



PERBANDINGAN NILAI PENURUNAN MUKA TANAH DI KELURAHAN
TAMBAKWEDI DAN KELURAHAN BULAK, SURABAYA

Raihan Rafi Rizqullah^{1*}, Dicky Muslim¹, Pradnya Paramarta Raditya Rendra¹, Ryan Nur
Rahdiana²

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

²Badan Geologi, Kementerian ESDM

*Korespondensi: raihanrafi84@gmail.com

ABSTRAK

Penurunan muka tanah merupakan fenomena yang sering terjadi di kota – kota besar, salah satunya kota Surabaya. Kondisi geologi daerah penelitian yang di dominasi oleh endapan aluvial berumur Kuartar menyebabkan potensi penurunan muka tanah semakin rentang terjadi. Kondisi geologi teknik daerah penelitian di dominasi oleh tanah lempung, lempung lanauan, dan pasir lanauan dengan konsistensi tanah sangat lunak – sangat kaku. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu perhitungan distribusi tegangan dengan metode Boussinesq yang dihitung menggunakan *software Rocscience Settle 3*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai potensi penurunan muka tanah di titik bor TS – 5 daerah Kelurahan Tambakwedi dan titik bor TS – 6 Kelurahan Bulak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai penurunan muka tanah dalam kurun waktu lima tahun di titik bor TS - 5 memiliki nilai yang lebih kecil yaitu 69,4 cm sedangkan di titik bor TS – 6 memiliki nilai yaitu 99,2 cm. Kemudian, untuk nilai penurunan muka tanah pada titik bor TS – 5 dan TS – 6 dengan menambahkan beban rumah yaitu 83,8 cm dan 124,7 cm, beban kantor yaitu 102,2 cm dan 138,9, dan beban rumah sakit yaitu 109,3 cm dan 146 cm. Perbedaan nilai penurunan tanah terjadi akibat adanya perbedaan tebal lapisan tanah, jumlah beban *overburden*, nilai indeks kompresibilitas, indeks rekompresi dan koefisien konsolidasi tanah dari kedua titik bor.

Kata kunci: Penurunan muka tanah, Surabaya, Boussines, *Rocscience Settle 3*

ABSTRACT

Land subsidence is a phenomenon that often occurs in large cities, one of which is the city of Surabaya. The geological conditions of the research area are dominated by Quaternary-aged alluvial deposits, causing the potential for land subsidence to occur more frequently. The engineering geological conditions of the research area are dominated by clay, silty clay and silty sand with a very soft - very stiff soil consistency. The method used in this research is stress distribution calculation using the Boussinesq method which is calculated using Rocscience Settle 3 software. This research aims to compare the potential value of land subsidence at the TS – 5 drill point in the Tambakwedi Village area and the TS – 6 drill point in Bulak Village. The results show that the value of land subsidence over a period of five years at the TS - 5 drill point has a smaller value, namely 69.4 cm, while at the TS - 6 drill point it has a value of 99.2 cm. Then, for the land subsidence value at drill points TS – 5 and TS – 6 by adding the house load, namely 83.8 cm and 124.7 cm, the office load, namely 102.2 cm and 138.9 cm, and the hospital load, namely 109.3 cm and 146 cm. Differences in land subsidence values occur due to differences in soil layer thickness, amount of overburden load, compressibility index values, recompression index and soil consolidation coefficient from the two drill points.

Keywords: *Land subsidence, North Surabaya, Boussines, Rocscience Settle 3*

PENDAHULUAN

Fenomena penurunan muka tanah biasanya terjadi di kota – kota besar dengan populasi penduduk yang tinggi serta merupakan pusat industri (Riastama *et al.*, 2023). Surabaya merupakan salah satu kota tersebut yang dibuktikan dengan adanya perubahan fungsi lahan menjadi kawasan pemukiman dan industri.

Kota Surabaya termasuk ke dalam kota pesisir yang terletak pada elevasi yang cukup rendah (Aditiya *et al.*, 2017). Pada umumnya, daerah pesisir memiliki kondisi tanah yang lunak (Ramadhan *et al.*, 2021). Kondisi tanah lunak yang tidak diperhatikan dapat menjadi permasalahan ketika dilakukan pembangunan. Adanya proses pembebanan pada permukaan tanah akan menyebabkan terdisipasinya air pori dalam tanah yang berdampak pada proses pemampatan tanah dan penurunan muka tanah (Fakhrudin *et al.*, 2021). Selain itu, sifat kompresibel, daya dukung yang rendah, dan belum terkonsolidasinya sedimen aluvial dapat menyebabkan potensi penurunan muka tanah di daerah Surabaya semakin besar (Rahmaniar *et al.*, 2021). Proses konsolidasi pada tanah dapat terjadi secara alami atau ada bantuan dari proses teknik pemadatan (Das & Sobhan, 2014).

Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan data hasil observasi melalui GPS yang kemudian diolah dengan menggunakan *software* GAMIT/GLOBK, maka daerah bagian Utara dan Timur pesisir Surabaya mengalami penurunan muka tanah dengan nilai mulai dari 0,2 – 83,3 mm/tahun (Riastama *et al.*, 2023).

Seiring berkembangnya pembangunan infrastruktur di daerah Surabaya maka diperlukan analisis potensi penurunan muka tanah, baik secara alami maupun akibat adanya beban bangunan. Salah satu

cara pengambilan data yang dapat dilakukan untuk menganalisis penurunan muka tanah yaitu dengan melakukan pemboran tangan dan uji *Cone Penetration Test*. Uji *Cone Penetration Test* (CPT) merupakan pengujian yang dilakukan untuk menduga kekerasan dan daya dukung tanah (Ridhayani & Sapurta, 2018). Pengujian CPT ini dapat digunakan untuk mengetahui jenis tanah dan parameter geoteknik dari tanah (Hidayat *et al.*, 2020).

Daerah penelitian terletak di Kelurahan Tambakwedi (112° 46' 24.89"S - 7° 12' 28.75"E) dan Kelurahan Bulak (112° 47' 8.77"S - 7° 13' 52.91"E) dengan koordinat seperti pada (**gambar 1**). Hasil perhitungan dengan menggunakan parameter geoteknik tersebut dapat menjadi acuan dan bahan pertimbangan dalam proses pembangunan dan pengembangan wilayah.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian.

