

Analisis Perbandingan Penurunan Pondasi Tiang Pancang

M. Reza Hasrul¹, Moeh. Kay Muddin Asnur², Furqan Ali Yusuf³, Riska Ardiyanti⁴

Universitas Negeri Makassar

Email: mrezahasrul@unm.ac.id

Abstrak. Penurunan pondasi akibat beban yang bekerja pada pondasi dapat diklasifikasikan kedalam 2 (dua) jenis yaitu penurunan seketika (*immediately settlement*) dan penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*). Penelitian ini menganalisis penurunan konsolidasi pada pondasi tiang pancang. Metode penelitian yang digunakan kuantitatif, dengan perhitungan penurunan pondasi berdasarkan persamaan tomlinson dan dengan metode elemen hingga software plaxis. Hasil penelitian menunjukkan penurunan pondasi tiang dengan menggunakan metode tomlinson didapatkan hasil penurunan sebesar 38.3 mm, untuk hasil penurunan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan software plaxis sebesar 27.9 mm. Kedua hasil perhitungan menunjukkan penurunan yang terjadi masih pada batas aman $< 15 \text{ cm} + b/600$ (SNI:8460, 2017), adapun perbedaan besaran penurunan dari metode tomlinson dan metode elemen hingga software plaxis disebabkan pendekatan data input dari kedua metode tersebut. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah tahap perencanaan sehingga untuk tahap konstruksi perlu dilakukan dengan metode yang sesuai dengan yang dipersyaratkan dalam pelaksanaan konstruksi pondasi sesuai SNI yang berlaku sehingga angka penurunan pondasi dapat lebih diminimalkan.

Kata Kunci: Penurunan, Pondasi, Software Plaxis, Metode Tomlinson.

PENDAHULUAN

Penurunan adalah perubahan volume tanah pada saat penambahan beban di atas permukaannya yang mengakibatkan gerakan tertentu pada suatu konstruksi. Pada umumnya, penurunan tidak seragam lebih membahayakan bangunan dari pada penurunan total yang terjadi. Seiring waktu, pembangunan berkembang cukup pesat maka kita harus menyadari akan tingginya tuntutan pembangunan gedung berlantai banyak sehingga bangunan yang dibangun lebih dari dua lantai wajib mengetahui penurunan yang terjadi pada bangunan.

Penyebab utama dalam terjadinya penurunan yaitu adanya pembebanan yang bekerja di atas tanah yang menyebabkan terjadi kegagalan atau keruntuhan geser akibat terlampainya kapasitas dukung tanah dimana akan terjadi defleksi yang besar pada pondasi dan distorsi geser (*shear distorsion*) dari tanah pendukungnya. Selama penurunan, transisi tanah dari keadaan tegangan tubuh saat ini (atau beban sendiri) ke keadaan tegangan baru dibawah beban tambahan yang diharapkan karena tujuan utama pondasi adalah untuk menerima beban dari atas dan merumuskan beban ini ke pondasi maka harus memenuhi kriteria penurunan atau penurunan yang seharusnya.

Prediksi penurunan dapat dicapai sebagai penjumlahan dari tumpukan tiang dan deformasi elastisitas tiang, analisis penurunan memegang peranan penting dalam pondasi. Menghitung penurunan pondasi dengan prediksi penurunan seiring waktu yang kemudian analisis numerik dilakukan dengan software plaxis.

Plaxis adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa geoteknik atau perubahan bentuk dan stabilitas dalam permasalahan geoteknik. Dengan program ini juga dapat memberikan analisa teknik tentang settlement. maka program ini dapat digunakan sebagai metode perhitungan dan pemodelan penurunan pada bangunan.

Dari penelitian ini akan di dapatkan hasil perhitungan perilaku penurunan pondasi tiang pancang yang akan menjadi acuan dalam pemodelan suatu pondasi guna mencegah penurunan pondasi yang berlebihan dan mencegah kegagalan struktur bangunan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang dimulai dari menganalisis daya dukung pada pondasi tiang pancang kemudian menganalisis beban dari bangunan hingga penurunan pada bangunan dengan menggunakan metode tomlinson dan metode elemen hingga dengan software plaxis. Setelah proses analisis maka didapatkan rekomendasi atau data untuk melakukan pemodelan penurunan dalam program aplikasi sehingga didapatkan kesimpulan dengan acuan teori dengan studi literatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Mayerhof

