakugan, 2018). Berdasarkan (Hardiyatmo, 1996) Menurut (Hardiyatmo, 2008) fondasi dalam dapat ditinjau berdasarkan cara mendukung beban yaitu:

1. Tiang geser (*friction pile*)
2. Tiang ujung (*end bearing pile*)

Daya dukung ujung tiang

Menurut Abu-Farsakh et al. (2013) menghitung daya dukung *ultimate* tiang diekspresikan Persamaan 1.

$$Q_u = Q_p + Q_s = q_p \times A_p + \sum_{i=1}^n f_{sz} A_{si} \quad (1)$$

dengan A_p = Luas permukaan, A_{si} = Keliling permukaan.

Pada penelitian ini daya dukung ujung menggunakan metode O'Neill & Reese, dalam metode ini mengatakan daya dukung tiang bor pada tanah kohesif direkomendasikan daya dukung ujung pada Persamaan 2.

$$Q_p = N_c S_{ub} \quad (2)$$

dengan Q_p = Daya dukung ujung tiang, N_c = Nilai interpolasi dari tabel, S_{ub} = Nilai *shear strength* (psf).

Daya dukung selimut

Menggunakan metode O'Neill & Reese direkomendasikan Persamaan 3.

$$f_{sz} = \alpha \cdot S_{uz} \quad (3)$$

dengan $\alpha = 0,55$ didapat dari faktor adhesi berasal dari tabel α – *value*, S_{uz} = nilai *shear strength* (kN), f_{sz} = gesekan selimut tiang

Penurunan tanah

Penurunan tanah yang dimaksud terdiri dari penurunan elastis dan penurunan konsolidasi primer. Penurunan elastis merupakan penurunan yang terjadi akibat deformasi elastis yang terjadi pada tanah basah, jenuh air, batuan, atau kering, tanpa mempengaruhi kadar air dalam tanah. Penurunan elastis menggunakan metode Vesic. Menurut Das

(2017) metode Vesic dibagi menjadi 3 komponen yaitu, Penurunan batang tiang ($S_{e(1)}$), Penurunan ujung tiang akibat beban yang bekerja ($S_{e(2)}$), Penurunan akibat gesekan selimut sepanjang tiang akibat beban yang bekerja ($S_{e(3)}$).

Menurut Das (1995) rumus penurunan tersebut dapat dihitung dengan Persamaan 4-13.

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (4)$$

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + E Q_{ws})L}{A_p \times E_p} \quad (5)$$

$$F_{Q_s} = \frac{Q_s}{Q_p + Q_s} \quad (6)$$

$$F_{Q_p} = \frac{Q_p}{Q_p + Q_s} \quad (7)$$

$$Q_{WP} = \frac{F_z}{n F_{Q_p}} \quad (8)$$

$$Q_{WS} = \frac{F_z}{n F_{Q_s}} \quad (9)$$

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (10)$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{p L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \quad (11)$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p} \quad (12)$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (13)$$

Penurunan konsolidasi adalah perpindahan vertical permukaan tanah sehubungan dengan perubahan volume pada suatu tingkat dalam proses konsolidasi (Budhu, 2010). Penurunan konsolidasi primer terdiri dari *normally consolidated*, *over consolidated*, indeks kompresibilitas, dan indeks pemuaian.

