

# ANALISIS PENURUNAN BANGUNAN WATER TANK PADA DEPO CIPINANG

## ANALYSIS OF BUILDING SETTLEMENT OF WATER TANK IN CIPINANG DEPOT

<sup>1</sup>Ellysa, <sup>2</sup>Juniarso, <sup>3</sup>Andi Asnur Pranata M. H., <sup>4</sup>Maulana Mujahidin

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Sipil Universitas Gunadarma

<sup>1</sup>ellysa@staff.gunadarma.ac.id, <sup>2</sup>juniarso@staff.gunadarma.ac.id, <sup>3</sup>andiforjournal@gmail.com,

<sup>4</sup>mujahidin@staff.gunadarma.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penyebab dan besarnya penurunan bangunan water tank yang terletak di Depo Cipinang, Jakarta. Bangunan ini mengalami kerusakan pada bagian plesteran dan elemen non-struktural lainnya yang diduga sebagai dampak dari penurunan tanah yang tidak merata. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi survei visual bangunan, investigasi tanah menggunakan handboring dan uji sondir, serta perhitungan daya dukung dan penurunan berdasarkan teori Terzaghi dan konsep konsolidasi tanah. Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa tanah di lokasi terdiri dari lapisan lanau kelempungan dengan karakteristik sangat lunak hingga kaku pada kedalaman tertentu. Beban struktur total sebesar 427,89 ton menghasilkan tegangan sebesar 7,78 t/m<sup>2</sup>, masih berada di bawah daya dukung ijin sebesar 13,34 t/m<sup>2</sup>. Penurunan total yang dihitung adalah 9,60 cm, terdiri dari penurunan segera, konsolidasi primer, dan konsolidasi sekunder. Nilai ini masih memenuhi syarat aman menurut standar SNI 8460:2017. Berdasarkan hasil tersebut, rekomendasi teknis berupa perbaikan ringan pada bagian non-struktural serta pemantauan kondisi geometri bangunan secara berkala dianggap memadai untuk menjamin keberlanjutan fungsi struktur.

**Kata Kunci:** Penurunan Tanah, Water Tank, Investigasi Tanah, Daya Dukung, Konsolidasi.

### Abstract

This study was conducted to analyze the cause and magnitude of settlement of a water tank building located in Cipinang Depot, Jakarta. The building suffered damage to the stucco and other non-structural elements that were suspected to be the result of uneven ground settlement. The methods used in this study include visual survey of the building, soil investigation using handboring and sondir tests, and calculation of bearing capacity and settlement based on Terzaghi's theory and the concept of soil consolidation. The investigation results show that the soil at the site consists of a layer of clayey silt with very soft to stiff characteristics at certain depths. The total structural load of 427.89 tons resulted in a stress of 7.78 t/m<sup>2</sup>, still below the allowable bearing capacity of 13.34 t/m<sup>2</sup>. The calculated total settlement was 9.60 cm, consisting of immediate settlement, primary consolidation and secondary consolidation. This value still meets the safe requirements according to SNI 8460:2017 standard. Based on these results, technical recommendations in the form of minor repairs to non-structural parts and periodic monitoring of building geometry conditions are considered adequate to ensure the sustainability of structural functions.

**Keywords:** Soil Settlement, Water Tank, Soil Investigation, Bearing Capacity, Consolidation.

### PENDAHULUAN

Depo Cipinang merupakan salah satu fasilitas penting di wilayah Daop 1 Jakarta yang berfungsi sebagai tempat perawatan lokomotif dan gerbong kereta api. Salah satu

infrastruktur vital di dalamnya adalah bangunan *water tank* berukuran 5,5 x 10 meter yang berfungsi sebagai tandon air. Namun, terjadi penurunan pada tanah di sekitar bangunan ini yang menyebabkan kerusakan

pada plesteran dinding dan struktur di sekitarnya.

Fenomena penurunan tanah atau *settlement* sering kali menjadi tantangan dalam dunia konstruksi, khususnya pada wilayah dengan karakteristik tanah lunak. Penurunan yang tidak terkendali dapat menimbulkan kerusakan struktural maupun fungsional pada bangunan. Oleh sebab itu, pemahaman terhadap kondisi tanah serta evaluasi terhadap daya dukung dan karakteristik deformasi tanah sangat diperlukan, terlebih pada infrastruktur penting seperti fasilitas perkeretaapian.

Penelitian ini penting untuk memastikan keamanan struktur dan keberlanjutan operasional depo. Oleh karena itu, dilakukan analisis geoteknik untuk mengetahui tingkat kestabilan tanah, menghitung daya dukung pondasi, serta memperkirakan total penurunan yang terjadi. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh solusi teknis untuk perencanaan perawatan dan penguatan struktur

secara tepat guna. Survei lapangan secara visual dilakukan untuk mengamati kondisi permukaan tanah dan struktur bangunan di sekitar *water tank*. Hasil observasi menunjukkan adanya indikasi penurunan tanah yang cukup signifikan di beberapa titik. Penurunan ini terlihat dari perbedaan elevasi tanah dan adanya deformasi pada elemen bangunan yang berada di dekat lokasi *water tank*.