Adapun perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang dengan menggunakan *Metode Mayerhof* yang didapatkan, dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 1. Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang

$P_n = 40 \times N_b \times A_b + N \times A_s$		1020.703 kN
$P_n < 380 \times N \times A_b$		1707.70 kN
Kapasitas nominal tiang pancang	P_n	1020.70 kN
Faktor reduksi kekuatan	\emptyset	0.6
Tahanan aksial tiang pancang	$P_n \times \emptyset$	612.42 kN

Sumber :Hasil analisis

Dari hasil yang diketahui seperti yang tertera pada Tabel. 1 diatas, Kapasitas nominal daya dukung pondasi tiang pancang sebesar 1020.70 kN dengan faktor reduksi kekuatan sebesar 0.60 dan tahanan aksial tiang pancang sebesar 612.42 kN.

Daya dukung tiang yang didapatkan dengan hasil dari kombinasi friction (gesekan) yang terjadi di selimut tiang serta tahanan aksial. Tahanan friction (gesekan) pada selimut tiang pancang, mendominasi ditanam pada tanah lempung seperti pada penelitian ini terlihat pada Tabel 2 Sebagai berikut.

Tabel 2. Daya dukung ujung tiang

Daya dukung ujung tiang pada tanah kohesif		
Qp	= 9*Cu*AP	= 429.416
Ap	= Luas Penampang Tiang	= 0.1590
Cu	= Kohesi Undrained (kN/m ²)	
	N-SPT*2/3*10	= 300

Sumber : Hasil analisis

Tabel 3. Tahanan geser selimut tiang pada tanah kohesif Cu

Tahanan geser selimut tiang pada tanah kohesif Cu		
Qs	= a*Cu*p*Li	= 1715.37
a	= Koefisien adhesi antara tanah dan tiang	= 0.20233
Cu	= Kohesi Undrained (kN/m ²)	= 300
P	= Keliling Tiang (m)	= 1.413
Li	= Panjang Lapisann Tanah	= 20.0
Qall	= Qp + Qs	
	= 2144.791	kN

Sumber : Hasil analisis

Dengan menjumlahkan daya dukung ujung tiang dan tahanan geser dinding tiang. Besarnya daya dukung diijinkan yaitu sebesar 2144.791 kN pada satu tiang.

Kemudian hasil perhitungan beban dengan menggunakan Metode Tributary Area. Beban tetap terdiri dari beban mati, beban mati tambahan dan beban hidup. Adapun data umum struktur yang digunakan adalah sebagai berikut:

- 1) Dimensi pile cap Ø45 dengan luas penampang 285x285 cm ketebalan 80 cm dan dengan kedalaman 16 m.
- 2) Dimensi kolom 40x80 cm dengan tinggi kolom pada lantai 1 adalah 7 m dan pada lantai 2-5 adalah 4 m.
- 3) Dimensi balok lantai 1-5 40x75.

4) Tebal plat lantai 4 cm.

5) Tata guna bangunan sebagai Gedung perkuliahan

Pendekatan ketentuan yang digunakan dalam perhitungan beban pada bangunan ini merupakan tata cara perencanaan pembangunan untuk gedung SNI 1727-1989. peraturan-peraturan tersebut adalah sebagai berikut ini.

Tabel 4. Data peraturan perhitungan pembebanan pada bangunan (SNI 1727-1989)

Beban mati	
Berat sendiri beban bangunan per satuan volume (m³)	
Berat jenis beton bertulang	= 2400 kg/m ³
Berat jenis pasir	= 1800 kg/m ³
Barat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung per satuan luas (m²)	
Berat sendiri spesi per cm tebal	= 21 kg/m ²
Berat sendiri tegel per cm tebal	= 24 kg/m ²
Berat sendiri plafon dan penggantung	= 18 kg/m ²
Beban hidup	
Beban hidup fungsi gedung	= 250 kg/m ²

Sumber :(SNI 1727-1989)

Dalam perhitungan pembebanan pada penelitian ini digunakan dua jenis pembebanan yaitu kondisi beban mati dan kondisi beban hidup. Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu kombinasi 2 (dua), Kombinasi 2 (1,2 DL + 1,6 LL)

Tabel 5. Rekapulasi hasil perhitungan pembebanan

Hasil Perhitungan Pembebanan	
Beban mati tetap (qd)	1521.552 kN
Beban mati tambahan (qds)	192.1664 kN
Beban hidup (ql)	491.42857 kN