KONDISI REGIONAL

Geologi Regional

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu skala 1:100.000 oleh Sukardi pada tahun 1992 maka bahwa kondisi geologi daerah Surabaya terdiri dari beberapa formasi dengan urutan paling tua

hingga muda yaitu Formasi Lidah (Tpl), Formasi Pucangan (QTp), Formasi Kabuh (Qpk) dan Aluvium (Qa). Daerah Surabaya di dominasi oleh Aluvium (Qa) yang berumur kuartar. Endapan ini terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, dan setempat terdapat fosil (Sukardi, 1992). Morfologi daerah Surabaya didominasi oleh satuan morfologi dataran yang mempunyai bentuk medan datar dengan kemiringan lereng berkisar antara 0 – 2° (Rahdiana, 2022).

Geologi Teknik Regional

Selain kondisi geologi, adapun kondisi geologi teknik di daerah Surabaya. Berdasarkan Peta Geologi Teknik Lembar Sedati dan Surabaya skala 1:100.000 oleh Darsoatmodjo & Darmawan tahun 1993 serta hasil penyelidikan yang dilakukan oleh Badan Geologi Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan maka terdapat sembilan satuan geologi teknik yang dibedakan berdasarkan sifat fisik dan mekanik tanah diantaranya yaitu Satuan Lempung Pasiran (CL), Satuan Lempung Lanauan (CH), Satuan Lempung Pasiran (CL) dan Lempung (CH), Satuan Lempung (CH) dan Lanau (MH), Satuan Lempung (CH), dan Lempung Pasiran (CL), Satuan Lempung (CH) dan Lempung Lanauan (MH), Satuan Lempung Pasiran (CH) dan Pasir Lempungan (SP), Satuan Lempung (CH), dan Satuan Batulempung bersisipan Batupasir dan Batugamping (Rahdiana, 2022)

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil pemboran tangan dan uji CPT yang dilakukan oleh Pusat Air

Tanah dan Geologi Tata Lingkungan. Metode penelitian yang digunakan berupa pendekatan hasil uji laboratorium dan interpretasi data CPT. Data hasil bor tangan memiliki kedalaman 7,5 meter sedangkan uji CPT 10,4 – 10,8 meter.

Uji laboratorium yang dilakukan meliputi uji berat isi, berat jenis, Atterberg limit, kadar air, besar butir dan konsolidasi. Data hasil uji CPT digunakan untuk mengetahui parameter konsolidasi dan *soil behavior type* berdasarkan nilai *soil type index* (Ic) yang dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$Ic = (3,47 - \text{Log}(Q_t))^2 + (\text{Log} F_r + 1,22)^2)^{0,5} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- Ic : *Soil behavior type index*
- Qt : Tekanan konus ternormalisasi
- Fr : Angka banding geser yang telah dinormalisasi

Persamaan (2) digunakan untuk menghitung nilai penurunan muka tanah berdasarkan metode persebaran tegangan Boussinesq. Bentuk yang digunakan dalam perhitungan ini berupa persegi dengan jenis beban fleksibel. Perhitungan tegangan dilakukan secara vertikal dan horizontal dan disimulasikan secara 3 dimensi dengan menggunakan *software Rocscience Settle 3*.

$$\sigma_L = \frac{3Q}{2\pi z^2} \text{Cos}^5 \theta \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- σ_L : Tegangan pembebanan pada suatu titik
- Q : Beban titik
- z : kedalaman dari permukaan tanah sampai titik tinjau

Terdapat beberapa persamaan yang digunakan untuk menghitung jumlah penurunan muka tanah akibat konsolidasi primer. Persamaan (3) digunakan untuk kondisi lempung *normally consolidated* sedangkan persamaan (4) dan (5) digunakan untuk kondisi lempung *overconsolidated*.

$$S_c = \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \left(\frac{P'_0 + \Delta p}{P'_0} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Apabila $(P'_0 + \Delta p) \leq P'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_r}{1 + e_0} [H \log \left(\frac{P'_0 + \Delta p}{P'_0} \right)] \dots\dots\dots (4)$$

Apabila $(P'_0 + \Delta p) \geq P'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_r}{1 + e_0} H \log \frac{P'_c}{P'_0} + \frac{C_r}{1 + e_0} + H \log \left(\frac{P'_0 + \Delta p}{P'_c} \right) \dots\dots\dots (5)$$

Nilai indeks kompresibilitas (C_c) didapatkan melalui persamaan (6) berdasarkan korelasi indeks plastisitas (Jain et al. 2015, dalam Rocscience, 2021).

$$C_c = 0,014 (PI + 3,6) \dots\dots\dots (6)$$

Nilai indeks rekompresi dapat diketahui melalui pendekatan dengan menggunakan *GMDH-type neural network* berdasarkan sifat tanah secara geoteknik yang ditunjukkan pada persamaan (7) (Kordnaeij et al., 2015 dalam Rocscience, 2021). Pendekatan tersebut menggunakan persamaan:

$$C_r = 0,0007 LL + 0,0062 \dots\dots\dots (7)$$

Koefisien konsolidasi (C_v) merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung perubahan volume tanah selama proses konsolidasi (Das, 1995). Nilai koefisien konsolidasi dapat dihitung melalui pendekatan yang diajukan oleh

Robertson pada tahun 2015 dengan menggunakan beberapa parameter hasil analisis CPT seperti yang ditunjukkan pada persamaan (8) (Rocscience, 2021).

$$C_v = kM / \gamma_w \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

- S_c : Konsolidasi tiap lapisan tanah (m)
- H : Tebal lapisan tanah
- E_0 : Angka pori awal
- C_c : Indeks pemampatan
- C_r : Indeks rekompresi
- Δp : Beban tambahan (kN/m^2)
- P'_0 : Tekanan efektif
- P'_c : Tekanan prakonsolidasi
- C_v : Kecepatan konsolidasi
- H : Ketebalan
- M : 1-D constrained modulus
- k : Konduktivitas hidrolik
- γ_w : Berat isi air
- PI : Indeks plastisitas
- LL : Batas cair