Kerusakan yang diamati meliputi retakan pada dinding bangunan, penurunan elevasi lantai, serta ketidakrataan pada permukaan tanah yang mengarah ke arah bangunan *water tank*. Kondisi ini menunjukkan bahwa distribusi penurunan tidak merata, sehingga menyebabkan tegangan tambahan pada struktur bangunan. Retakan-retakan tersebut ditemukan baik pada struktur utama maupun elemen non-struktural, seperti plesteran dan tangga bangunan di sekitar area *water tank*.



**Gambar 1. Peta Lokasi *Water Tank* Depo Cipinang**



**Gambar 2. Keretakan pada Dinding Bangunan *Water Tank***



**Gambar 3. Penurunan Tanah Mengarah ke Bangunan *Water Tank***



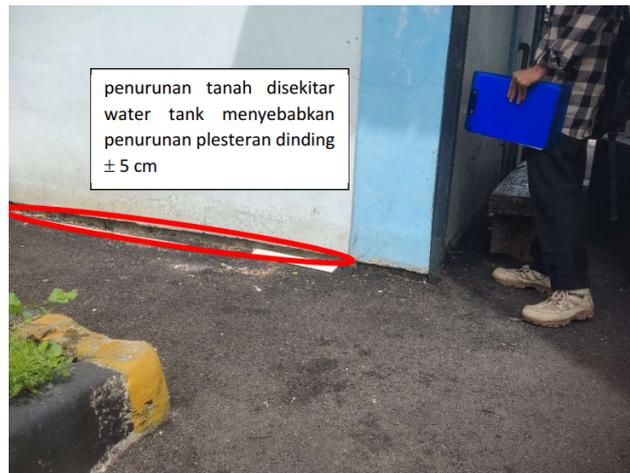
**Gambar 4. Keretakan Pada Tangga (Gedung di samping Bangunan *Water Tank*)**

Hasil pengamatan tersebut memperkuat dugaan bahwa permasalahan utama berasal dari konsolidasi tanah yang belum stabil. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi lanjutan terhadap kondisi tanah secara lebih menyeluruh untuk mengidentifikasi potensi penurunan lanjutan yang mungkin terjadi. Survei eksternal ini menjadi dasar untuk menetapkan strategi perbaikan dan perawatan yang tepat pada struktur bangunan, serta sebagai acuan dalam perencanaan rekayasa fondasi ke depan.

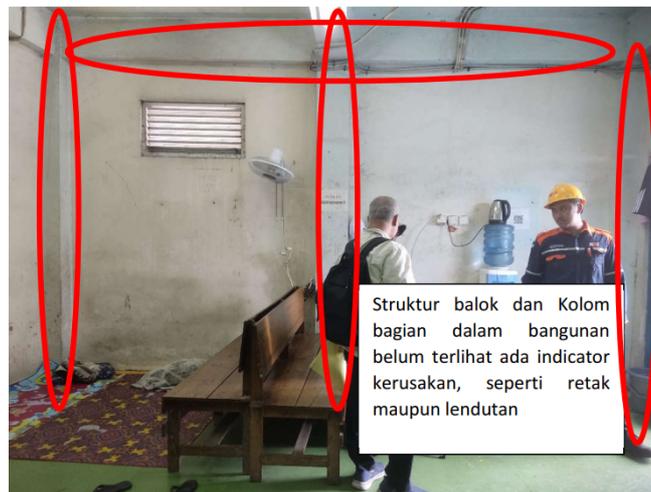
Survei internal dilakukan untuk mengamati kondisi fisik bangunan *water tank* dari sisi dalam guna mendeteksi adanya gejala deformasi struktural akibat penurunan tanah. Hasil observasi menunjukkan bahwa meskipun elemen struktural utama seperti kolom dan balok belum menunjukkan

kerusakan signifikan, terdapat indikasi gangguan pada elemen non-struktural. Gejala tersebut terlihat pada bagian plesteran dinding yang mengalami pelepasan dan ketidakrataan permukaan, serta tangga akses yang menunjukkan pergeseran elevasi.

Penurunan tanah di sekitar pondasi menyebabkan ketidakseimbangan beban yang ditransmisikan ke struktur atas. Dampak ini tercermin dari adanya penurunan lokal yang mengarah pada diferensiasi pergerakan antarbagian bangunan. Pada beberapa titik, penurunan plesteran dinding mencapai  $\pm 5$  cm, yang menjadi bukti bahwa bangunan mengalami deformasi lokal yang cukup nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa deformasi tanah tidak hanya berdampak secara eksternal, tetapi juga berpengaruh terhadap elemen interior bangunan.



