

Kajian Penurunan Tanah di Kabupaten Bekasi Akibat Eksploitasi Air Berlebihan dengan Aplikasi Geostudio dan Plaxis

Yonas Prima Arga Rumbyarso^{1*}

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Krisnadwipayana, Jatiwaringin Pondok Gede Kota Bekasi, Indonesia, 13077

* Korespondensi: yonasprima@unkris.ac.id

Received: 20 October 2024

Revised: 29 December 2024

Accepted: 30 December 2024

Citation:

Rumbyarso, Y. P. A. (2024). Kajian penurunan tanah di Kabupaten Bekasi akibat eksploitasi air berlebihan dengan aplikasi Geostudio dan Plaxis. *QOMARUNA Journal of Multidisciplinary Studies*, 2(1), 42–56.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open-access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

ABSTRACT

Cibatu, a sub-district in South Cikarang, Bekasi Regency, West Java, has a high population density and spans an area of approximately 1,200 hectares. This area faces increased groundwater usage for domestic and industrial purposes through deep wells, which has the potential to cause ongoing land subsidence. This study employed Plaxis and Geostudio software to model and predict the extent of land subsidence. Simulation results indicate that Plaxis predicts greater land subsidence than Geostudio, at 13.44 cm/year with pump usage and 3.91 cm/year without pumps. Conversely, Geostudio predicts subsidence of 12.01 cm/year with pump usage and only 0.022 cm/year without pumps. Pump usage has proven to have a significant impact, particularly at Building A of Pelita Bangsa University, where the risk of land subsidence increases by up to 293.09% with pumps. This study aims to identify groundwater levels, soil layers experiencing the greatest subsidence, the extent of subsidence due to water extraction, and the impact of pump usage on land subsidence in the Kaligawe area. The findings conclude that excessive pump usage significantly increases the rate of land subsidence. Policies supporting sustainable groundwater management are needed to address this issue, such as limiting deep well usage, increasing surface water utilization, and implementing water conservation technologies. Additionally, regular monitoring of groundwater levels and subsidence rates is necessary to prevent further impacts on infrastructure and the environment in South Cikarang.

Keywords: Land Subsidence, Groundwater Extraction, Plaxis, Geostudio, Cikarang Selatan.

ABSTRAK

Cibatu, sebuah kelurahan di Kecamatan Cikarang Selatan, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat, memiliki kepadatan penduduk tinggi dan luas wilayah sekitar 1.200 hektare. Wilayah ini menghadapi peningkatan penggunaan air tanah untuk kebutuhan domestik dan industri melalui sumur bor dalam, yang berpotensi menyebabkan penurunan tanah (*land subsidence*) secara berkelanjutan. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak Plaxis dan Geostudio untuk memodelkan dan memprediksi besarnya penurunan tanah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Plaxis memprediksi penurunan tanah lebih besar dibandingkan Geostudio, yaitu 13,44 cm/tahun dengan penggunaan pompa dan 3,91 cm/tahun tanpa pompa. Sebaliknya, Geostudio memprediksi penurunan sebesar 12,01 cm/tahun dengan pompa dan 0,022 cm/tahun tanpa pompa. Penggunaan pompa terbukti berdampak signifikan, terutama di Gedung A Universitas Pelita Bangsa, di mana risiko penurunan tanah meningkat hingga 293,09% dengan pompa. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi kondisi muka air tanah, lapisan tanah dengan penurunan terbesar, besarnya penurunan akibat pengambilan air, serta pengaruh penggunaan

pompa terhadap penurunan tanah di kawasan Kaligawe. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pompa secara berlebihan memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan laju penurunan tanah. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan kebijakan yang mendukung pengelolaan air tanah berkelanjutan, seperti pembatasan penggunaan sumur bor dalam, peningkatan pemanfaatan air permukaan, dan penerapan teknologi konservasi air. Selain itu, pemantauan berkala terhadap muka air tanah dan tingkat penurunan tanah perlu dilakukan untuk mencegah dampak lebih lanjut terhadap infrastruktur dan lingkungan di Cikarang Selatan.

Kata kunci: Penurunan Tanah, Pengambilan Air dalam Tanah, Plaxis, Geostudio, Cikarang Selatan.

1. Pendahuluan

Data dari BPS Kabupaten Bekasi tahun 2022 menunjukkan jumlah penduduk kota ini sebanyak 2.117.371 orang dengan laju pertumbuhan tahunan 0,61% & kepadatan 12.187,83 orang per km². Kecamatan Cikarang Selatan memiliki luas 49,57 km² (Melanira, A., & Rudianto, A. M., 2023). Tingginya kebutuhan air untuk industri & domestik di Cibatu, terutama dari sumur bor dalam, dapat menyebabkan penurunan tanah, yang mengancam stabilitas tanah & struktur bangunan di atasnya.

Land subsidence adalah penurunan permukaan tanah yang bisa terjadi secara bertahap atau tiba-tiba. Hal ini sering disebabkan oleh penarikan air tanah menggunakan pompa dari *aquifer*, yang meningkatkan tekanan pada partikel tanah & memicu pemampatan, terutama jika tanahnya lunak seperti lanau atau liat. Menurut (Darmiyanti, L., et al., 2023), ekstraksi air berlebihan mengakibatkan penurunan gaya *uplift* tanah & meningkatnya tegangan efektif, yang berujung pada penyusutan butiran tanah & penurunan tanah secara signifikan. Proses ini juga dapat memicu erosi dalam tanah yang berdampak pada penurunan muka air tanah & penurunan tanah yang luas.

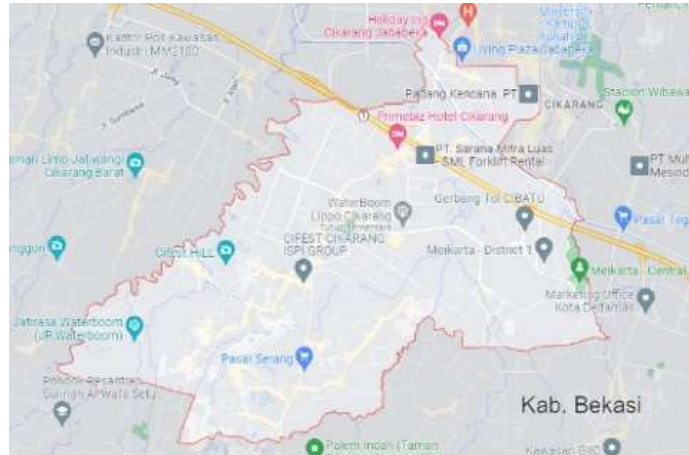
Kajian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam terkait mekanisme penurunan tanah akibat pengambilan air tanah secara berlebihan, serta untuk mengidentifikasi dampaknya terhadap lingkungan dan infrastruktur. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan solusi yang berbasis ilmiah, seperti kebijakan pengelolaan air tanah berkelanjutan, teknologi konservasi air, dan strategi mitigasi risiko yang efektif guna mendukung pembangunan yang berkelanjutan di wilayah Cikarang Selatan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Kondisi Geografi dan Demografi Cikarang Selatan