Sumber :Hasil analisis

Kombinasi pembebanan yang ditinjau dengan cara *Tributary area*. perhitungan pembebanan dengan menghitung beban kombinasi pada satu elemen pondasi tiang pancang. Hasil dari perhitungan beban kombinasi pada satu elemen pondasi tiang pancang Gedung Laboratorium Terpadu dengan rumus sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil perhitungan pembebanan pada bangunan

$P_u = 1.2 (q_d + q_{ds}) + 1.6 q_l$	
q_d	1521.552 kN
q_{ds}	192.1664 kN
q_l	491.42857 kN
Hasil	2842.7 kN

Sumber :Hasil analisis

Didapatkan beban yang bekerja pada satu elemen pondasi tiang pancang Gedung Laboratorium Terpadu sebesar 2267.9 kN.

Berdasarkan pada perhitungan daya dukung dengan hasil yang didapatkan 2144.791 kN. per tiang, sehingga untuk 4 (empat) tiang didapatkan 8579.16 kN.. Untuk mendapatkan nilai *Safety factor* (SF) dilakukan perbandingan antara daya dukung dengan beban rencana:

$$\begin{aligned} SF &= \text{Daya dukung} / \text{Beban rencana} \\ &= 8579.16 \text{ Kn} / 2842.7 \text{ kN.} \\ &= 3 \text{ (ok).} \end{aligned}$$

Hal ini menunjukkan daya dukung dari tiang pancang memiliki nilai **SF > 3**, dalam artian walaupun beban rencana mengalami peningkatan sebesar 3 (tiga) kali lipat, pondasi tiang pancang masih mampu menahan beban tersebut.

B. Perhitungan Penurunan pondasi tiang pancang Menggunakan Metode Tomlinson

Perhitungan penurunan pondasi tiang pancang dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang melihat data parameter tanah, beban rencana yang sudah diperhitungkan sebelumnya yaitu sebesar 2268 kN /m² , dimensi tiang, pile cap, jarak antar tiang, kedalaman pondasi dan data pendukung lainnya. Perhitungan penurunan dilakukan pada tahap perencanaan dengan hasil penurunan yang didapatkan menggunakan metode Tomlinson yaitu sebesar 38.9 mm = 3.89 cm nilai penurunan yang didapatkan merupakan nilai penurunan pada tahap perencanaan sehingga penurunan ini belum terjadi.

Besarnya nilai penurunan total dan selisih penurunan yang diizinkan diterapkan sesuai dengan toleransi dari struktur atas dan bangunan sekitar yang harus dilihat berdasarkan setiap masalah tersendiri menggunakan dengan melihat integritas, stabilitas serta fungsi struktur di atasnya. Penurunan yang diijinkan < 15 cm + b/600 (b dalam satuan cm) pada bangunan yang cukup tinggi serta dibuktikan dengan struktur atas yang masih aman sesuai dengan ketentuan (SNI:8460, 2017).

Tabel 7. Total penurunan

Penurunan akibat konsolidasi		
Total consolidation settlement	$\mu_d \cdot \mu_g \cdot p_{oed}$	4.3 mm
	$p_i + p_c$	37.9 mm
Mengoreksi faktor geologi P_c	$\mu_g \cdot p_{oed}$	0.5 mm
Penurunan akibat beban gabungan dan lapisan tanah		
$37.9 + (2/3 \times 1.5) = 38.3$ mm		
Penurunan ijin	$S_{total} < S_{ijin}$	3.83 cm < 15.075 cm