**Gambar 5. Penurunan Tanah di sekitar Bangunan *Water Tank***



**Gambar 6. Kondisi Struktur Balok dan Kolom bagian dalam Bangunan**

**Tabel 1. Hasil Survei *Soil* Investigasi**

No Test	Tipe soil tes	X (m)	Y (m)
<b>Titik 1</b>	Sondir & Handboring	-6.2139060	106.879822
<b>Titik 2</b>	Sondir & Handboring	-6.2136860	106.882550

Secara keseluruhan, survei internal memperkuat hasil temuan survei eksternal dan memberikan gambaran lebih rinci mengenai bagaimana struktur merespons ketidakstabilan tanah di bawahnya. Hasil pengamatan ini menjadi dasar dalam menetapkan prioritas tindakan perawatan, khususnya pada area yang mengalami penurunan paling signifikan. Perlu dicatat bahwa meskipun struktur utama masih dalam kondisi stabil, tindakan preventif tetap

diperlukan untuk mencegah berkembangnya kerusakan ke komponen struktural bangunan.

Hasil investigasi tanah yang dilakukan di sekitar bangunan *water tank* menunjukkan karakteristik lapisan tanah yang kompleks dan heterogen. Penyelidikan dilakukan melalui metode *handboring* dan sondir pada dua titik yang berdekatan dengan lokasi struktur. Tujuan utama dari kegiatan ini adalah untuk mengidentifikasi sifat fisis dan mekanis tanah secara langsung di bawah dan di sekitar

bangunan yang mengalami penurunan. Koordinat pengujian dicatat secara presisi, dan titik uji berada pada area dengan elevasi mendekati permukaan tanah asli (OGL).

Berdasarkan hasil pengujian, tanah pada kedalaman 0,00 hingga -20,00 meter tergolong dalam kategori tanah sangat lunak (*very soft soil*) dengan nilai qc rata-rata sebesar 1 kg/cm<sup>2</sup>. Kondisi ini mengindikasikan bahwa lapisan tersebut memiliki daya dukung yang rendah dan sangat rentan terhadap pemampatan ketika menerima beban tambahan dari struktur bangunan. Pada lapisan berikutnya, yaitu dari -20,00 hingga -35,00 meter, tanah menunjukkan karakteristik tanah sedang (*medium soil*) dengan nilai N-SPT rata-rata 14. Sementara itu, lapisan terdalam dari -35,00 hingga -50,00 meter tergolong tanah kaku (*stiff soil*) dengan nilai N-SPT rata-rata sebesar 22.

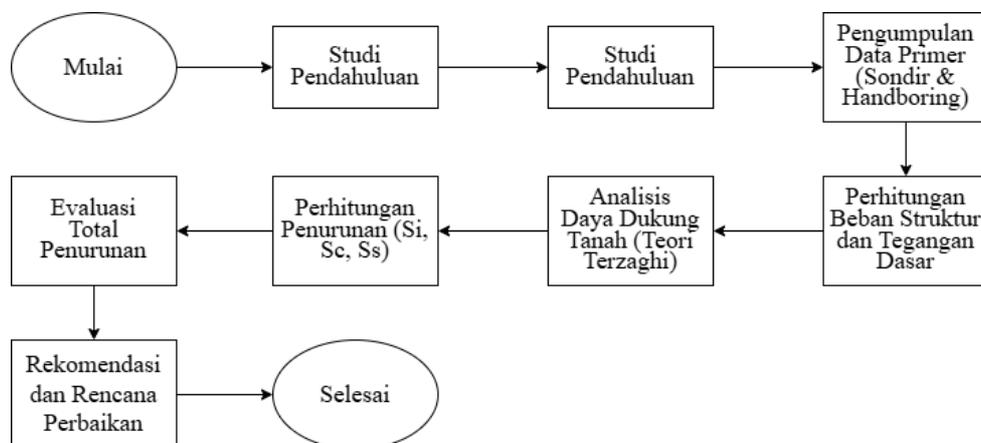
Setelah dilakukan pekerjaan penyelidikan tanah, pengukuran deformasi geometri bangunan dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual bangunan. Dari pengukuran tersebut, diperoleh hasil bahwa telah terjadi penurunan bangunan sedalam ±5 cm. Penurunan ini memperkuat temuan bahwa lapisan tanah lunak di bawah pondasi belum mengalami konsolidasi sepenuhnya. Dengan demikian, data *soil* investigasi ini menjadi landasan penting dalam analisis stabilitas struktur dan perencanaan tindakan perbaikan