Kecamatan Cikarang Selatan, Kabupaten Bekasi, memiliki luas wilayah 49,57 km² yang terbagi ke dalam 67 RT dan 11 RW (lihat Gambar 1). Berdasarkan Sensus Penduduk 2020, total penduduk di wilayah ini terdiri dari 7.373 laki-laki dan 7.952 perempuan. Secara geografis, Kecamatan Cikarang Selatan berbatasan dengan Kecamatan Cikarang Utara, Cikarang Timur, Cikarang Pusat, Serang Baru, Setu, dan Cikarang Barat. Kawasan ini memiliki tanah jenis lempung yang merupakan hasil dari pengurugan rawa-rawa. Selain itu, wilayah ini sering mengalami sesar geser dan naik akibat struktur geologinya yang rentan terhadap deformasi.

Area di belakang Universitas Pelita Bangsa, tepatnya di sekitar Gedung Asrama A, telah dipilih sebagai lokasi penelitian ini. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada beberapa alasan penting. Pertama, struktur tanah yang lempung dan berasal dari urugan memberikan tantangan unik dalam analisis geoteknik, khususnya terkait risiko penurunan tanah (*land subsidence*). Kedua, kawasan ini mengalami tekanan tinggi akibat aktivitas manusia, seperti pembangunan infrastruktur dan pemanfaatan air tanah melalui sumur bor, yang dapat memperburuk kondisi geologisnya. Ketiga, wilayah ini memiliki nilai strategis karena berdekatan dengan pusat pendidikan dan aktivitas ekonomi, sehingga dampak penurunan tanah dapat berpengaruh langsung pada keberlanjutan infrastruktur dan kesejahteraan masyarakat di sekitarnya.



Gambar 1. Peta Administrasi Kecamatan Cikarang Selatan

2.2. Klasifikasi dan Karakteristik Tanah untuk Analisis Geoteknik

Memahami karakteristik tanah sangat penting untuk analisis penurunan tanah dan penerapan rekayasa geoteknik. Klasifikasi lapisan tanah dilakukan melalui pengujian di lapangan dan laboratorium, dengan menggunakan berbagai parameter klasifikasi seperti Unified Soil Classification System (USCS), United States Department of Agriculture (USDA), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), dan British System.

Sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1, AASHTO mengkategorikan tanah menjadi tujuh jenis (A1 hingga A7), di mana A1-A3 mencakup tanah berbutir kasar dan A4-A7 mencakup tanah berbutir halus. Sementara itu, USCS mengklasifikasikan tanah berdasarkan ukuran partikel, dengan batas antara pasir dan kerikil ditetapkan sebesar 4,75 mm untuk USCS dan 2 mm untuk AASHTO. Pada USCS, simbol digunakan untuk menunjukkan jenis tanah: G untuk kerikil, S untuk pasir, M untuk lanau, dan C untuk lempung.

Tabel 1. Perbandingan Antara Sistem AASHTO dengan Sistem USCS

Soil Group in AASHTO System	Comparable Soil Groups in USCS		
	Most Probable	Possible	Possible but Improbable
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A-1-b	SW, SP, GM, SM	GP	-
A-3	SP	-	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A-2-5	GM, SM	-	GW, GP, SW, SP
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A-2-7	GM, GC, SM, SC	-	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	-	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A-7-6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

Sumber : Das, 2009.

Pengujian data lapangan sering menggunakan N-SPT (tanpa unit) atau q_c (tekanan konus) yang diukur dalam kg/cm^2 . Jika tersedia data q_c cone compaction, konversi ke N-SPT dilakukan dengan rumus empiris $\text{N-SPT} = q_c (\text{kg/cm}^2)/4$. Dalam penelitian ini, korelasi parameter tanah berdasarkan hasil N-SPT tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT

Consistency	SPT-N	Q _u (kPa)
Very Soft	< 2	< 25
Soft	2 – 8	25 – 50
Medium	4 – 8	50 – 100
Stiff	8 – 15	100 – 400
Very Stiff	15 – 30	200 – 400
Hard	> 30	> 400

Sumber : Terzaghi and peck, 1967.

Partikel tanah biasanya terdiri dari kerikil, lanau, pasir, atau lempung, dengan jenis dominan yang bergantung pada kondisi lokasi. Ukuran jenis tanah yang berbeda dapat dilihat dalam Tabel 3, yang menunjukkan perbedaan berdasarkan klasifikasi para ahli.

Tabel 3. Batasan-Batasan Golongan Tanah

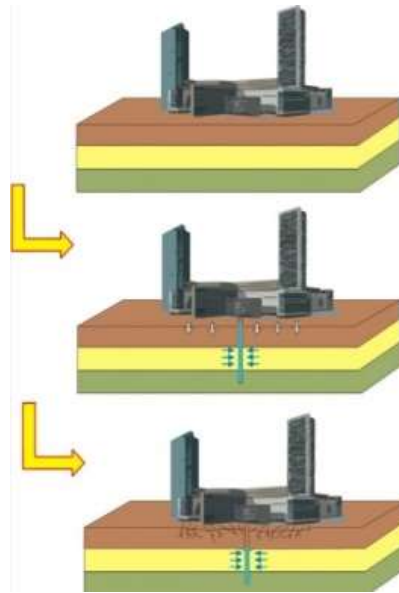
Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachussets Institute of Technology	> 2	2 – 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
US Department of Agriculture	> 2	2 – 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation)	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	< 0,0075	< 0,0075

Sumber : Das, 1995.

Gerakan permukaan tanah dipengaruhi oleh kondisi geologi di wilayah tersebut, yang menyebabkan terjadinya penurunan permukaan tanah. Fenomena ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk beban dari struktur bangunan (Darmiyanti & Wiharja, 2024), ekstraksi air tanah secara berlebihan (Anggrahini & Fitriyana, 2022), serta proses konsolidasi alami pada lapisan tanah (Arief, Rusbintardjo, & Yusoff, 2014). Penurunan tanah ini sering kali terlihat dari perubahan kondisi fisik bangunan, seperti amblesnya tanah akibat beban yang terus-menerus (Darmiyanti, 2024).