Sumber :Hasil analisis

C. Penurunan pondasi tiang pancang pada Software Plaxis 2 Dimensi ver. 8.6

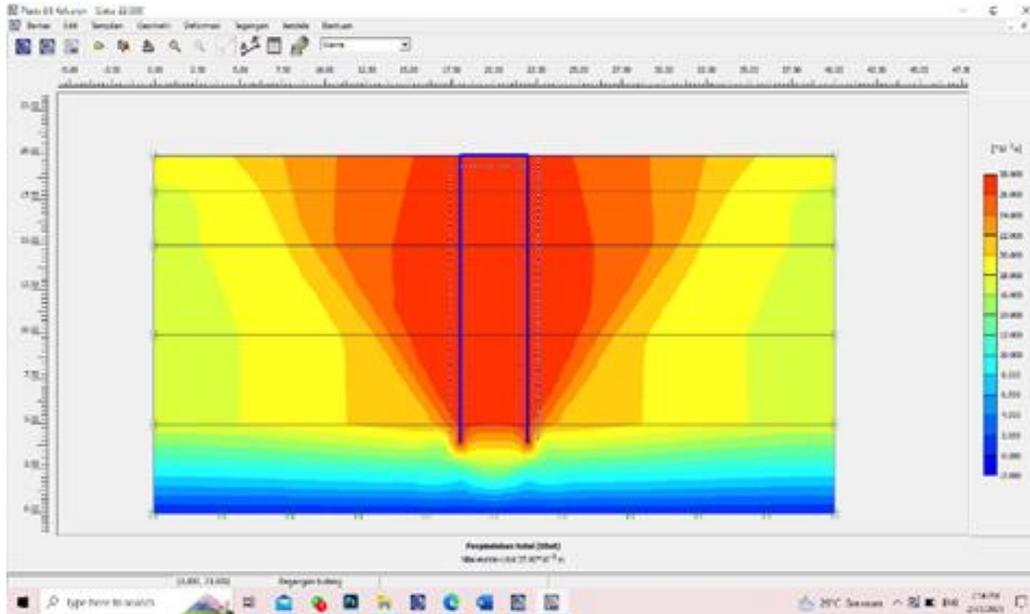
Penurunan yang dihitung pada software plaxis yaitu dengan mengasumsikan penurunan dengan pemodelan yang dilakukan adalah setengah bagian dari elemen yang ditinjau dimana pada elemen yang ditinjau terdapat 4 (empat) tiang pancang sehingga tiang yang dimodelkan hanya ada 2 (dua) tiang.

Data yang di gunakan dalam pemodelan perilaku penurunan pondasi tiang pancang pada software *Plaxis 2 Dimensi ver.8.6* menggunakan data sekunder yaitu Perilaku penurunan pondasi tiang pancang mengacu pada dimensi-dimensi yang tertera pada data sekunder *Detail Engineering Design (DED)* dan data sekunder parameter-parameter tanah dari hasil pengujian *Standart Penetration Test (SPT)*.

Alur pemodelan penurunan pondasi tiang pancang yaitu dengan memodelkan lapisan tanah dan tiang pancang menggunakan metode plan strain kemudian menentukan jenis tanah, material pada tiang pancang dan plat serta pembebanan, tahap selanjutnya melakukan calculate dengan beberapa tahap yang pertama pemasangan tiang, pemasangan *pile cap*, pembebanan dan faktor aman.

Sehingga menghasilkan besar nilai *Total Displacement* yang terjadi akibat pembebanan merata yaitu 27.90×10^3 atau sebesar 27.9 mm dan nilai *Safety Factor* pada kondisi akibat beban merata senilai 2,0320 yang dipengaruhi oleh geometri dari tanah yang memiliki variasi berupa kemiringan dan ketebalan layer serta dipengaruhi juga oleh lapisan *replacement* sebagai perkuatan untuk lapisan tanah asli. Sedangkan hasil perhitungan analitik dengan menggunakan Metode *Tomlinson* mendapatkan hasil penurunan yang lebih tinggi yaitu sebesar 38.3 mm. Dimana hasil penurunan yang didapatkan dari perhitungan analitik dan perhitungan numerik masih memenuhi penurunan yang diizinkan.

Adapun *output* pada program *Plaxis* menghasilkan kurva dari waktu dengan penurunan yaitu terjadi pada 42 (empat puluh dua) titik dan 40 (empat puluh) langkah mendapatkan dengan hasil akhir pada titik 42 dan langkah ke 40 sebesar 0.028 m. Berikut merupakan gambar *output* pada program *Plaxis*.



Gambar 1. Hasil pemodelan penurunan pada Software Plaxis

Pemodelan tanah yang digunakan pada perhitungan penurunan dengan metode ini adalah pemodelan tanah *Mohr-Coulomb*. Diasumsikan bahwa perilaku tanah *Mohr-Coulomb* bersifat plastis sempurna, dengan menggunakan 5 (lima) buah parameter yaitu

1. Young’s Modulus (E),
2. Poisson’s ratio (ν) yang memodelkan keelastisitan tanah
3. Kohesi (c),
4. sudut geser (ϕ) memodelkan perilaku plastis dari tanah.
5. Sudut dilatasi (ψ)

D. Hasil penurunan menggunakan metode Tomlinson dan Software Plaxis 2 Dimensi ver. 8.6

Berdasarkan hasil yang didapatkan dapat dilihat perbedaan nilai penurunan yang didapatkan dari metode Tomlinson sebesar 38.3 mm dan menggunakan Software Plaxis sebesar 27.9 mm. Adapun perbedaan hasil perhitungan penurunan yang terjadi akibat perbedaan pendekatan metode yang digunakan dan input parameter tanah yang berbeda dari kedua metode tersebut. Berikut merupakan perbandingan input parameter tanah yang digunakan.