teknis yang diperlukan pada bangunan *water tank*.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus. Lokasi penelitian berada di area Depo Cipinang, Jakarta. Data primer diperoleh melalui survei lapangan, investigasi tanah (*handboring* dan sondir), serta pengukuran geometrik bangunan. Variabel utama yang dianalisis meliputi jenis tanah, kedalaman muka air tanah, nilai qc, dan parameter konsolidasi tanah. Metode analisis mencakup perhitungan daya dukung tanah menggunakan teori Terzaghi, dan perhitungan penurunan tanah yang terdiri atas penurunan segera, konsolidasi primer, dan konsolidasi sekunder berdasarkan parameter tanah hasil uji laboratorium dan lapangan. Tahapan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7 yang disajikan menggambarkan tahapan-tahapan sistematis yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian terkait analisis penurunan bangunan water tank di Depo Cipinang. Proses penelitian diawali dengan kegiatan studi pendahuluan, yang bertujuan untuk mengidentifikasi masalah di lapangan serta merumuskan pendekatan yang tepat untuk pengumpulan data. Tahap ini menjadi dasar untuk menetapkan kebutuhan investigasi teknis lebih lanjut.



**Gambar 7. Tahapan Penelitian**

Langkah berikutnya adalah pengumpulan data primer melalui metode sondir dan *handboring*. Data yang diperoleh dari kegiatan ini digunakan sebagai input dalam proses perhitungan beban struktur serta tegangan dasar pada tanah. Perhitungan ini menjadi komponen krusial untuk menentukan beban aktual yang bekerja pada pondasi bangunan. Selanjutnya, dilakukan analisis terhadap daya dukung tanah menggunakan teori Terzaghi guna mengevaluasi apakah tanah mampu menahan beban struktur secara aman. Tahapan akhir mencakup perhitungan penurunan yang terdiri dari penurunan segera (Si), konsolidasi primer (Sc), dan konsolidasi sekunder (Ss). Hasil perhitungan ini kemudian dievaluasi secara menyeluruh untuk mendapatkan estimasi total penurunan. Berdasarkan hasil evaluasi, penelitian ini memberikan rekomendasi teknis serta rencana perbaikan terhadap bangunan yang terdampak. Proses ini disusun secara berurutan untuk memastikan bahwa analisis yang dilakukan bersifat komprehensif, akurat, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Lapisan Tanah Berdasarkan Pengeboran Dangkal dan Uji Laboratorium

Kondisi lapisan tanah berdasarkan data pengeboran dangkal, uji laboratorium, dan pengamatan secara visual adalah lempung kelanauan berplastisitas tinggi, berwarna coklat dan merah. Rangkuman kondisi lapisan tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil penyelidikan tanah melalui pengeboran dangkal menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian didominasi oleh jenis lempung kelanauan (CH) dengan plastisitas tinggi. Berdasarkan hasil identifikasi visual dan data laboratorium, ditemukan bahwa lapisan tanah di titik HB-01 memiliki warna coklat, sedangkan pada HB-02 berwarna merah. Kedua titik tersebut memiliki kedalaman pengamatan hingga 4,0 meter. Temuan ini mengindikasikan bahwa karakteristik tanah pada lapisan permukaan cukup konsisten dan tergolong tanah kohesif lunak yang rentan terhadap konsolidasi akibat beban struktur.

### Hasil Uji Sondir

Hasil uji sondir diplot dalam grafik yang menggambarkan korelasi hubungan antara tahanan konus atau qc terhadap kedalaman. Hasil uji sondir sebagai berikut (Tabel 3).

Pengujian sondir yang dilakukan pada titik S-1 dan S-2 menunjukkan bahwa nilai tahanan konus (qc) berada pada kisaran 250 kg/cm<sup>2</sup>. Meskipun nilai qc tergolong tinggi, korelasi terhadap kedalaman menunjukkan bahwa nilai tersebut diperoleh pada kedalaman lebih dari 15 meter, yaitu masing-masing 17,6 meter dan 15,0 meter. Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan tanah keras atau tanah dengan daya dukung tinggi baru ditemukan pada kedalaman yang cukup dalam. Dengan demikian, beban struktur pada lapisan tanah di atas kedalaman tersebut harus diperhitungkan secara hati-hati karena berada di zona dengan daya dukung rendah hingga sedang.