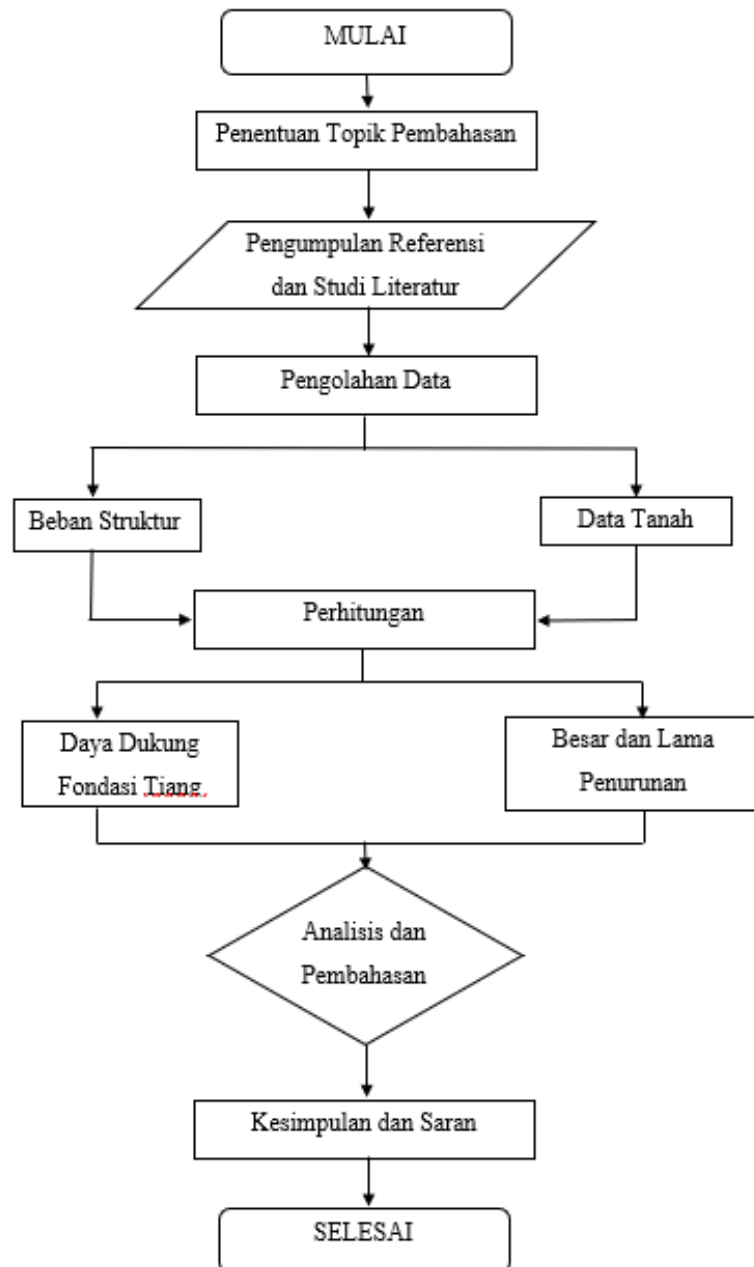
Penurunan ijin

Berdasarkan SNI 8460:2017 besar penurunan yang terjadi dan beda penurunan yang diijinkan berdasarkan fungsi dan kestabilan struktur memiliki syarat penurunan total $< 15 \text{ cm} + b/600$

2. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian (Gambar 1) sebagai berikut:

1. Menentukan Menentukan topik yang akan dibahas;
2. Mencari dan mengumpulkan teori yang berguna untuk menguatkan penelitian ini berupa jurnal, buku literatur, artikel yang berhubungan dengan topik yang dibahas;
3. Menganalisa sifat tanah, rumus daya dukung tanah, dan jenis penurunan;
4. Mengumpulkan parameter yang diperlukan dari data tanah;
5. Mencari jenis fondasi yang optimal dan efisien untuk tiap bangunan dalam setiap kondisi;
6. Mendesain tipe fondasi yang sesuai;
7. Menghitung kapasitas daya dukung tanah;
8. Menjabarkan hasil penurunan tanah;
9. Membuat kesimpulan dan saran secara menyeluruh berdasarkan hasil penelitian;



Gambar 1. Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data proyek

Untuk menghitung daya dukung fondasi dan penurunan tanah digunakan data proyek berupa *boring log*, sondir, dan data laboratorium di daerah Kalimantan Timur. Data proyek terdiri dari 4 buah titik bor dengan kedalaman 50 meter, 8 buah titik sondir, dan data laboratorium. Dari data proyek ini akan dibuat parameter akhir yang akan menyimpulkan kondisi tanah pada lokasi studi kasus. Parameter akhir tanah dapat dilihat pada Tabel 1-2.