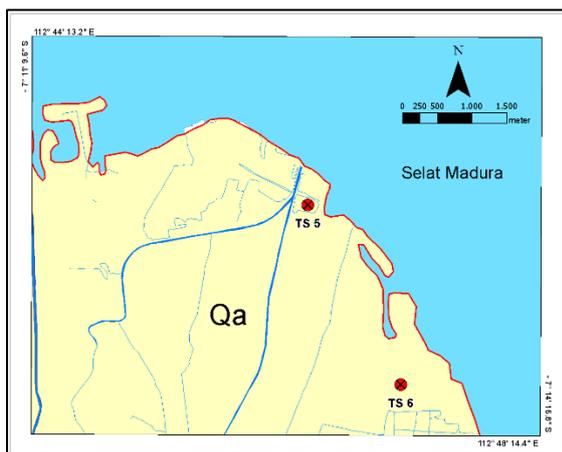
Besar beban akan mempengaruhi jumlah tegangan di atas permukaan tanah yang menyebabkan adanya perbedaan nilai penurunan muka tanah (Wahyudi, 2020). Dalam perhitungan penurunan muka tanah dilakukan penambahan beban bangunan. Beban bangunan yang digunakan berupa beban mati dan beban hidup. Beban hidup dihitung berdasarkan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain sedangkan beban mati dihitung dengan asumsi untuk struktur ringan memiliki beban $15 kN/m^2$, struktur sedang $35 kN/m^2$ dan struktur berat $60 kN/m^2$ (Widiarso et al., 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Kondisi geologi daerah penelitian di dominasi dataran aluvial yang tersusun oleh tanah lempung, lanau, pasir dan lempung lanauan seperti ditunjukkan pada **gambar 2**. Endapan – endapan yang ada di daerah penelitian ini merupakan endapan permukaan yang terbentuk dari endapan pantai, sungai, dan rawa. Daerah penelitian yang dekat dengan wilayah pesisir menyebabkan lapisan tanah memiliki kandungan air yang cukup tinggi.

Endapan aluvial di daerah penelitian berumur kuartar, bersifat lepas dan belum terkonsolidasi sehingga menyebabkan potensi penurunan tanah di daerah penelitian semakin besar. Adanya proses sedimentasi dari endapan pantai dan sungai menyebabkan terjadinya peningkatan tegangan *overburden* pada lapisan tanah. Semakin besar tegangan *overburden* di atas lapisan tanah yang lunak maka nilai penurunan muka tanah akan semakin besar.

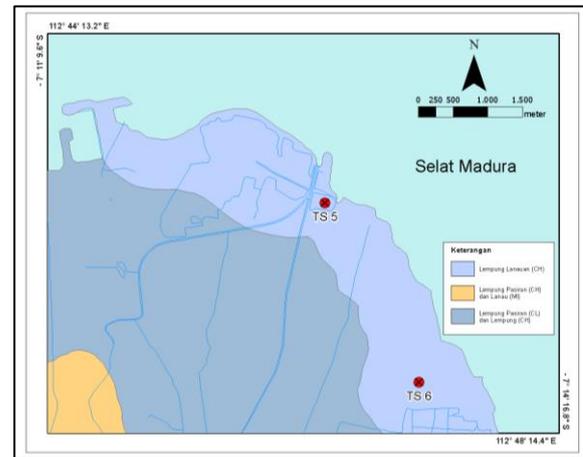


Gambar 2. Peta Geologi Daerah Surabaya (Modifikasi dari Sukardi, 1992).

Kondisi Geologi Teknik Daerah Penelitian

Kondisi geologi teknik daerah penelitian berada pada Satuan Lempung

Lanauan (CH) yang ditunjukkan dengan warna biru muda. Satuan ini merupakan endapan aluvial rawa dan pantai dengan ketebalan berkisar antara 6,5 – 20 m.



Gambar 3. Peta Geologi Teknik Daerah Surabaya (Modifikasi dari Darsoatmodjo & Darmawan, 1993)

Berdasarkan penyelidikan secara langsung dilapangan maka dapat diketahui bahwa kondisi geologi teknik pada setiap titik bor adalah sebagai berikut.

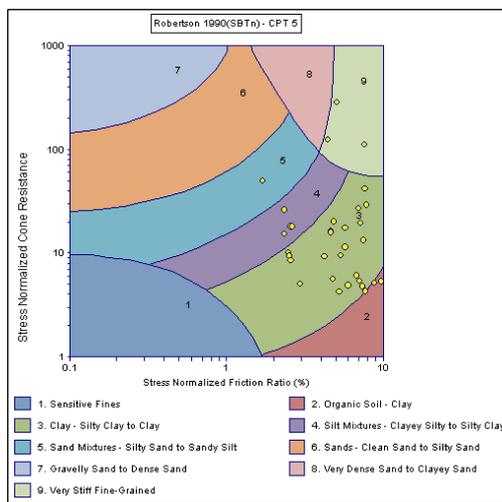
1. Kondisi Geologi Teknik di titik bor TS – 5

Hasil uji CPT menunjukkan bahwa tanah memiliki nilai tahanan konus berkisar dari 0,10 – 8,94 MPa yang menunjukkan konsistensi mulai dari lunak – sangat kaku. Konsistensi tanah di titik ini didominasi oleh konsistensi lunak. Selain itu, berdasarkan nilai *soil type index* seperti ditunjukkan pada **gambar 4** maka litologi di titik ini yaitu pasir lanauan, lempung lanauan dan lempung sedangkan untuk kedalaman dan ketebalan setiap lapisan tanah ditunjukkan pada **tabel 1**.

Berdasarkan hasil uji laboratorium pada sampel tanah dengan kedalaman 2,00 – 2,40 maka sifat fisik tanah di titik ini memiliki nilai kadar air 87,58%, berat

jenis 2,71 yang menunjukkan bahwa tanah merupakan lempung anorganik, berat isi tanah bervariasi antara 14,62 – 20,69 kN/m³. Adapun nilai atterberg limit yang menunjukkan nilai batas cair yaitu 99,87%, batas plastis 29,08%, dan indeks plastisitas 70,79% yang menunjukkan nilai plastisitas sangat tinggi. Sedangkan hasil analisis besar butir maka tanah di titik bor TS – 05 didominasi oleh ukuran lempung sebanyak 51,46%. Menurut klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) maka tanah ini termasuk ke dalam Clay High Plasticity (CH).

Sedangkan sifat mekanik tanah pada titik bor TS – 05 yaitu memiliki nilai Cv mulai dari 2,64 x 10⁻¹¹ - 0,010, nilai Cc berkisar antara 0,18 – 2,82 menunjukkan bahwa kompredibilitas tanah pada titik ini berkisar dari rendah hingga tinggi, dan nilai Cr berkisar antara 0,02 – 0,29.



Gambar 4. Jenis tanah di titik bor TS – 5 berdasarkan klasifikasi Robertson 1990.