Untuk mengantisipasi dampak amblesan tanah, diperlukan pemantauan berkala terhadap laju dan percepatan penurunan tanah. Hal ini dapat dilakukan melalui berbagai metode, termasuk pendekatan hidrogeologi, pengamatan level muka air, penggunaan alat seperti ekstensometer dan piezometer, serta metode geodetik seperti survei sipat datar, GPS, dan INSAR (Rumbyarso & Pribadi, 2023). Pemantauan periodik tidak hanya membantu mendeteksi risiko lebih dini tetapi juga meningkatkan efisiensi pengelolaan dan mitigasi dampak (Kusumo, 2023).

Konsolidasi adalah proses keluarnya air secara bertahap dari pori-pori tanah hingga tanah menjadi jenuh dan volumenya menyusut. Prinsip konsolidasi terletak pada peningkatan tekanan pori secara tiba-tiba ketika lapisan tanah jenuh menerima beban tambahan. Proses ini dapat berlangsung dalam beberapa tahap, sebagaimana digambarkan dalam Gambar 2, yang menunjukkan fase-fase penurunan muka tanah. Gambar tersebut membantu menjelaskan bagaimana konsolidasi memengaruhi struktur tanah dari deformasi awal hingga penyusutan total.



Gambar 2. Fase Penurunan Muka Tanah (Sumber: syawal88.wordpress.co)

Fenomena ini penting untuk dipahami, terutama dalam konteks rekayasa geoteknik, karena memengaruhi stabilitas tanah dan bangunan di atasnya. Rumus-rumus yang digunakan untuk menganalisis konsolidasi adalah sebagai berikut:

$$\text{Nilai penurunan segera} \quad \rho_i = p \cdot B \frac{1-\mu^2}{E} I_p \quad (1)$$

$$\text{Total penurunan tanah secara keseluruhan akibat suatu beban} \quad ST = S + SS + \rho_i \quad (2)$$

$$\text{Menghitung hubungan antara tekanan total, tekanan efektif \& tekanan air pori} \quad d\sigma = d\sigma' + du_w \quad (3)$$

$$\text{Total penurunan seluruh lapisan dapat ditemukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut} \quad \sum \left\{ \frac{C_c \cdot H_i}{1 + e_0} \log P \left(\frac{Po(i) + \Delta p(i)}{po(i)} \right) \right\} \quad (4)$$

$$\text{Besarnya konsolidasi sekunder} \quad S_s = C' \cdot \alpha \cdot H \cdot \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \quad (5)$$

$$\text{Perubahan derajat konsolidasi rata-rata terkait dengan faktor waktu tanpa dimensi } (T_v), \text{ Untuk } U = 0 \text{ sampai } 52,6\% \quad T_v = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{U\%}{100} \right)^2 \quad (6)$$

$$\text{Untuk } U = 52,6\% \quad T_v = 1.781 - 0,933 \log (100 - U\%) \quad (7)$$

$$\text{Pada keadaan } U=50\% \text{ air pori mengalir pada satu arah} \quad T_{50} = \frac{C_v \cdot T_{50}}{H d r^2} \quad (8)$$

Pemompaan air tanah yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan tanah akibat berkurangnya gaya angkat dan meningkatnya tegangan efektif (Darmiyanti, L., 2024), yang memicu penyusutan partikel tanah (Achmad, F. A., & Rumbyarso, Y. P. A., 2023). Jika eksploitasi terus dilakukan, penurunan ini bisa menjadi permanen, sehingga pemompaan harus dibatasi sesuai potensi akuifer (Fitriyana, L., 2015). Plaxis membantu menganalisis masalah geoteknik dalam perencanaan sipil dengan akurasi tinggi melalui pemodelan elemen segitiga 6 nodal dan memberikan peringatan jika terjadi perubahan model untuk memastikan keakuratan. Geostudio digunakan untuk menganalisis pengaruh geologi dan lingkungan terhadap struktur, seperti kemiringan, gempa, dan suhu, serta mendukung desain lapisan penutup limbah dan memodelkan aliran air tanah dalam proyek pertanian atau irigasi.

3. Metode

3.1. Data Umum Proyek

Proyek Pembangunan Gedung A Universitas Pelita Bangsa terletak di Jalan Inspeksi Kalimalang No. 9, Cibatu, Cikarang Selatan, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat 17530. Gedung ini dirancang sebagai Laboratorium dengan 5 lantai dan 1 basement. Struktur utama bangunan menggunakan beton bertulang, sementara struktur atap menggunakan rangka baja. Lokasi proyek yang berada di kawasan dengan karakteristik geologi khas menjadikan studi ini penting untuk menganalisis pengaruh beban struktur terhadap tanah di bawahnya.

3.2. Data Utama

Material utama yang digunakan pada proyek ini mencakup beton bertulang dan baja dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:

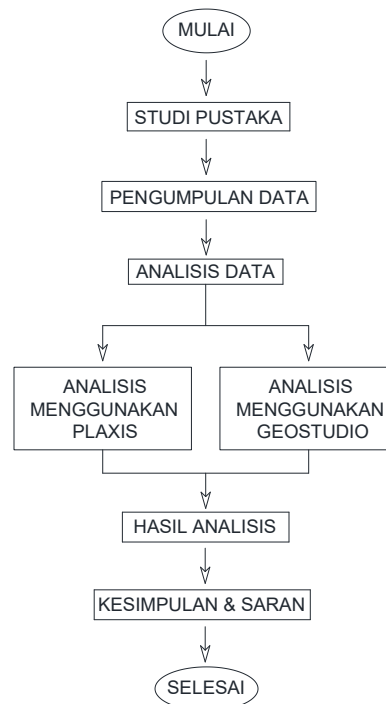
Kekuatan tekan beton untuk pelat lantai, pelat tangga, balok & kolom menggunakan $f'c$ 30 MPa, sedangkan pondasi menggunakan $f'c$ 41,5 MPa. Untuk baja tulangan memiliki kuat tarik f_y 240 MPa & 400 MPa.

Tahapan analisis data dilakukan secara terstruktur untuk memastikan keakuratan hasil, meliputi:

1. Menghitung beban bangunan secara manual sesuai dengan standar SNI-1727-2020, termasuk beban angin dan beban gempa, .
2. Analisis penurunan tanah akibat beban struktur dengan mendesain pompa air pada lapisan tanah menggunakan Plaxis v20.
3. Software Geostudio digunakan untuk melengkapi analisis, khususnya dalam mengevaluasi pengaruh geologi lokal terhadap stabilitas tanah di sekitar lokasi proyek.