Tabel 1. Parameter tanah

ELEVASI (m)	KEDALAMAN (m)	JENIS TANAH	γ_{sat} (kNm^3)	γ_{wet} (kNm^3)	Cc	
0	9	9	Claystone	16	15	5,9
9	20	11	Siltstone	18	15	0.16
20	26	6	Claystone	16,5	15	0,2
26	50	24	Siltstone	18	15	0,1

Tabel 2. Parameter tanah (lanjutan)

ELEVASI (m)	Cs	OCR	φ' (°)	P'_c (kPa)	C' (kPa)	e_0	Su (kPa)	Eu & E'	N- SPT	Qc (kg/cm ²)	
0	9	2,26	113	25	165	220	0,67	165	50	194	101
9	20	0,09	115	30	177	226	0,31	177	53	295	250
20	26	0,11	117	30	177	247	0,7	177	53	295	250
26	50	0,08	104	36	177	253	0,27	177	53	295	250

Ukuran dan berat bangunan

Bangunan bertingkat memiliki konfigurasi 30 m × 15 m. terdiri dari 20 lantai dan 24 kolom.

Berat beban yang akan digunakan untuk lantai dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Summary beban pada fondasi

Lantai	Konversi Beban Terpusat (kN)	Beban Kolom (kN)	Beban Kolom (ton)
20	160,6	3011,25	303

Perhitungan daya dukung ujung tiang (Qp)

Menurut Winata dan Susilo (2022) Daya Dukung fondasi perlu memperhitungkan gaya angin, gaya gempa, dan lainnya. Pemilihan fondasi yang efektif dipilih dengan memperhatikan diameter dan kedalaman tiang fondasi. Daya dukung fondasi memperhitungkan nilai daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang. Perhitungan nilai daya dukung ujung tiang akan dihitung dengan fondasi tiang ujung dengan diameter yang berbeda-beda (Tabel 4) untuk diameter 500, 600, 700, 800, 900, dan 1000.

Tabel 4. Hasil perhitungan akhir daya dukung ujung tiang

Diameter (mm)	Qp O'Neill & Reese (kN)	Qp O'Neill & Reese (ton)
500	323,8411	33
600	466,3313	47
700	634,7286	64
800	829,0333	84
900	1049,2453	106
1000	1295,3646	131

Perhitungan daya dukung selimut tiang (Qs)

Menggunakan metode O'Neill & Reese. Perhitungan nilai daya dukung akan diterapkan pada lantai yang akan dianalisis. Dibawah ini hasil perhitungan akhir daya dukung selimut pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan akhir daya dukung selimut tiang

Diameter (mm)	Qs O'Neill & Reese (kN)	Qs O'Neill & Reese (ton)
500	1424,9010	144
600	1709,8813	172
700	1994,8615	201
800	2279,8417	229
900	2564,8219	258
1000	2849,8012	287

Perhitungan daya dukung fondasi tiang ujung (Q_{all})

Berdasarkan perhitungan daya dukung ujung tiang dan selimut tiang dapat dihasilkan nilai daya dukung fondasi. Berikut hasil perhitungan Q_{all} dapat dilihat pada Tabel 6 dan korelasi berat beban dengan Q_{all} pada Tabel 7.