Tabel 1. Jenis dan ketelaban lapisan tanah pada titik bor TS 5

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Jenis litologi
0 – 0,4	0,4	Silty sand
0,4 – 1,6	1,2	Silty clay
1,6 – 5,8	4,2	Clay
5,8 – 10,6	4,8	Silty clay
10,6 – 10,8	0,2	Silty sand

2. Kondisi Geologi Teknik di titik bor TS - 6

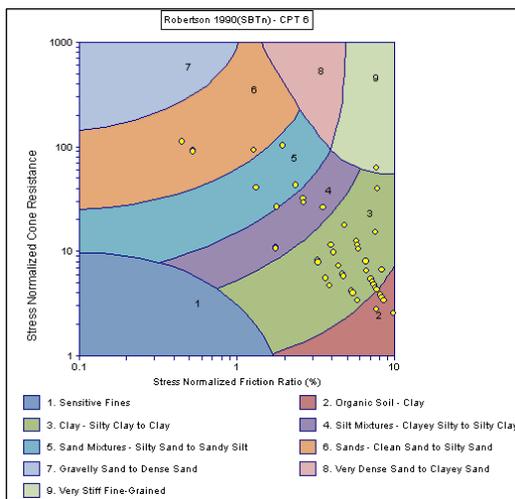
Hasil uji CPT menunjukkan bahwa tanah memiliki nilai tahanan konus berkisar dari 0,10 – 6,85 MPa yang menunjukkan bahwa tanah memiliki konsistensi berkisar antara lunak – sangat kaku. Konsistensi tanah di titik ini didominasi oleh konsistensi lunak. Selain itu, berdasarkan nilai *soil type index* seperti ditunjukkan pada **gambar 5** maka litologi di titik ini yaitu pasir lanauan, lempung lanauan dan lempung sedangkan untuk kedalaman dan ketebalan setiap lapisan tanah ditunjukkan pada **tabel 2**.

Berdasarkan hasil uji laboratorium pada sampel tanah dengan kedalaman 1,50 – 1,90 maka sifat fisik tanah di titik ini memiliki nilai kadar air 74,27%, berat jenis 2,64 yang menunjukkan bahwa tanah merupakan lanau anorganik, berat isi tanah bervariasi antara 14,75 – 19,32 kN/m³. Adapun nilai batas Atterberg yang menunjukkan nilai batas cair yaitu 97,41%, batas plastis 42,11%, dan indeks plastisitas 55,31%. yang menunjukkan nilai plastisitas sangat tinggi. Sedangkan hasil analisis besar butir maka tanah di titik bor TS – 05 didominasi oleh ukuran lempung sebanyak 49,45%. Menurut klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System*

Perbandingan Nilai Penurunan Muka Tanah di Kelurahan Tambak Wedi dan Kelurahan Bulak, Surabaya (Raihan).

(USCS) maka tanah ini termasuk ke dalam Clay High Plasticity (MH).

Sedangkan sifat mekanik tanah pada titik bor TS – 06 yaitu memiliki nilai Cv mulai dari $7,72 \times 10^{-10}$ - 0,39, nilai Cc berkisar antara 0,09 – 1,82 yang menunjukkan bahwa kompredibilitas tanah pada titik ini berkisar dari rendah hingga tinggi, dan nilai Cr berkisar antara 0,013 – 0,1.



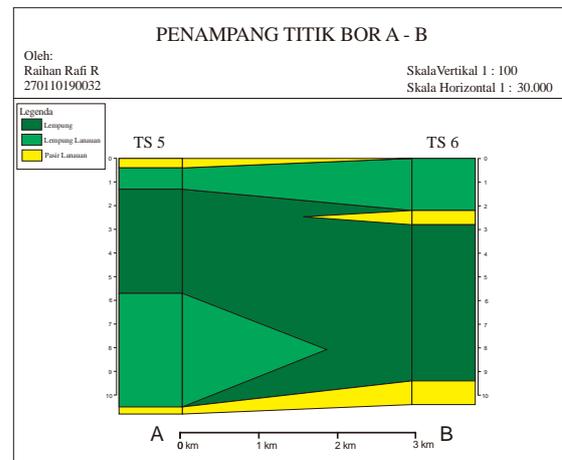
Gambar 5. Jenis tanah di titik bor TS – 6 berdasarkan klasifikasi Robertson 1990.

Tabel 2. Jenis dan ketelaban lapisan tanah pada titik bor TS 6

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Jenis litologi
0 – 2,4	2,2	Silty clay
2,4 – 2,8	0,4	Sandy silt
2,8 – 9,6	6,8	Clay
9,6 – 10,4	0,8	Silty sand

Berdasarkan hasil interpretasi lapisan tanah bawah permukaan, maka dilakukan korelasi untuk mengetahui kemenerusan dari lapisan tersebut seperti ditunjukkan pada gambar 6. Berdasarkan gambar tersebut maka dapat diketahui bahwa lapisan lempung lanauan tidak menerus hingga titik bor TS – 6. Selain itu, terdapat juga lapisan

pasir lanauan yang berada di atas lapisan lempung lanauan yang tidak menerus hingga titik bor TS – 6.



Gambar 6. Penampang titik bor A – B.

Perhitungan Beban Bangunan

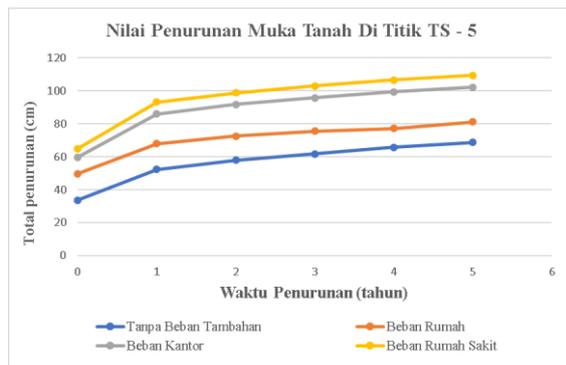
Perhitungan beban bangunan dibagi menjadi dua yaitu beban hidup dan beban mati. Berdasarkan perhitungan beban hidup dan beban mati seperti pada tabel 3 maka didapatkan nilai tegangan tambahan dari beban bangunan yaitu:

1. Gedung kantor memiliki beban tambahan sebesar 88,43 kN/m²
2. Rumah memiliki beban tambahan sebesar 52,02 kN/m²
3. Rumah sakit memiliki beban tambahan sebesar 108,64 kN/m²

Perhitungan Penurunan Muka Tanah di Daerah Penelitian

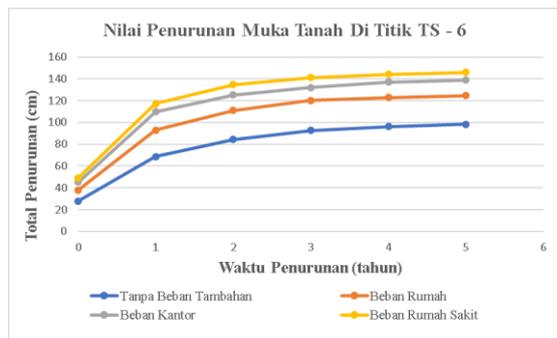
Berdasarkan hasil perhitungan penurunan muka tanah dengan teori Boussinesq menggunakan software Rocscience Settle 3 maka penurunan muka tanah yang terjadi selama kurun waktu lima tahun pada titik bor TS – 5 yaitu 69,4 cm untuk penurunan secara alami, 83,8 cm dengan beban tambahan berupa rumah,

102,21 cm dengan beban tambahan berupa kantor, dan 109,31 cm dengan beban tambahan berupa rumah sakit. Terjadi peningkatan penurunan muka tanah setiap tahunnya seperti yang ditunjukkan pada **gambar 7**. Parameter – parameter perhitungan terdapat pada **tabel 4** dan hasil simulasi terdapat pada **gambar 10**.