3.3. Daigram Alir Penelitian

Tahapan ini dirangkum dalam Diagram Alir Penelitian sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2 yang memetakan metode studi secara sistematis.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Kondisi Umum Tanah

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari penyelidikan tanah di lapangan, secara umum diperoleh kondisi tanah seperti ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Profil Tanah BM. 1

No	Depth (m)	Gs	W (%)	C (kg/cm ²)	Ø (°)
1	4	1,428	36,179	0,351	28,15
2	9	1,416	55,127	0,03	24,1
3	14	1,353	53,166	0,203	29,31
4	19	1,428	63,314	0,061	21,77
5	24	1,375	52,307	0,011	31,11
6	29	1,428	36,010	0,222	27,11
7	34	1,444	33,591	0,218	23,71
8	39	1,403	41,114	0,331	29,15
9	44	1,481	38,416	0,479	30,34
10	49	1,468	36,212	0,212	47,47

Sumber : Data Tanah Proyek, 2020.

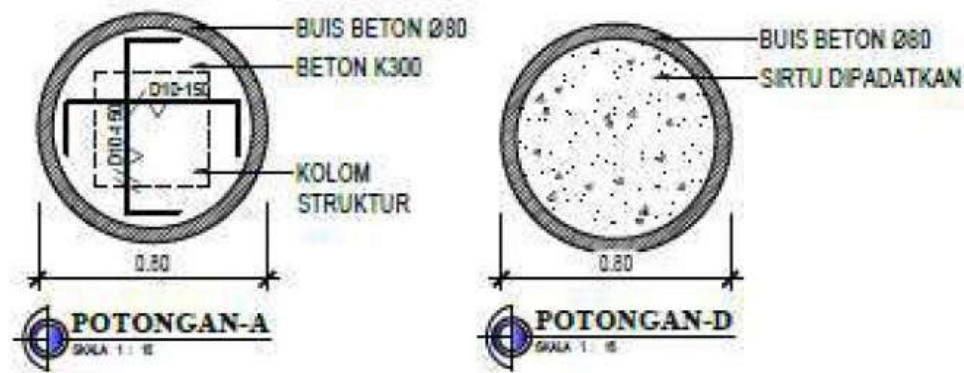
Pengujian *bore log* di Gedung A mengidentifikasi muka air tanah pada kedalaman 31 cm. Hasil pengeboran menunjukkan variasi komposisi tanah di berbagai kedalaman :

- Dari elevasi 0 hingga -2,45 m, terdapat tanah urugan dengan campuran pasir, kerikil, & sedikit batuan koral berwarna coklat gelap yang agak lunak;
- Kedalaman -2,45 hingga -49,95 m secara umum terdiri dari lempung dengan sedikit pasir & kerikil di berbagai tingkatan, dominasi warna abu-abu & coklat gelap, serta tekstur yang lunak hingga agak keras di lapisan terbawah.



Gambar 4. Pengujian *bore log* di Lapangan

Perhitungan pembebanan Gedung A Laboratorium Universitas Pelita Bangsa dilakukan dengan kombinasi beban mati (*dead load*) dan beban hidup (*live load*) sesuai standar SNI-1727-2020. Gedung ini memiliki dua jenis pondasi: pondasi sumuran dan pondasi tiang pancang..



Gambar 5. Detail Pondasi

Pondasi Sumuran memiliki diameter 85 cm dengan kedalaman 2,5 meter dengan total beban pondasi sebesar 8,1 ton (4,1 ton dari beton bertulang & 4,0 ton dari sirtu). Adapun Pondasi Tiang Pancang memiliki dimensi 45 cm x 45 cm x 4000 cm, total beban pondasi 1.218,5 ton. Pile Cap terdiri dari 5 tipe dengan total beban 251 ton. Tie Beam terdiri dari 5 tipe dengan total beban 135,7 ton.

Sementara itu, beban struktur vertikal dihitung melalui kolom, balok, dan pelat lantai. Kolom terdiri dari 5 lantai & 1 basement, dengan total beban sebesar 571,33 ton. Beban kolom semi basement adalah 107,1 ton, kolom lantai 1 sebesar 117,11 ton, kolom lantai 2 sebesar 117,68 ton, kolom lantai 3 sebesar 111,17 ton, kolom lantai 4 sebesar 97,01 ton, kolom lantai 5 sebesar 101,07 ton & kolom atap sebesar 5 ton.

Beban total balok adalah 907,1 ton dengan perincian beban total balok lantai 1 sebesar 204,42 ton, beban total balok lantai 2 sebesar 189,7 ton, beban total balok lantai 3 sebesar 177 ton, lantai 4 sebesar 167 ton, beban total balok atap sebesar 18 ton, beban total ringbalk sebesar 115,7 ton.

Pelat lantai merupakan suatu struktur yang terbilang paling tipis. Plat lantai bertumpu pada balok & kolom. Terdapat 1 plat *basement*, 5 plat lantai & plat atap, yang beban keseluruhan pelat adalah 1377,19 ton. Beban total plat lantai basement sebesar 317,7 ton, beban total plat lantai 1 sebesar 441 ton, beban total plat lantai 2 sebesar 221,1 ton, beban total plat lantai 3 sebesar 317,11 ton, beban total plat lantai 4 sebesar 312,03 ton, lantai 5 sebesar 314,77 ton, beban total plat *ringbalk* sebesar 101,8 ton, beban total plat atap sebesar 17,7 ton.

Selanjutnya, *shear wall* (dinding geser), merupakan elemen vertikal dalam sistem penahan gempa yang dirancang khusus untuk menahan gaya lateral termasuk akibat gempa atau tekanan angin. $V = 2,75 \times 0,25 \times 21 = 14,44 \text{ m}^3 \rightarrow 14,44 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton/m}^3 = 34,65 \text{ ton}$. Dinding, luas = $156 \text{ m} \times 18,9 \text{ m} = 2948,4 \text{ m}^2 \times 0,25 \text{ m} = 737,1 \text{ m}^3 \rightarrow 737,1 \text{ m}^3 \times 1,6 \text{ ton/m}^3 = 1179,36 \text{ ton}$.

Jadi total beban mati Gedung A adalah 5.598,9 ton = 55,989 kN jika dikonversi menjadi kN/m^2 = beban mati/luas bangunan = $55,989 \text{ kN}/(61,5 \times 21) \text{ m}^2 = 72,31 \text{ kN/m}^2$. Sedangkan beban hidup (*live load*) pada bangunan Gedung A menurut SNI-1727-2020.