Tabel 8. Perbandingan Input Parameter Tanah

Perbandingan Input Parameter Tanah	
Metode Tomlinson	Metode software Plaxis
Tebal lapisan pasir	Berat volume tanah kering / <i>dry soil weight</i> (γ dry)

Tebal lempung lunak organik	Berat volume tanah basah / <i>wet soil weight</i> (γ wet)
Urukan pasir	Permeabilitas arah horizontal / <i>horizontal permeability</i> (k_x)
Beban bangunan	Permeabilitas arah vertikal / <i>vertical permeability</i> (k_y)
Luas lantai dasar	Modulus young / <i>Young's Modulus</i> (E_{ref})
Kuat geser rata-rata	<i>Poisson ratio</i> (ν)
Peningkatan kuat geser	Sudut geser / <i>friction angle</i> (ϕ)
Modulus deformasi	Sudut dilatasi / <i>dilatancy angle</i> (ψ)

Sumber: Hasil analisis

Selain adanya perbedaan input parameter, berdasarkan penelitian yang dilakukan terdapat perbedaan antara perhitungan secara manual (metode Tomlinson) dengan perhitungan menggunakan program plaxis, perbedaan itu bisa disebabkan oleh beberapa faktor:

1. Pada perhitungan manual:
 - a. Perhitungan penurunan di perhitungkan dari lapisan inkompresibel, yaitu pada kedalaman 15 m dibawah dasar ujung tiang dengan membagi 8 (delapan) lapisan dengan kedalaman per 2 m dari 15 m dan memanjang 32.5 m.
 - b. Total penurunan dikali dengan faktor geologi yaitu sebesar 0.5
2. Pada perhitungan dengan software plaxis:
 - a. Perhitungan penurunan di perhitungkan dari zona tanah awal hingga ke kedalaman 20 m dengan membagi 4 (empat) lapisan dengan kedalaman per 5 m.
 - b. Pada tahap perhitungan dilakukan sebanyak 4 (empat) kali yaitu pemasangan tiang, pemasangan pile cap, pembebanan dan faktor aman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Daya dukung yang didapatkan dari hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang dengan menggunakan metode mayerhof menghasilkan daya dukung sebesar 8579.16 kN pada 4 tiang. Dengan beban bangunan beban yang bekerja pada tiang pancang sebesar 2842.7 kN.
2. Daya dukung dari tiang pancang memiliki nilai Safety factor (SF) > 3, daya dukung tanah yang diambil merupakan daya dukung yang mendekati dan kurang dari setengah kapasitas tiang sesuai dari hasil kontrol P ijin > P rencana dimana kapasitas ijin tiang 8579.16 kN pada 4 (empat) tiang lebih besar jika dibandingkan dengan beban bangunan yang bekerja yaitu sebesar 2842.7 kN, dalam artian

walaupun beban rencana mengalami peningkatan sebesar 3 (tiga) kali lipat, pondasi tiang pancang masih mampu menahan beban tersebut.

3. Penurunan pondasi tiang pancang yang terjadi dengan menggunakan metode Tomlinson yaitu sebesar $38.3 \text{ mm} = 3.83 \text{ cm}$.
4. Cara memodelkan penurunan pondasi tiang pancang dengan menggunakan software Plaxis 2 Dimensi ver 8.6. diawali dengan mengumpulkan data masukan berupa parameter-parameter tanah dan dimensi pondasi yang digunakan, setelah data terkumpul mulai menjalankan input hingga output software Plaxis 2 Dimensi ver 8.6. Berdasarkan pemodelan yang penulis lakukan didapatkan penurunan pondasi tiang pancang sebesar $27.90 \text{ mm} = 2.79 \text{ cm}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi yang telah memberikan ijin pelaksanaan Penelitian ini. Selanjutnya ucapan terima kasih disampaikan pula kepada Rektor UNM atas arahan dan pembinaanya selama proses kegiatan Pengabdian Masyarakat berlangsung. Demikian pula ucapan terima kasih disampaikan kepada Ketua Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat UNM, Dekan Fakultas Teknik dan Ketua Jurusan Pendidikan Pendidikan Teknik Sipil & Perencanaan, yang mengizinkan kegiatan penelitian ini dilaksanakan hingga selesai