Gambar 7. Grafik penurunan muka tanah di titik TS - 5 hingga waktu 5 tahun.

Sedangkan penurunan muka tanah yang terjadi pada titik bor TS – 6 yaitu 99,2 cm untuk penurunan secara alami, 124,7 cm dengan beban tambahan berupa rumah, 138,9 cm dengan beban tambahan berupa kantor, dan 146,03 cm dengan beban tambahan berupa rumah sakit. Sama halnya dengan titik bor TS – 5, pada titik ini terjadi peningkatan penurunan muka tanah setiap tahunnya seperti yang ditunjukkan pada **gambar 8**. Parameter – parameter perhitungan terdapat pada **tabel 5** dan hasil simulasi terdapat pada **gambar 10**.



Gambar 8. Grafik penurunan muka tanah di titik TS - 6 hingga waktu 5 tahun.

Ditinjau dari besar penurunan permukaan tanah maka dapat dilihat bahwa terdapat peningkatan nilai penurunan permukaan tanah ketika terjadi penambahan beban. Hal ini terjadi karena ketika terjadi penambahan beban maka tegangan pada tanah meningkat maka tanah akan semakin tertekan yang menyebabkan proses disipasi air di dalam tanah.

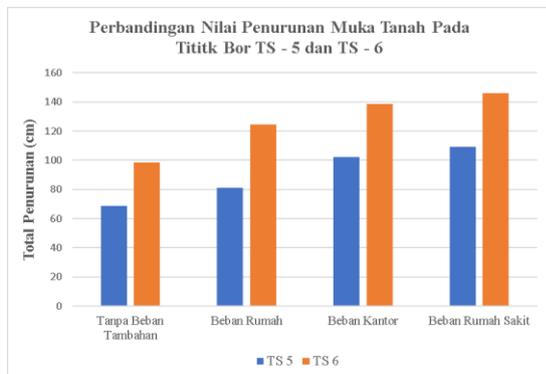
Selain itu, secara sifat fisik dan mekanik tanah maka dapat diketahui bahwa semakin besar nilai indeks kompresibilitas dan indeks rekompresi maka nilai penurunan muka tanah akan semakin besar. Apabila nilai koefisien konsolidasi semakin besar maka waktu untuk lapisan tanah terkonsolidasi akan semakin cepat.

Berdasarkan hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan pada **gambar 9** maka potensi penurunan muka tanah dalam kurun waktu lima tahun pada titik bor TS – 5 memiliki nilai yang lebih kecil dari pada titik bor TS – 6. Meskipun titik bor TS – 5 memiliki ketebalan tanah lempung yang lebih tebal dari pada titik bor TS – 6 serta memiliki nilai indeks kompresibilitas dan indeks rekompresi rata – rata yang lebih besar dari pada TS – 6 tetapi karena penelitian hanya dibatasi dalam kurun waktu tertentu maka faktor yang sangat berpengaruh dalam penurunan muka tanah adalah nilai koefisien konsolidasi. Selain itu, dengan adanya lapisan pasir *permeable* yang lebih tebal menyebabkan waktu konsolidasi pada titik bor TS – 6 menjadi lebih cepat dari pada titik bor TS – 5.

Nilai koefisien konsolidasi pada titik bor TS – 5 memiliki nilai yang lebih kecil sehingga diperlukan waktu konsolidasi

Perbandingan Nilai Penurunan Muka Tanah di Kelurahan Tambak Wedi dan Kelurahan Bulak, Surabaya (Raihan).

yang lebih lama. Oleh karena itu, ketika dilakukan simulasi penurunan muka tanah dalam jangka waktu tertentu maka penurunan muka tanah memiliki nilai yang lebih kecil.



Gambar 9. Perbandingan nilai penurunan muka tanah pada titik TS – 5 dan TS – 6 dalam kurun waktu lima tahun.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka penurunan muka pada titik TS – 05 memiliki nilai yang lebih kecil yaitu 69,4 cm dari pada titik TS – 06 yaitu 99,2 cm. Peningkatan penurunan muka tanah terjadi ketika adanya pembebanan tambahan. Semakin besar beban tambahan maka semakin besar nilai penurunan muka tanah. Berdasarkan hasil perhitungan maka dapat diketahui bahwa nilai penurunan muka tanah terbesar terjadi ketika dilakukan simulasi dengan beban tambahan berupa beban bangunan rumah sakit yaitu sebesar 109,31 cm pada titik bor TS – 5 dan 146 cm pada titik bor TS – 6. Adanya perbedaan nilai penurunan tanah dari kedua titik ini terjadi akibat adanya perbedaan tebal lapisan, nilai indeks kompresibilitas, indeks rekompresi dan koefisien konsolidasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Dicky Muslim M.Sc., Bapak Pradnya Paramarta Raditya Rendra S.T., M.T., dan Bapak Ryan Nur Rahdiana S.T. atas arahan dan bimbingannya selama penelitian berlangsung

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiya, A., Takeuchi, W., dan Aoki, Y. (2017). *Land Subsidence Monitoring by InSAR Time Series Technique Derived From ALOS-2 PALSAR-2 over Surabaya City, Indonesia*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Series 98 012010.
- Darsoatmodjo, A. dan Darmawan A. (1993). *Peta Geologi Teknik Lembar Sedati dan Surabaya, Jawa Timur skala 1: 100.000*. Badan Geologi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Das B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip - prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das D., & Sobhan. K. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering 8th Edition*. Cengage Learning.
- Fakhrudin, M. N. W., Muslid, D., Zakaria Z., dan Pramudyo, T. (2021). *Fenomena Amblesan Akibat Beban Infrastruktur (Studi Kasus Desa Kaligawe Dan Sekitarnya, Kecamatan Gayamsari, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah)*. Padjadjaran Geoscience Journal. Vol. 5, No. 5
- Hidayat, B. R., Putra, P. P., dan Suyoso H. (2020). *Pemetaan Daya Dukung Fondasi Dangkal Di Wilayah*