- Lantai gedung laboratorium = $250 \text{ kg/m}^2 = 0,25 \text{ t/m}^2$
- Tangga = $500 \text{ kg/m}^2 = 0,5 \text{ t/m}^2$
- Lantai basement = $800 \text{ kg/m}^2 = 0,8 \text{ t/m}^2$.

Jadi total hidup Gedung B sebesar $1,55 \text{ t/m}^2 = 15,2 \text{ kN/m}^2$. Dengan demikian diperoleh kombinasi pembebanan

$$W_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 \times (41,85) + 1,6 \times (15,2) = 50,22 + 24,3 = 74,54 \text{ kN/m}^2.$$

Terakhir, kebutuhan air bersih untuk gedung laboratorium, sesuai dengan SNI 03-7065-2005, adalah sebesar 111 liter per orang per hari. Berdasarkan standar tersebut, debit penggunaan air pada Gedung A dapat dihitung sebagai berikut:

- Penghuni : 100 orang
- Kebutuhan air bersih : 111 liter/orang/hari
- Debit air asrama (Q) = penghuni asrama x SNI kebutuhan air
= 100 orang x 111 liter/orang/hari = 11.100 liter/hari = 11,1 m^3 /hari

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil uji sondir di lokasi Gedung A Laboratorium Universitas Pelita Bangsa, Cikarang Selatan, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter Tanah

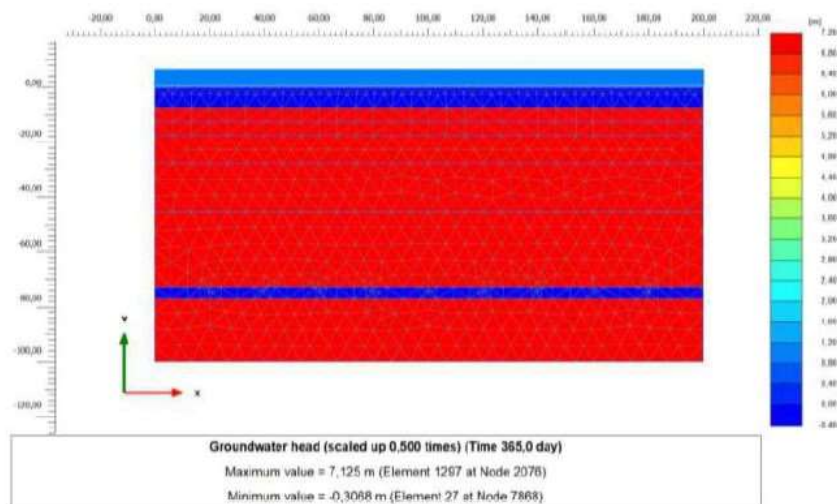
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Type	E (kN/m ²)	WC (%)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)
0 – 7,5	<i>Sand</i>	22	Drained	22000	46,15	14,15	10,22
7,5 – 12,5	<i>Soft Clay</i>	2	Undrained	2000	54,35	13,71	11,05
12,5 – 17,5	<i>Stiff Clay</i>	6	Drained	6000	58,15	13,73	8,77
17,5 – 27,5	<i>Medium Stiff Clay</i>	10	Undrained	10000	50,45	16,75	10,05
27,5 – 45,5	<i>Very Stiff Clay</i>	23	Drained	2,30E+4	37,25	14,75	12,11
45,5 – 49,95	<i>Hard Clay</i>	31	Undrained	3,10E+4	36,11	14,37	11,05

Kx (m/day)	Ky (m/day)	v	c (kN/m ²)	ϕ (°)	e	Sat x Cond m/d	Cc	Cs	Compressibility
1	1	0,2	18,61	26,13	1,301	85,1	0,211	0,0211	0,083
1,01e-04	1,01e-04	0,25	5,71	26,53	1,315	8,53,E-03	0,215	0,0253	0,101
1,01e-04	1,01e-04	0,30	7,07	25,51	1,537	8,53,E-04	0,275	0,0275	0,107
1,01e-04	1,01e-04	0,30	9,87	27,05	1,375	8,53,E-05	0,245	0,0247	0,101
1,01e-05	1,01e-05	0,30	30,35	27,77	1,105	8,53,E-06	0,177	0,0177	0,077
1,01e-05	1,01e-05	0,30	21,33	41,35	1,101	8,53,E-07	0,169	0,0153	0,065

4.2. Hasil Analisis Software Plaxis V20

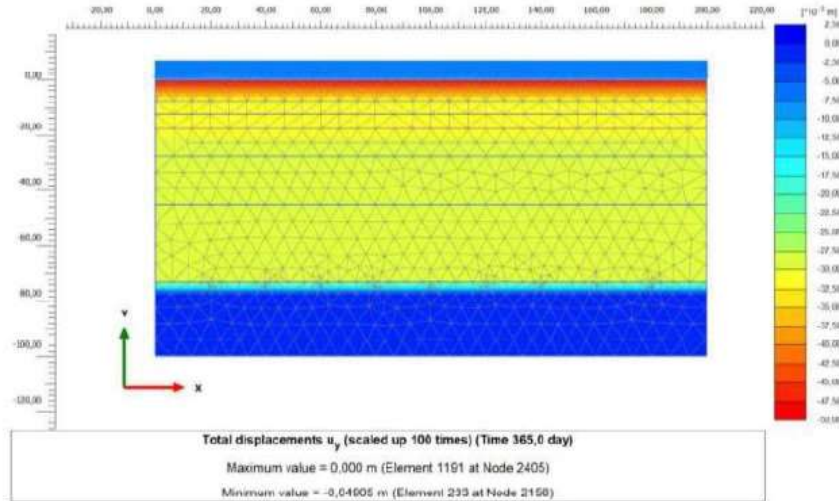
Permodelan tanpa Pompa 1 Tahun

- Kondisi muka air tanah mengalami penurunan sebesar 0,57 cm, yang awalnya berada pada elevasi -28 cm menjadi -28,57 cm.



Gambar 6. Groundwater Head

- Total penurunan sebesar 3,91 cm.