**Tabel 2. Kondisi Lapisan Tanah**

Titik Bor Dangkal	Kedalaman (Meter)	Jenis/Klasifikasi Tanah
HB-01	0.0-4.0	Lempung kelanauan/CH, plastisitas tinggi, warna coklat
HB-02	0.0-4.0	Lempung kelanauan/CH, plastisitas tinggi, warna merah

**Tabel 3. Hasil Uji Sondir**

Titik Sondir	Kedalaman Pengujian Sondir (meter)	Nilai Tahanan Konus (qc)
S-1	17.6	250 kg/cm <sup>2</sup>
S-2	15.0	250 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabel 4. Kedalaman Muka Air Tanah**

Titik Bor/Titik Sondir	Muka Air Tanah (meter)
HB-01 dan HB-02	Na
S-1	16.0
S-2	Na

**Tabel 5. Pembebanan Lantai Dasar**

Ukuran	P	L	T	$\gamma$ Beton	$\Sigma$	Berat
	m	m	m	ton/m <sup>3</sup>		ton
1	10	0,3	0,3	2,5	2	4,50
2	5,5	0,3	0,3	2,5	4	4,95
3	4	0,3	0,3	2,5	1	0,90
Kolom	0,3	0,3	3,35	2,5	14	10,55
Dinding	10	0,3	3,35	2,5	2	50,25
	5,5	0,3	3,35	2,5	4	55,28
	5,5	0,3	3,35	2,5	1	13,82
Plat	10	5,5	0,3	2,5	1	41,25
					$\Sigma$	181,50

### Muka Air Tanah

Kedalaman muka air tanah diamati dan diukur selama penyelidikan lapangan dilakukan. Untuk mendapatkan muka air tanah yang lebih pasti disarankan untuk melakukan pengujian lapangan lainnya. Adapun hasil pengukuran muka air tanah sebagai berikut (Tabel 4).

Kedalaman muka air tanah yang diamati juga menjadi indikator penting dalam analisis stabilitas pondasi. Berdasarkan hasil pengukuran, muka air tanah pada titik S-1 terdeteksi pada kedalaman 16 meter, sedangkan pada titik lainnya tidak teramati atau tidak dapat ditentukan (Na). Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar lapisan tanah pada kedalaman dangkal hingga menengah berada dalam kondisi jenuh air, yang dapat memperbesar potensi penurunan akibat konsolidasi. Oleh karena itu, data tersebut harus diperhitungkan secara teliti

dalam penentuan nilai tegangan efektif dan estimasi total penurunan bangunan.

### Pembebanan

Berdasarkan data gambar *as built drawing* Denah Lantai Dasar, sebagai berikut (Tabel 5). Tabel 5 menyajikan rincian pembebanan elemen struktural pada lantai dasar bangunan *water tank*. Komponen utama terdiri dari kolom, dinding, dan pelat beton bertulang. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan dimensi fisik elemen (panjang, lebar, tinggi) dengan berat jenis material yang digunakan. Hasilnya menunjukkan bahwa pelat lantai menyumbang beban paling besar yaitu sebesar 41,25 ton, sedangkan dinding dan kolom masing-masing memberikan kontribusi 45,28 ton dan 94,97 ton. Total beban struktur pada lantai dasar mencapai 181,50 ton. Nilai ini mencerminkan dominasi massa struktural bangunan berada pada bagian

bawah, yang perlu diperhatikan dalam analisis kestabilan pondasi. Berdasarkan data gambar *as built drawing* Denah Lantai 1, sebagai berikut (Tabel 6). Tabel 6 memuat data beban pada elemen struktur lantai satu. Sama seperti lantai dasar, komponen utama meliputi dinding, kolom, dan pelat. Total beban struktur pada lantai satu tercatat sebesar 89,27 ton. Beban terbesar berasal dari pelat lantai yaitu 27,64 ton, disusul oleh dinding sebesar 34,25 ton. Kolom dan elemen lainnya memberikan kontribusi yang relatif lebih kecil. Distribusi beban ini menunjukkan bahwa meskipun massa struktur menurun pada lantai atas, beban tetap signifikan dan harus diperhitungkan dalam evaluasi tegangan efektif yang bekerja pada tanah dasar. Berdasarkan data gambar *as built drawing* Denah atap, sebagai berikut (Tabel 7). Tabel 7 menunjukkan perhitungan pembebanan pada bagian atap bangunan. Elemen struktural yang ditinjau adalah rangka beton (RB) dan pelat atap. Beban total yang ditimbulkan oleh elemen ini adalah 19,62 ton. Meskipun nilainya jauh lebih kecil

dibandingkan lantai di bawahnya, beban atap tetap memberikan kontribusi terhadap tegangan vertikal secara keseluruhan. Informasi ini menjadi penting terutama untuk menghitung beban total yang akan bekerja pada sistem pondasi, termasuk jika terjadi akumulasi beban dinamis seperti hujan atau angin.

Berat volume air pada posisi penuh, sebagai berikut (Tabel 8). Tabel 8 menyajikan beban air dalam kondisi penuh sebagai bagian integral dari beban yang bekerja pada pondasi. Dengan volume air sebesar 137,5 m<sup>3</sup> dan berat jenis air sebesar 1 ton/m<sup>3</sup>, maka beban air yang dihitung mencapai 137,5 ton. Beban ini bersifat variabel tergantung kondisi operasional tangki. Namun demikian, untuk keperluan analisis konservatif, beban ini harus diasumsikan bekerja penuh secara merata di seluruh permukaan pondasi. Penambahan beban air tersebut sangat berpengaruh terhadap akumulasi beban vertikal total dan wajib dimasukkan dalam perhitungan daya dukung dan prediksi penurunan.