- Universitas Jember Berbasis CPT (Cone Penetration Test)*. Rekayasa Sipil. Vol. 14., No. 3
- Rahdiana R. (2022). *Penyelidikan Geologi Teknik Potensi Penurunan Tanah Daerah Kota Surabaya dan Sekitarnya*, Provinsi Jawa Timur. Kementerian ESDM; Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan.
- Rahmaniar, Y., Priadi, E., dan Aprianto. (2021). *Studi Analisis Konsolidasi Tanah Pada Area Modul 1 Di Area Perpanjangan Runway Bandara Supadio Pontianak*. JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, dan Tambang. Vol.8., No. 2
- Ramadhan, I. S., Muslim, D., Zakaria, Z., dan Pramudyo, T. (2021). *Penurunan Permukaan Tanah Di Pesisir Pantai Utara Jawa, Desa Bandarharjo dan Sekitarnya, Kota Semarang, Jawa Tengah*. Padjadjaran Geoscience Journal. Vol. 5, No. 4
- Riastama, C. N., Anjasma, I. M., dan Maulida, P. (2023). *Monitoring Land Subsidence and its Effect on Surabaya Coastal Inundation by Utilizing GPS Campaigns Data*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science
- Ridhayani, I. dan Sapurta, I. (2021). *Studi Analisis Daya Dukung Tanah Berdasarkan Data Sondir Di Kampus Padhang-Padhang Universitas Sulawesi Barat*. Bandar: Journal of Civil Engineering. Vol. 3, No. 2
- Rocscience. (2021). *CPT Data Interpretation Theory Manual*. Rocscience Inc. Diambil dari: <https://www.rocscience.com/help/settle3/verification-theory>
- Sukardi. (1992). *Peta Geologi Regional Lembar Surabaya dan Sapulu skala 1: 100.000*. Bandung: Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Widiarso, D. A., Haryanto, W., Muslim, D., Zakaria, Z., dan Iskandarsyah, T. Y. (2019). *Potential Consolidation Settlement Due To Load Stresses of Building Structures*. International Journal of GEOMATE. Vol. 17, pp. 204 – 210.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 1727:2020: Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain..* Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

LAMPIRAN

Tabel 3. Perhitungan Beban Bangunan

Beban Bangunan Gedung Kantor		
Beban Hidup (SNI 1727:2020)		
Keterangan	Beban	Satuan
Ruang Kantor	2,40	kN/m ²
Ruang Komputer	4,79	kN/m ²
Lobi	4,79	kN/m ²
Koridor Lantai Pertama	4,79	kN/m ²
Kursi Dapat Dipindahkan	4,79	kN/m ²
Koridor Lantai Lainnya	3,83	kN/m ²
Konstruksi lainnya	0,96	kN/m ²
Ruang Pertemuan Lainnya	4,79	kN/m ²
Balkon dan Dek	4,79	kN/m ²
Ruang Makan dan Restoran	4,79	kN/m ²
Garasi/Parkir Mobil	1,92	kN/m ²
Gudang Penyimpanan dan Pekerja Ringan	6,00	kN/m ²
Tangga dan Jalan Keluar	4,79	kN/m ²
Beban Mati (Widiarso, dkk., 2019)		
Struktur Sedang	35	kN/m ²
Total	88,43	kN/m²

Beban Bangunan Rumah		
Beban Hidup (SNI 1727:2020)		
Keterangan	Beban	Satuan
Semua Ruang Kecuali Tangga	1,92	kN/m ²
Garasi/Parkir	1,92	kN/m ²
Loteng Yang Dapat Di Huni	1,44	kN/m ²
Atap Struktur Rangka Kaku Ringan	0,24	kN/m ²
Konstruksi lainnya	0,96	kN/m ²
Atap untuk penggunaan lainnya	4,79	kN/m ²
Semua konstruksi lainnya	0,96	kN/m ²
Pekarangan dan Teras, Jalur Pejalan Kaki	4,79	kN/m ²
Beban Mati (Widiarso, dkk., 2019)		
Struktur Sedang	35	kN/m ²
Total	52,02	kN/m²

Beban Bangunan Rumah Sakit		
Beban Hidup (SNI 1727:2020)		
Keterangan	Beban	Satuan
Ruang Operasi, Lab	2,87	kN/m ²
Ruang Pasien	1,92	kN/m ²
Koridor diatas lantai pertama	3,83	kN/m ²
Lobi	4,79	kN/m ²
Tangga dan jalan keluar	4,79	kN/m ²
Balkon dan dek	4,79	kN/m ²
Jalur penyelamatan saat kebakaran	4,79	kN/m ²
Garasi/parkir mobil penumpang saja	1,92	kN/m ²
Koridor lantai pertama	4,79	kN/m ²
Konstruksi lainnya	0,96	kN/m ²
Gudang penyimpanan dan pekerja	6,00	kN/m ²
Ruang Kantor	2,40	kN/m ²
Kursi yang dapat dipindahkan	4,79	kN/m ²
Beban Mati (Widiarso, dkk., 2019)		
Struktur Berat	60	kN/m ²
Total	108,64	kN/m ²

Tabel 4. Perhitungan penurunan muka tanah pada titik bor TS – 5 selama lima tahun.

Kedalaman (m)	H (m)	Po (kN/m ²)	Pc (kn/m ²)	Δp (kN/m ²)	Cv (m ² /det)	Cc	Cr	e0	Sc (cm)			
									1	2	3	4
0 – 0,4	0,4	7,02	56,46	7,02	0,0016	0,24	0,02	0,84				
0,4 – 1,6	1,2	15,33	76,55	26,12	3,80 x 10 ⁻⁶	0,40	0,04	1,24				
1,6 – 5,8	4,2	36,36	21,47	88,36	9,21 x 10 ⁻⁹	1,22	0,11	3,30	69,4	83,8	102,2	109,3
5,8 – 10,6	4,8	68,18	151,93	167,26	9,10 x 10 ⁻⁶	0,53	0,05	1,59				
10,6 – 10,8	0,2	70,35	249,96	171,4	0,0101	0,18	0,01	0,70				

Tabel 5. Perhitungan penurunan muka tanah pada titik bor TS – 6 selama lima tahun.