REFERENSI

- Alencar, D. E., & Decourt, D. A. N. L. (2018). *Tugas akhir*.
- Amhar, M., Yanreginata, W., Teknik, J., Dan, S., Teknik, F., & Sriwijaya, U. (2021). *Tugas akhir analisis daya dukung dan penurunan pondasi folded plate pada tanah lempung dengan bantuan program plaxis 2d*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). Sni 8460-2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik, 8460, 2017*.
- Dey, Y., & Das, S. (2022). Settlement Analysis of Pile Foundation Using Plaxis 3D. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 7(1), 211–216. <https://doi.org/10.33564/ijeast.2022.v07i01.034>
- Hardiyatmo, H. C. (2008). Teknik Fondasi 2. *Gramedia Pustaka Utama*, 275. https://www.academia.edu/download/57492139/Hardiyatmo_____-1996_-_Teknik_Pondasi_1.pdf
- Hermansyah, D. (2018). Settlement (Penurunan) (Rangkaian dan Pembahasan Serta Penjelasan Tentang Settlement). *Academia.Edu*. https://www.academia.edu/download/57644932/HADIR_5150811095_DIDIEK_HERMANSYAH_KELAS_B.pdf
- Kawengian, S., Balamba, S., & Sarajar, A. N. (2018). Analisis Daya Dukung Lateral pada Tiang Pancang Kelompok di Dermaga Belang. *Jurnal Sipil Statik*, 6(9), 683–692.
- KÖYLÜ, V., ALPASLAN, N., & YAVUZ, V. S. (2021). Consolidation settlement calculation and examination of the foundation settlements with finite elements method,

- example of Batman city Gültepe bridge. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 12(2), 373–387. <https://doi.org/10.24012/dumf.834478>
- Ma, G. H., Chen, J. J., Wang, J. H., & Zhou, H. B. (2006). Long-term settlement of multi-story buildings on soft clay foundation in Shanghai. *Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics*, 27(6), 991–994.
- Marbun, B., Sipil, D. T., Teknik, F., Ekstension, P. P., & Utara, U. S. (2009). *PROYEK PEMBANGUNAN RUSUNAWA MEDAN AREA*.
- Muhshin, M. M., & Ika Putra, A. (2021). Pemetaan Penurunan Elastis Fondasi Tiang Berdasarkan Data Sondir Kota Pekanbaru. *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*, 6(1), 34. <https://doi.org/10.20961/ijcee.v6i1.53689>
- Mulyono, G. (2013). Universitas kristen Petra. *Perancangan Interior Pusat Mitigasi Di Jogja*, 27(2007), 6–23.
- Penurunan, A., Tiang, P., & Plaxis, M. (2019). *Analisis Penurunan Pondasi Tiang Menggunakan Plaxis*. 8(September), 1706–1714.
- Rahmat, Suwanto, H., & L. (2016). Waktu Konsolidasi dan Penurunan pada Bendungan Lawe-Lawe Penajam Paser Utara. *Jurnal Transukma*, 02(1), 7–15.
- Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., Dan, S., & Indonesia, U. I. (2021). *PANCANG TERHADAP VARIASI DIMENSI (ANALYSIS OF THE BEARING CAPACITY OF THE MAYERHOFF METHOD AND SETTLEMENT OF PILE FOUNDATIONS ON DIMENSIONAL VARIATIONS) Achmad Naufal Kadarusman PANCANG TERHADAP VARIASI DIMENSI (ANALYSIS OF THE BEARING CAPACITY OF THE* .
- Ter-Martirosyan, A., & Anh, L. D. (2020). Calculation of the settlement of pile foundations taking into account the influence of soil liquefaction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 869(5), 2–11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/5/052025>
- Universitas, M., Indonesia, K., Ot, J., & Talake, P. (2018). 1, 2. 3. 4(1).
- Wulandari, P. S., & Tjandra, D. (2015). Analysis of piled raft foundation on soft soil using PLAXIS 2D. *Procedia Engineering*, 125, 363–367. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.083>
- Yullianty Noorlaelasari, ST., M. (2020). Modul Ajar Pondasi Dangkal. *Modul Ajar TEKNIK SIPIL POLITEKNIK NEGERI BANDUNG*, 1–55.