Gambar 7. Total Displacement

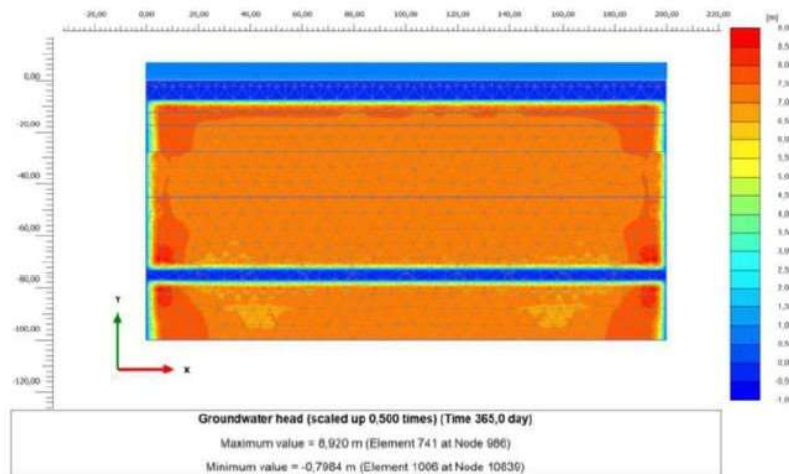
Tabel 6 menunjukkan besarnya penurunan pada setiap lapisan tanah, dengan settlement terbesar terjadi pada lapisan tanah Sand 2 (lapisan tanah pompa), yaitu sebesar 2,55 cm.

Tabel 6. Output Titik Monitoring Plaxis Tanpa Pompa

Titik Monitor	Jenis Tanah	Settlement (cm)	Penurunan Tiap Titik (cm)
1	Sand	4,1	1,6
2	Soft Clay	3,1	0,1
3	Stiff Clay	3,0	0,09
4	Medium Stiff Clay	2	0,00
5	Hard Clay	2	0,09
6	Very Stiff Clay	2,7	0,09
7	Sand	2,7	2,55
8	Hard Clay	0,03	0,03
9	Hard Clay	0	0
Total Penurunan			4,1

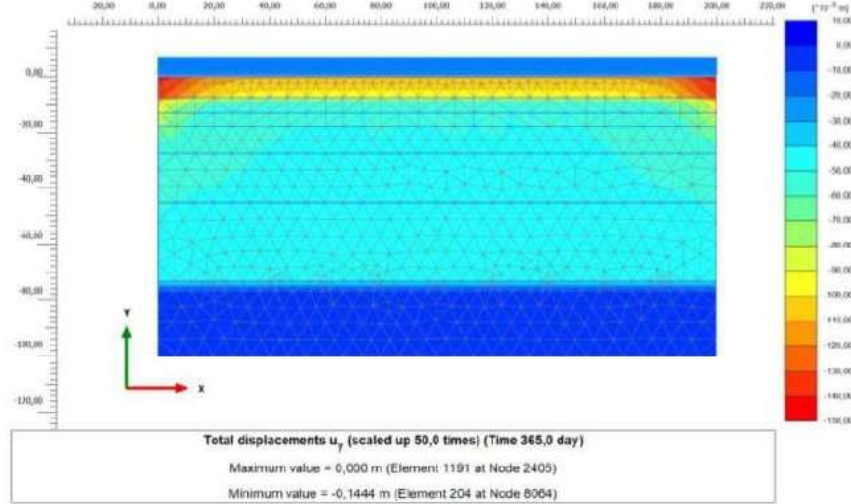
Permodelan dengan Pompa 1 Tahun

- Kondisi muka air tanah mengalami penurunan sebesar 47,71 cm, yang awalnya berada pada elevasi -30 cm menjadi -77,71 cm.



Gambar 8. Groundwater Head

- Total penurunan sebesar 13,11 cm.



Gambar 9. Total Displacement

Tabel 7 menunjukkan besarnya penurunan pada setiap lapisan tanah, dengan settlement terbesar terjadi pada lapisan tanah soft clay sebesar 4,1 cm.

Tabel 7. Output Titik Monitoring Plaxis Dengan Pompa

Titik Monitor	Jenis Tanah	Settlement (cm)	Penurunan Tiap Titik (cm)
1	<i>Sand</i>	11,1	1,6
2	<i>Soft Clay</i>	9,4	4,1
3	<i>Stiff Clay</i>	5,1	0,09
4	<i>Medium Stiff Clay</i>	5	0,09
5	<i>Sand</i>	4,9	0,2
6	<i>Hard Clay</i>	4,8	0,6
7	<i>Hard Clay</i>	4,1	2,4
8	<i>Very Stiff Clay</i>	0,6	0,5
9	<i>Hard Clay</i>	0	0
Total Penurunan			9,58

Adapun hasil analisis software Plaxis ditunjukkan pada Tabel 8 dibawah ini.

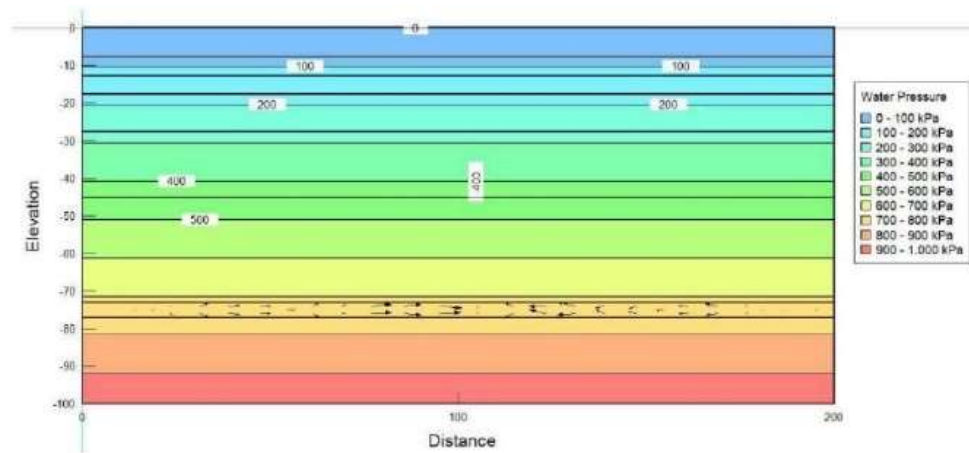
Tabel 8. Hasil Analisis Software Plaxis

Model Plaxis	Penurunan Tanah (cm)	Groundwater Head (cm)	Settlement (cm)
Tanpa Pompa	4,1	-0,57	2,55
Dengan Pompa	9,58	-48,73	4,1