**Tabel 6. Pembebanan Denah Lantai 1**

Ukuran	P	L	T	$\gamma_{\text{beton}}$	$\Sigma$	Berat
	m	m	m	ton/m <sup>3</sup>		ton
1	10	0,3	0,3	2,5	3	6,75
2	5,5	0,3	0,3	2,5	3	3,71
Kolom	0,3	0,3	3,35	2,5	6	4,52
Dinding	6	0,3	3,35	2,5	2	30,15
	5,5	0,3	3,35	2,5	2	27,64
Plat	10	5,5	0,12	2,5	1	16,5
					$\Sigma$	89,27

**Tabel 7. Pembebanan Atap**

Ukuran	P	L	T	$\gamma_{\text{Beton}}$	$\Sigma$	Berat
	m	m	m	ton/m <sup>3</sup>		ton
RB	6,75	0,25	0,5	2,5	5	10,55
Plat	5,5	5,5	0,12	2,5	1	9,075
					$\Sigma$	19,62

**Tabel 8. Berat Volume Air Saat Penuh**

Ukuran	P	L	T	$\gamma$ Air	$\Sigma$	Berat
	m	m	m	ton/m <sup>3</sup>		ton
Air	10	5,5	2,5	1	1	137,5
Total Berat Struktur + Air (ton)					$\Sigma =$	427,89 ton
Luas pondasi		10	x	5,5		55 m <sup>2</sup>
Beban Merata yang bekerja pada tanah dasar (t/m <sup>2</sup> )					$=$	7,78 t/m <sup>2</sup>

### Daya Dukung Tanah

Untuk menghitung daya dukung tanah berdasarkan metode Terzaghi dengan bentuk pondasi persegi Panjang dapat dihitung sebagai berikut :

$$q_u = cN_c(1 + 0,3 B/L) + p_o N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma (1$$

Keterangan:

$$C = 3,40 \text{ t/m}^2$$

$$\phi = 4,78$$

Berdasarkan table faktor daya dukung dari Terzaghi dengan sudut geser tanah diperoleh nilai-nilai sebagai berikut :

$$N_c = 7,3$$

$$N_q = 1,6$$

$$N_\gamma = 0,5$$

$$\gamma \text{ Tanah} = 1,63 \text{ t/m}^3$$

$$D_f = 3,5 \text{ m}$$

$$P_o = 5,69 \text{ t/m}^2$$

$$B = 5,5 \text{ m}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

$$B/L = 0,55$$

Maka diperoleh sebagai berikut:

$$q_u = 40,01 \text{ t/m}^2$$

Nilai daya dukung ijin dengan *Safety Factor* (3) diperoleh sebagai berikut:

$$q_{ijin} = 13,34 \text{ t/m}^2$$

Karena nilai daya dukung ijin tanah dari hasil perhitungan lebih besar dari tegangan yang terjadi pada tanah dasar atau  $q_{ijin} = 13,34 \text{ t/m}^2 > 7,78 \text{ t/m}^2$ , maka dapat dikatakan daya dukung aman terhadap beban struktur *water tank*.

### Distribusi Tegangan

Distribusi tegangan akibat beban merata empat persegi panjang pada lapisan tanah lunak dihitung menggunakan persamaan yang

diperoleh dari hasil penjabaran teori Boussinesq. Dari gambar *as built drawing*, diperoleh dimensi-dimensi sebagai berikut:

$$L = 10 \text{ m}$$

$$B = 5 \text{ m}$$

$$Z = 1 \text{ m}$$

$$m = 5$$

$$n = 10$$

Sehingga dengan menggunakan dimensi diatas maka diperoleh factor pengaruh dari grafik US Navy 1971 sebesar 0,28. Sehingga penambahan tegangan akibat beban merata berbentuk persegi panjang sebagai berikut:

$$\Delta p = q_o \times I$$

$$\Delta p = 77,80 \times 0,28$$

$$\Delta p = 6,099 \text{ kN/m}^2$$

### Penurunan

#### Penurunan Konsolidasi Primer

Berdasarkan hasil pengujian dilapangan dengan *handboring* dan uji laboratorium, didapat data teknis tanah sebagai berikut:

Data Teknis Tanah

$$\text{Indeks Pemampatan } C_c = 0,37$$

Tebal Lapisan Terkonsolidasi dibawah Pondasi = 2 m

Beban Merata Akibat Beban Struktur + Air = 77,80 kN/m<sup>2</sup>

Berat Jenis Tanah Asli = 16,25 kN/m<sup>3</sup>

*Void Ratio* sebelum Pembebanan  $e_o = 1,47$

Tegangan Rfektif *Overburden*  $P_o = 6,25 \text{ kN/m}^2$

Besar Tegangan Akibat Struktur  $\Delta P = 21,78 \text{ kN/m}^2$

Koefisien Konsolidasi  $C_v = 3, \text{E-}07 \text{ m}^2/\text{det}$

Faktor Waktu untuk Konsolidasi 90% atau  $T_{90} = 0,848$

Dengan menganggap tanah terkonsolidasi normal, penurunan konsolidasi primer dihitung dengan formulasi berikut :

$$S = \frac{Cc}{1+e_o} H \log \frac{\Delta P + P_o}{P_o}$$

Besar penurunan yang terjadi akibat konsolidasi primer adalah  $S = 4,15$  cm.

### Derajat Konsolidasi

Derajat Konsolidasi tanah (U) adalah perbandingan penurunan tanah pada waktu tertentu dengan penurunan tanah total. Derajat konsolidasi yang disyaratkan dalam SNI 8460:2017 adalah 90%.

### Waktu Konsolidasi

Pada tanah yang tidak dikonsolidasi alamiah, pengaliran yang terjadi hanyalah vertikal saja dan Hdr adalah tinggi tanah terkonsolidasi.

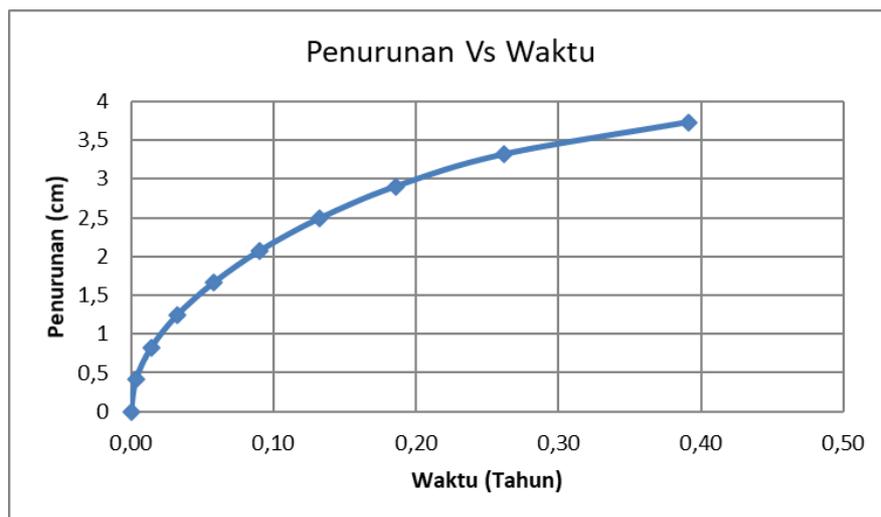
$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{C_v}$$

Derajat konsolidasi 90% sebagai syarat minimum dalam SNI 8460:2017, dicapai

dalam kurun waktu 0,39 tahun. Penurunan dan waktu dapat disajikan dalam grafik pada Gambar 8.

Gambar 8 menunjukkan grafik yang ditampilkan menggambarkan hubungan antara waktu dan besar penurunan tanah yang terjadi akibat beban struktur dan air pada bangunan *water tank*. Sumbu horizontal menunjukkan waktu dalam satuan tahun, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan nilai penurunan dalam satuan sentimeter. Berdasarkan grafik tersebut, dapat diamati bahwa penurunan terjadi secara progresif dan menunjukkan pola kurva yang menurun secara eksponensial.

Pada awal waktu (0 hingga 0,1 tahun), penurunan berlangsung sangat cepat dengan laju yang tinggi. Hal ini mengindikasikan terjadinya penurunan segera (*immediate settlement*) akibat deformasi elastis dari tanah yang berada tepat di bawah pondasi. Seiring berjalannya waktu, laju penurunan mulai melambat dan menunjukkan kecenderungan mendekati kondisi stabil. Fenomena ini berkaitan dengan fase konsolidasi primer, di mana air pori yang terperangkap di dalam tanah keluar secara bertahap, menyebabkan volume tanah berkurang dan struktur mengalami penurunan tambahan.



Gambar 8. Grafik Penurunan vs Waktu

Menjelang akhir periode waktu pengamatan (sekitar 0,4 tahun), penambahan penurunan menjadi semakin kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanah telah mendekati fase akhir konsolidasi dan masuk ke tahap konsolidasi sekunder yang berlangsung sangat lambat. Grafik ini memberikan gambaran penting bahwa sebagian besar penurunan terjadi dalam periode waktu singkat setelah pembangunan, dan menjadi acuan dalam menentukan durasi monitoring serta perencanaan intervensi teknis di lapangan.