Tabel 6. *Summary* daya dukung fondasi

D (mm)	Q_p O'Neill & Reese (Ton)	Q_s O'Neill & Reese (Ton)	Q_{all} (Ton)
500	33	144	59
600	47	172	73
700	64	201	88
800	84	229	105
900	106	258	121
1000	131	287	139

Tabel 7. Korelasi berat beban dengan Q_{all}

Diameter (mm)	Berat Beban (ton)	Q_{all} <i>Single Pile</i> (ton)
500	303	<i>Cek Group Pile</i>
600	303	<i>Cek Group Pile</i>
700	303	<i>Cek Group Pile</i>
800	303	<i>Cek Group Pile</i>
900	303	<i>Cek Group Pile</i>
1000	303	<i>Cek Group Pile</i>

Perhitungan tiang kelompok

Berdasarkan hasil analisis perhitungan daya dukung fondasi tiang, pada beberapa lantai diperlukan penggunaan tiang kelompok dikarenakan daya dukung tiang tunggal tidak kuat menopang berat beban pada beberapa lantai. Tiang kelompok akan menggunakan dua tiang. Menggunakan metode *block failure*. Berikut hasil perhitungan tiang kelompok dan hasil akhir perhitungan daya dukung dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil akhir perhitungan daya dukung fondasi

Lantai	Berat Beban (ton)	<i>Group Pile</i> (2 tiang) (ton)	Diameter <i>Group Pile</i> (mm)	Cek
20	303	1166	500	Memenuhi
20	303	1451	600	Memenuhi
20	303	1754	700	Memenuhi
20	303	2073	800	Memenuhi
20	303	2410	900	Memenuhi
20	303	2764	1000	Memenuhi

Perhitungan penurunan tanah

Menentukan Perhitungan nilai penurunan tanah fondasi dalam akan menggunakan metode Vesic. Perhitungan penurunan tanah akan dilakukan pada kedalaman yang telah ditentukan pada perhitungan daya dukung. Perhitungan penurunan tanah terdiri dari penurunan elastis dan penurunan konsolidasi primer. Berikut hasil perhitungan penurunan tanah dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil penurunan tanah

Tipe	Lantai	Diameter Pile (mm)	Total Penurunan (mm)	Penurunan Izin (mm)
<i>Group Pile</i>	20	500	47	151
<i>Single Pile</i>	20	600	42	151
<i>Single Pile</i>	20	700	38	151
<i>Single Pile</i>	20	800	35	151
<i>Single Pile</i>	20	900	32	151
<i>Single Pile</i>	20	1000	30	151

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang menggunakan rumus O'Neill-Reese.
2. Dari perhitungan ditemukan bahwa perhitungan daya dukung menggunakan diameter 500, 600, 700, 800, 900, dan 1000mm menggunakan tiang kelompok.
3. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa perhitungan menggunakan diameter 600 pada tiang tunggal paling efektif menopang berat beban 20 lantai karena nilai daya dukung paling mendekati dengan berat beban.
4. Berdasarkan hasil perhitungan ditemukan bahwa perhitungan menggunakan diameter 500mm pada tiang kelompok paling efektif menopang berat beban 20 lantai karena nilai daya dukung tidak terlalu boros daripada perhitungan 600mm.
5. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa semakin besar diameter bor, penurunan yang dihasilkan semakin kecil.

Saran

1. Untuk mengurangi *strength reduction* dilakukan pelaksanaan konstruksi menggunakan metode dry boring.
2. Pengujian sebaiknya menggunakan aplikasi perhitungan agar mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Farsakh, M. Y., Chen, Q., & Haque, Md. N. (2013). Calibration of resistance factors for drilled shafts for the new fhwa design method (Report No. FHWA/LA. 12/495).
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik* (SNI 8460:2017).
- Budhu, M. (2010). *Soil mechanics and foundation* (Edisi ketiga). John Wiley & Sons, Inc.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika tanah 1*. Erlangga.
- Prihatingsih, A., & Tantra, H. (2019). Analisis kuat geser tanah clay shale yang terendam dan tidak terendam dengan unconfined compression test. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(1), 77-86. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i1.3037>
- 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>
- Winata, M. C., & Susilo, A. J. (2022). Analisis efektivitas micropile dan strauss pile untuk memperbesar daya dukung fondasi. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(2), 349-358. <https://doi.org/10.24912/jmts.v5i2.16655>