4.3. Hasil Analisis Software Geostudio

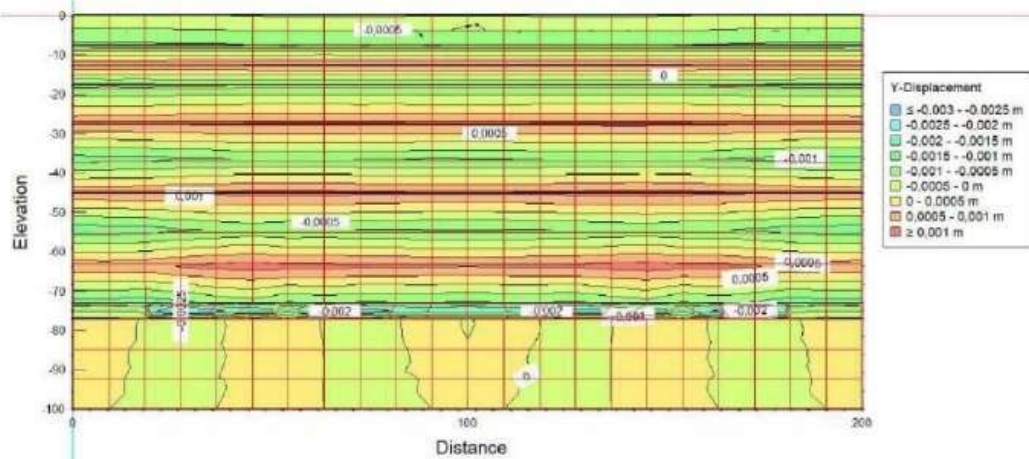
Permodelan Tanpa Pompa 1 Tahun

- Kondisi muka air tanah tidak mengalami penurunan.



Gambar 10. Kondisi Muka Air Tanah

- Total penurunan sebesar 0,019 cm.



Gambar 11. Penurunan Tanah

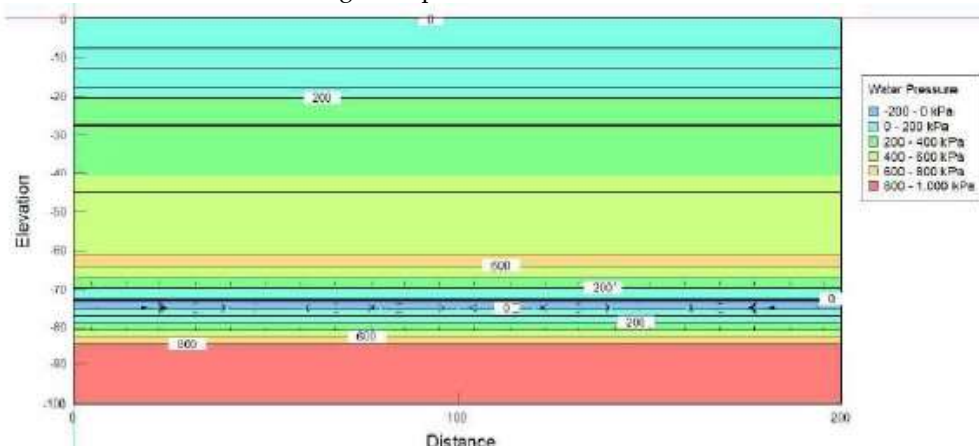
Adapun output Geostudio tanpa pompa diringkaskan dalam Tabel 9. *Settlement* terbesar pada analisis *software* Geostudio tanpa pompa terjadi pada lapisan tanah *sand* (lapisan pada pompa) sebesar 0,105 cm.

Tabel 9. Output Geostudio Tanpa Pompa

Titik Monitor	Jenis Tanah	Settlement (cm)	Penurunan Tiap Titik (cm)
1	<i>Sand</i>	0,001	-0,087
2	<i>Soft Clay</i>	0,09	0,00
3	<i>Very Stiff Clay</i>	-0,09	0,00
4	<i>Stiff Clay</i>	0,09	0,00
5	<i>Hard Clay</i>	-0,09	0,00
6	<i>Hard Clay</i>	-0,09	0,01
7	<i>Sand</i>	0,13	0,105
8	<i>Medium Stiff Clay</i>	0,001	0,001
9	<i>Hard Clay</i>	0,00	0,00
Total Penurunan			0,019

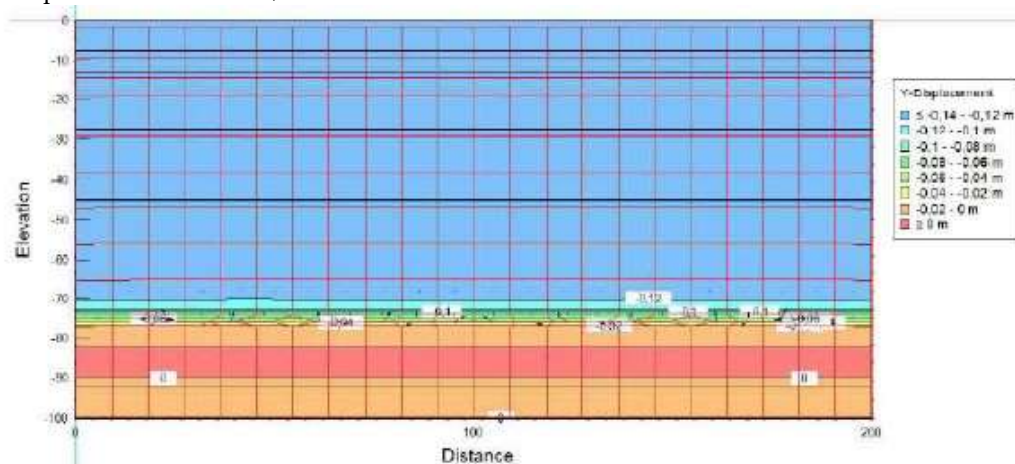
Permodelan dengan Pompa 1 Tahun

- Kondisi muka air tanah tidak mengalami penurunan.



Gambar 12. Kondisi Muka Air Tanah

- Total penurunan sebesar 0,0065 cm.



Gambar 13. Penurunan Tanah

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis menggunakan Plaxis V20 dan Geostudio, pengambilan air tanah di kawasan Cikarang Selatan, tepatnya di Gedung A Laboratorium Universitas Pelita Bangsa, menyebabkan penurunan muka air tanah sebesar 47,71 cm dalam satu tahun menurut Plaxis V20, sedangkan Geostudio tidak menunjukkan adanya penurunan muka air. Penurunan tanah terbesar yang terdeteksi oleh Plaxis V20 terjadi pada lapisan soft clay, yaitu sebesar 4,1 cm, sementara pada Geostudio terjadi pada lapisan sand, yaitu sebesar 8,17 cm. Prediksi total penurunan tanah selama satu tahun adalah 13,11 cm berdasarkan Plaxis V20 dan 12,77 cm berdasarkan Geostudio. Penggunaan pompa air memperbesar penurunan tanah secara signifikan, dengan peningkatan hingga 169,77% pada Plaxis V20 (selisih 7,31 cm antara kondisi dengan dan tanpa pompa), sedangkan pada Geostudio selisihnya mencapai 10,66 cm. Hal ini menegaskan bahwa pengambilan air tanah menggunakan pompa memiliki dampak signifikan terhadap penurunan tanah di kawasan tersebut.