### Penurunan Segera (Immediate Settlement)

Penurunan segera yang terjadi pada lapisan tanah (*soft clay*, kedalaman 0-2 m) dihitung sebagai berikut:

Tebal Lapisan Terkonsolidasi dibawah Pondasi = 2 m

Beban Merata Akibat Beban Struktur + Air = 77,80 kN/m<sup>2</sup>

Modulus Elastisitas Tanah (E) = 4000 kN/m<sup>2</sup>

Poisson's Ratio ( $\mu$ ) = 0,2

$2\mu^2 = 0,08$

$1 - \mu = 0,8$

$E' = 4444,44$

Maka penurunan segera akibat pembebanan struktur *water tank* adalah  $S_i = 0,035 \text{ m} = 3,5 \text{ cm}$ .

### Penurunan Akibat Konsolidasi Sekunder

Void Ratio sebelum Pembebanan  $e_0 = 1,47$

Tebal Lapisan Terkonsolidasi dibawah Pondasi = 2 m

Indeks Pemampatan  $C_c = 0,37$

Tegangan Efektif *Overburden*  $P_0 = 16,25 \text{ kN/m}^2$

Besar Tegangan Akibat Struktur  $\Delta P = 21,78 \text{ kN/m}^2$

Secondary Compression Index,  $C_{\alpha} = 0,02$

$\Delta e = 0,137$

$E_p = 1,332$

$C_{\alpha}' = 0,009$

$\Delta t = 5 \text{ tahun}$

$t_2 = t_1 + \Delta t = 5,39 \text{ tahun}$

$S = 0,0195 \text{ m}$

$= 1,95 \text{ cm}$

Total Penurunan =  $S_i + S_c + S_s$

Total Penurunan =  $3,5 \text{ cm} + 4,15 \text{ cm} + 1,95 \text{ cm} = 9,60 \text{ cm}$

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis geoteknik dan struktur terhadap bangunan *water tank* di Depo Cipinang, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penurunan bangunan *water tank* disebabkan oleh karakteristik tanah dasar yang lunak dan belum mengalami konsolidasi secara penuh. Hasil penyelidikan tanah menunjukkan bahwa lapisan tanah pada kedalaman 0 hingga 20 meter tergolong sangat lunak (*very soft soil*), dengan nilai  $q_c$  rendah dan potensi pemampatan tinggi.
2. Total beban struktur dan air sebesar 427,89 ton menghasilkan tegangan sebesar 7,78 t/m<sup>2</sup> pada pondasi, yang masih berada di bawah nilai daya dukung ijin tanah sebesar 13,34 t/m<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa secara teknis, struktur masih berada dalam batas aman terhadap risiko keruntuhan akibat daya dukung tanah.
3. Penurunan total yang dihitung sebesar 9,60 cm terdiri dari penurunan segera (3,5 cm), penurunan konsolidasi primer (4,15 cm), dan penurunan sekunder (1,95 cm). Nilai ini masih memenuhi ambang batas penurunan yang diperbolehkan sesuai ketentuan SNI 8460:2017. Namun, distribusi penurunan yang tidak merata menyebabkan kerusakan lokal pada bagian non-struktural bangunan.

### DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2017. SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta: BSN.

- Bowles, J.E., 1997. *Foundation Analysis and Design*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
- Das, 1993, *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis*, Jilid I, Penerbit: Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, 1992, *Mekanika Tanah 1-2*, Penerbit: Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Koerner, *Designing With Geosynthetics 5th*, Pearson Prentice Hall.
- Look, B.G., 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Boca Raton: CRC Press.
- Mesri, G. dan Godlewski, P.M., 1977. *Time And Stress Compressibility Interrelationship*. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 103, No. 5, pp. 417–430.
- Muis Abdul, 2019, Perbaikan Tanah dengan Kombinasi Metode Preloading dan Prefabricated Vertical Drain pada Daerah Sekitar Jembatan Tabalong Kalimantan Selatan, Prosiding Seminar Nasional “Inovasi dan Integrasi dalam Perkembangan Infrastruktur, Universitas Gunadarma, Jakarta.
- Natural Resources Conservation Service (NRCS), 2004, *Vertical Drain Code No. 630*.
- Pasaribu, H.,T dan Iskandar, R., 2012, Tugas Akhir: Analisa Penurunan Pada Tanah Lunak Akibat Timbunan (Studi Kasus Runway Bandara Medan Baru), Sumatera Barat.
- Robertson, P.K. dan Cabal, K.L., 2010. *Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering*. Signal Hill, California: Gregg Drilling & Testing, Inc.
- Robertson, P.K., Campanella, R.G. dan Wightman, A., 1986. *Soil Classification Using CPT Data*. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 12, pp. 1384–1401.
- Sosrodarsono, S., Nakazawa, K., 2015, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Surendro, Dr. Bambang, 2015, *Rekayasa Fondasi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Terzaghi, K., 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.