Kedalaman (m)	H (m)	Po (kN/m ²)	Pc (kn/m ²)	Δp (kN/m ²)	Cv (m ² /det)	Cc	Cr	e0	Sc (cm)			
									1	2	3	4
0 – 2,2	2,2	17,36	56,03	34,03	8,51 x 10 ⁻⁷	0,50	0,05	1,51				
2,2 – 2,8	0,6	20,95	46,49	34,51	0,000537	0,21	0,03	0,77				
2,8 – 9,6	6,8	58,46	72,72	147,73	1,48 x 10 ⁻⁷	0,82	0,07	2,30	99,2	124,7	138,9	146
9,6 – 10,4	0,8	65,04	178,29	162,16	0,192422	0,10	0,01	0,51				

Keterangan:

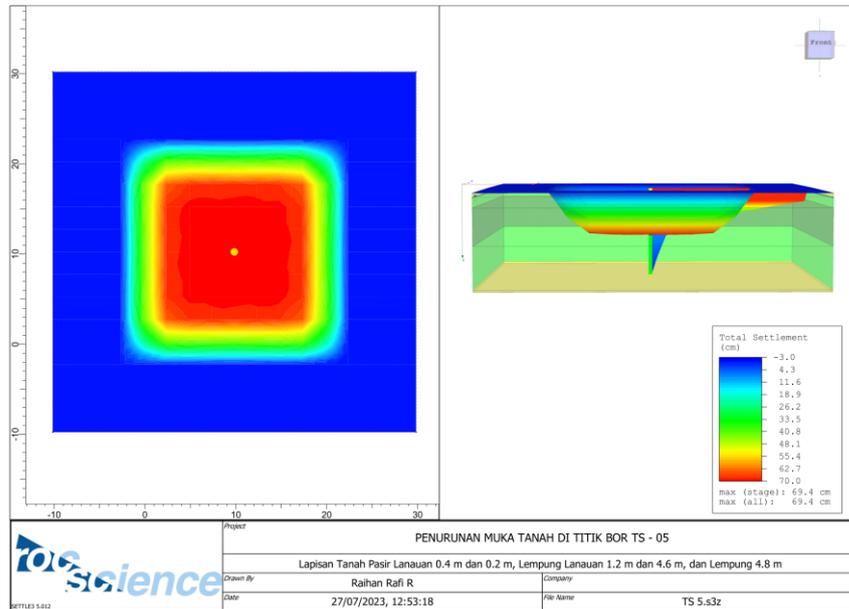
- Sc 1 : Penurunan muka tanah dengan beban alami
- Sc 2 : Penurunan muka tanah dengan beban tambahan berupa rumah
- Sc 3 : Penurunan muka tanah dengan beban tambahan berupa kantor
- Sc 4 : Penurunan muka tanah dengan beban tambahan berupa rumah sakit