5.1. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, penelitian ini hanya menggunakan simulasi berbasis perangkat lunak dengan model sederhana yang tidak sepenuhnya mencerminkan

kondisi geologi yang kompleks di lapangan. Keterbatasan juga terdapat pada data masukan, seperti parameter tanah dan tingkat pengambilan air tanah, yang cakupannya terbatas dan akurasi perlu ditingkatkan. Selain itu, kajian ini belum mempertimbangkan faktor lain, seperti beban infrastruktur di permukaan dan perubahan iklim, yang dapat memengaruhi tingkat penurunan tanah.

Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan melibatkan data lapangan yang lebih komprehensif, seperti uji geoteknik dan hidrologi, serta penggunaan model yang lebih kompleks untuk meningkatkan akurasi prediksi. Selain itu, simulasi jangka panjang dan analisis terhadap dampak sosial-ekonomi akibat penurunan tanah perlu dilakukan untuk memberikan gambaran yang lebih lengkap.

5.2. Implikasi

Hasil penelitian ini memiliki implikasi penting untuk pengembangan kebijakan pengelolaan air tanah di Kawasan Cikarang Selatan. Kebijakan tersebut dapat mencakup pembatasan penggunaan sumur bor dalam, pengendalian izin pengambilan air tanah, dan peningkatan penggunaan air permukaan untuk kebutuhan domestik dan industri. Selain itu, pemerintah daerah dapat mempertimbangkan implementasi teknologi konservasi air, serta mempromosikan kesadaran masyarakat terhadap dampak negatif pengambilan air tanah yang berlebihan. Strategi ini diharapkan dapat memitigasi risiko penurunan tanah yang lebih parah dan mendukung pembangunan berkelanjutan di wilayah tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana atas segala perhatian & dukungannya sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan terkait dengan penelitian, penulisan, dan/atau publikasi dari artikel ini.

Daftar Pustaka

- Achmad, F. A., & Rumbyarso, Y. P. A. (2023). Analisis struktur slab on pile terhadap kontrol lendutan pada proyek jalan tol Kataraja. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(2), 13457–13467. <https://doi.org/10.31004/jptam.v7i2.8530>
- Anggrahini, N. Z., & Fitriyana, L. (2022). Studi kasus perbaikan tanah lunak pada proyek tol Semarang-Demak (STA 20+300 – STA 20+500). *Jurnal Ilmiah Sultan Agung*, 1(1), 668–681.
- Arief, R. B., Rusbintardjo, G., & Yusoff, N. I. M. (2014). Landslide on a deeply landfilled slope: A case study of Tembalang, Indonesia. *Jurnal Teknologi*, 70(1), 1–5. <https://doi.org/10.11113/jt.v70.2749>
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). *Guide for design of pavement structures*. AASHTO.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *Tata cara perencanaan sistem plambing* (SNI 03-7065-2005). Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standardisasi Nasional.
- Darmiyanti, L., Prima, Y., & Aldianto, M. A. (2023). Analisis borepile menggunakan metode Meyyerhoff dan Reese Wright. *Jurnal Sipil Krisna*, 9(1), 27–38. <https://doi.org/10.61488/sipilkrisna.v9i1.249>
- Darmiyanti, L., & Wiharja, U. (2024). Effect of salt solution in electrochemical stabilization with variation of potential difference on clay's shear strength. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 9(1), 28–40. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v9i1.5434>
- Darmiyanti, L. (2024). Perbaikan potensi pengembangan tanah ekspansif dengan metode elektrokinetik menggunakan larutan kalsium dioksida. *Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 10–14.

- Das, B. M. (1995). *Mekanika tanah (Prinsip-prinsip rekayasa geoteknis)*. Erlangga.
- Fitriyana, L. (2015). Pengaruh tekanan kekang membran terhadap pengembangan tanah [Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada].
- Fitriyana, L. (2019). Pengaruh feldspar dan ampas tebu terhadap propertis tanah ekspansif. *Reviews in Civil Engineering*, 3(1), 18–22. <https://doi.org/10.31002/rice.v3i1.1259>
- Kusumo, B. (2023). Rancang bangun pengendali jarak jauh panel listrik rumah berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3 menggunakan smartphone Android dengan komunikasi Bluetooth 3.0. *Jurnal Kridatama Sains dan Teknologi*, 5(2), 448–472. <https://doi.org/10.53863/kst.v5i02.957>
- Melanira, A., & Rudianto, A. M. (2023). Identifikasi fungsi dan elemen fisik taman Tegalega sebagai pemanfaatan ruang terbuka hijau di kota Bandung. *Jurnal Ilmiah Arjouna: Architecture and Environment Journal of Krisnadipayana*, 7(2). <https://doi.org/10.61488/jia.v7i2.66>
- Pribadi, G., & Rumbyarso, Y. P. A. (2023). Analisis perbandingan daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor dengan perhitungan manual dan software ALLPILE. *Jurnal TESLINK: Teknik Sipil dan Lingkungan*, 5(2), 16–20. <https://doi.org/10.52005/teslink.v5i2.301>
- Rodji, A. P., Sihombing, S. M., & Ramadhan, M. R. (2022). Analisis pondasi bored pile pada proyek Metrostater Depok Jawa Barat. *Forum Mekanika*, 11(1), 11–21. <https://doi.org/10.33322/forummekanika.v11i1.1663>
- Rumbyarso, Y. P. A., & Pribadi, G. (2023). Analisis stabilitas lereng dengan metode Bishop pada proyek geotechnical investigation jalur transportasi pelabuhan batubara Marangkayu Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Kridatama Sains dan Teknologi*, 5(2), 562–577. <https://doi.org/10.53863/kst.v5i02.987>
- Triastuti, N. S., & Indriasari, I. (2019). Analisis pondasi tiang pancang berdasarkan hasil perhitungan dan loading test. *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (CESD)*, 2(2), 48–53. <https://doi.org/10.25105/cesd.v2i2.6450>