Gambar 10. Simulasi penurunan muka tanah secara 3D

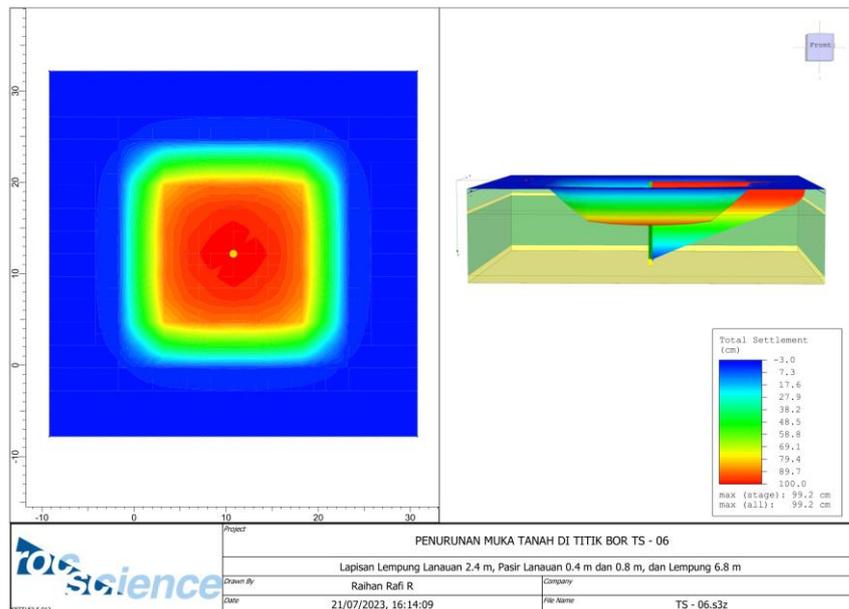
Titik
Bor

Penurunan Muka Tanah Secara Alami

TS – 05



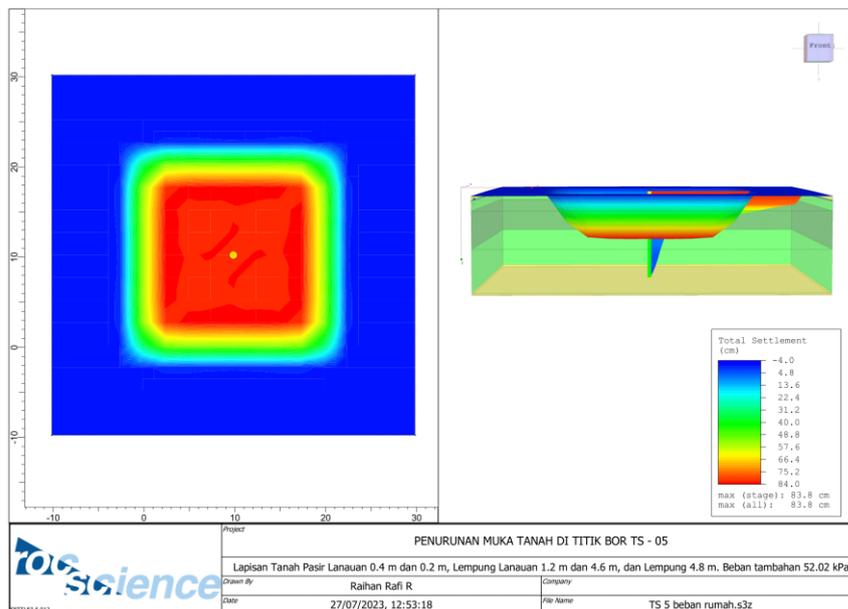
TS – 06



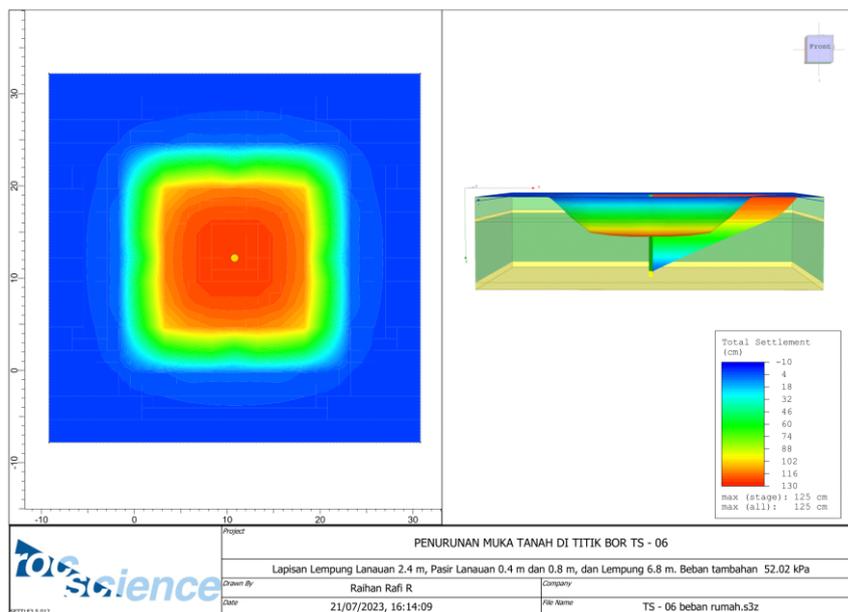
Titik Bor

Penurunan Muka Tanah Dengan Beban Tambahan Berupa Rumah

TS – 05



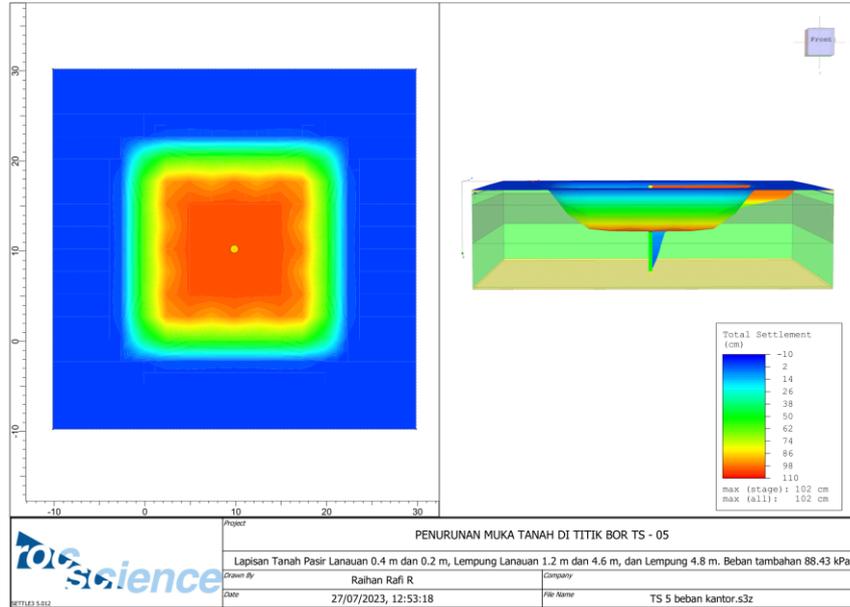
TS – 06



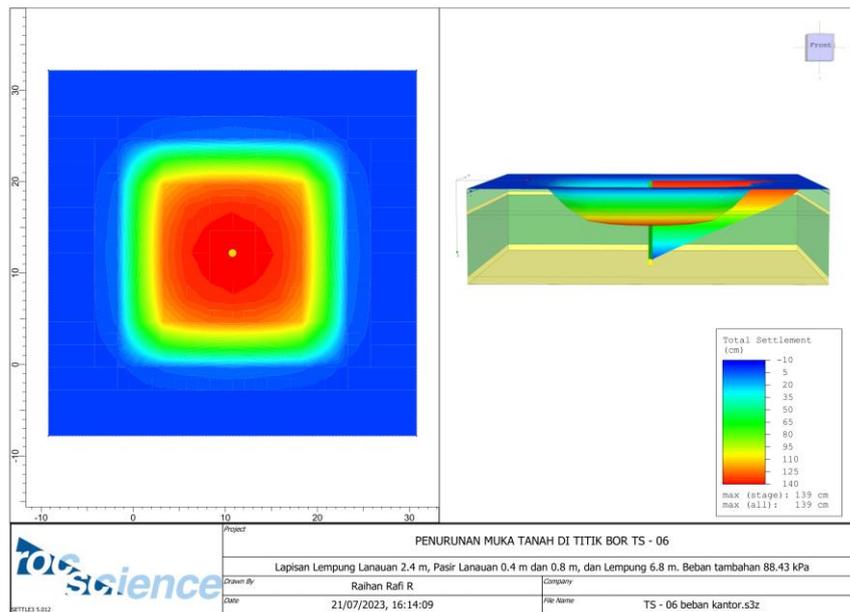
Titik
Bor

Penurunan Muka Tanah Dengan Beban Tambahan Berupa Kantor

TS – 05



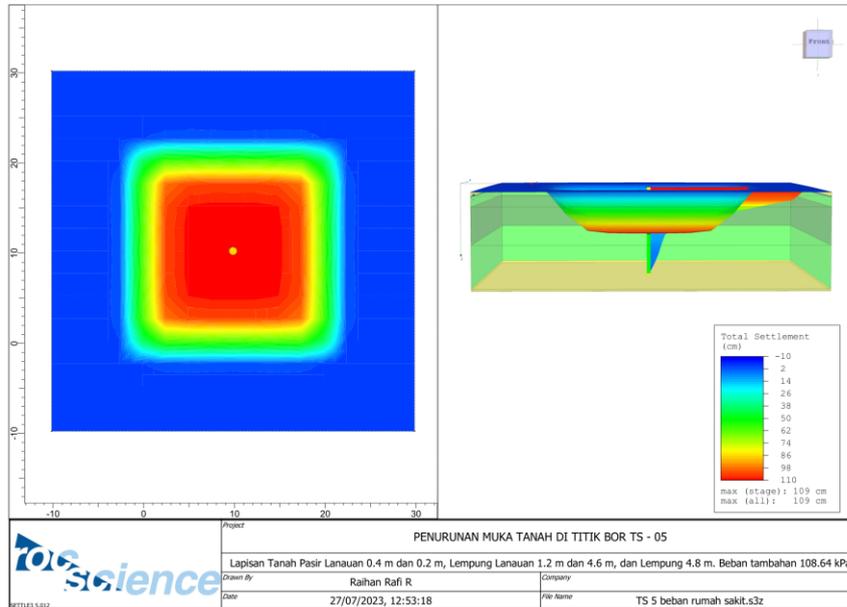
TS – 06



Titik Bor

Penurunan Muka Tanah Dengan Beban Tambahan Berupa Rumah Sakit

TS – 05



TS – 06

