

Perencanaan Tembok Penahan Tanah (TPT) Tipe Kantilever Dengan Ketinggian 5 Meter dan Panjang 20 Meter di Desa Gajah Kecamatan Baureno Kabupaten Bojonegoro

Mochamad Arifin^{1*}, Mrabawani Insan Rendra¹, M. Zainul Ikhwan¹

¹Universitas Bojonegoro, Jalan Lettu Suyitno No.2 Bojonegoro.

*arifspeedy07@gmail.com

ABSTRAK

Di Indonesia, banyak tembok penahan tanah yang sudah tua dan mengalami kerusakan, sehingga berisiko tinggi. Kerusakan ini terutama disebabkan oleh usia yang melampaui batas aman struktur tersebut. Menurut data dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Dinas Perumahan Kawasan Permukiman, sekitar 40% tembok penahan tanah di Indonesia mengalami kerusakan, dengan 30% di antaranya berada dalam kategori rusak sedang dan 10% rusak berat. Sementara itu, 60% wilayah yang belum memiliki tembok penahan tanah, terutama di daerah terpencil, berisiko tinggi terhadap tanah longsor. Perencanaan tembok penahan tanah tipe kantilever memerlukan perhatian terhadap dimensi teknis. Dalam perancangan ini, dinding penahan tanah dirancang dengan tinggi 4,2 meter, ketebalan dinding atas 40 cm, lebar dinding bawah 90 cm, dan pelat dasar berukuran 3,5 meter dengan ketebalan 80 cm. Galian tanah direncanakan sedalam 80 cm, menghasilkan total ketinggian dari permukaan tanah galian sebesar 5 meter dan panjang total 20 meter. Analisis stabilitas menunjukkan bahwa dinding penahan tanah dengan tinggi 5 meter stabil terhadap gaya geser dengan nilai perhitungan 1,79, melebihi standar minimal 1,5, dan terhadap gaya guling dengan nilai 3,90, juga melebihi nilai minimal 1,5. Parameter tanah termasuk kohesi 0,038 kg/cm², sudut geser 30,37°, dan berat volume tanah 767,26 kg/m³, dengan kapasitas daya dukung tanah menggunakan metode Terzaghi sebesar 30,38 kg/cm², menunjukkan bahwa struktur tembok penahan tanah aman. Penulangan pada dinding vertikal menggunakan besi utama D25 dengan jarak 100 mm dan besi bagi D13 dengan jarak 150 mm, serta pada pelat kaki menggunakan besi utama D16 dengan jarak 100 mm dan besi bagi D13 dengan jarak 150 mm.

Kata kunci : Stabilitas Geser, Guling , Daya Dukung Tanah, Tipe Kantileve

ABSTRACT

In Indonesia, many retaining walls are old and have sustained damage, making them high-risk structures. This deterioration is primarily due to age surpassing the safe limits for these structures. According to data from the Ministry of Public Works and the Housing and Settlement Area Office, around 40% of retaining walls in Indonesia are damaged, with 30% in the moderately damaged category and 10% severely damaged. Meanwhile, 60% of areas without retaining walls, especially in remote regions, are at high risk for landslides. The design of cantilever-type retaining walls requires careful attention to technical dimensions. In this design, the retaining wall is planned with a height of 4.2 meters, a top wall thickness of 40 cm, a bottom wall width of 90 cm, and a base slab measuring 3.5 meters with a thickness of 80 cm. The excavation depth is planned at 80 cm, resulting in a total height from the excavation surface of 5 meters and a total length of 20 meters. Stability analysis shows that a 5-meter-high retaining wall is stable against shear forces, with a calculated value of 1.79, exceeding the minimum standard of 1.5, and against overturning forces, with a value of 3.90, also exceeding the minimum of 1.5. Soil parameters include cohesion of 0.038 kg/cm², an angle of internal friction of 30.37°, and soil unit weight of 767.26 kg/m³. The bearing capacity of the soil, using the Terzaghi method, is 30.38 kg/cm², indicating that the retaining wall structure is safe. Reinforcement on the vertical wall uses main reinforcement D25 with 100 mm spacing and distribution bars D13 with 150 mm spacing, while the base slab uses main reinforcement D16 with 100 mm spacing and distribution bars D13 with 150 mm

Keywords: Shear Stability, Overturning, Soil Bearing Capacity, Cantilever Type

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, banyak tembok penahan tanah yang sudah tua dan rusak, sehingga tidak lagi layak dan berisiko untuk dilalui. Kerusakan ini sebagian besar disebabkan oleh usia yang sudah melampaui batas aman untuk struktur tersebut. Berdasarkan data dari Kementerian Pekerjaan Umum, Dinas Perumahan Kawasan Permukiman, dan Cipta Karya, sekitar 40% tembok penahan tanah di Indonesia mengalami kerusakan. Sementara itu, 60% lainnya belum memiliki tembok penahan tanah, dengan mayoritas berada di daerah terpencil. Dari yang rusak, 30% dikategorikan sebagai rusak sedang, dan 10% dalam kondisi rusak berat. Permasalahan ini perlu diatasi melalui perbaikan menyeluruh untuk mengurangi risiko tanah atau lereng longsor

Salah satu tembok penahan tanah yang perlu diperbaiki berada di Desa Gajah, Kecamatan Baureno, Kabupaten Bojonegoro, tepatnya di Ruas Jalan Nasional Babat – Bojonegoro, yang menghubungkan Baureno dan Babat (lihat Gambar 1.1). Usia dan kerusakan struktural tembok ini meningkatkan risiko longsor, sehingga diperlukan pembangunan tembok penahan tanah baru di sisi selatan jalan. Untuk mengantisipasi peningkatan volume lalu lintas, tembok lama dari batu kali dengan panjang 19 m dan tinggi 4,5 m akan diganti dengan dinding bertulang berukuran panjang 20 m dan tinggi 5 m

Tanah memiliki peran penting dalam berbagai jenis konstruksi, termasuk pembangunan jalan dan struktur lainnya (Ihsan, A. F., & Nurcahyo, C. B., 2022). Oleh karena itu, kestabilan tanah menjadi sangat penting dalam perencanaan konstruksi (Sinarta, N., 2014). Salah satu strategi umum untuk mencegah tanah longsor adalah membangun tembok atau dinding penahan tanah. Pembangunan tembok penahan tanah harus mempertimbangkan faktor-faktor kestabilan dan keselamatan secara cermat, karena kesalahan dalam proses ini dapat mengakibatkan konsekuensi serius (Aizid, R., 2021). Desain dinding penahan tanah harus memperhitungkan aspek kestabilan dengan baik, termasuk ketahanan terhadap pergeseran, penggulingan, dan daya dukung optimal, karena stabilitas adalah faktor penting yang mempengaruhi umur dinding tersebut

Oleh karena itu, tembok penahan tanah harus dirancang dengan struktur yang kuat dan mampu menanggung beban dari jalan raya. Selain itu, tembok penahan tanah harus bisa menahan tekanan lateral aktif dan aman dari erosi air saat hujan deras. Dinding penahan tanah dianggap aman jika faktor keamanannya telah diperhitungkan dengan tepat, termasuk risiko pergeseran, penggulingan, dan penurunan daya dukung tanah. Dalam perencanaan dinding penahan, perhitungan stabilitas adalah aspek yang tidak boleh diabaikan, karena stabilitas dinding sangat mempengaruhi umur dinding itu sendiri keamanan bangunan bendung, dan kondisi tanah di sekitarnya (Septiani, V., Suryan, V., & Andeni, A. N., 2024

2. METODE PENELITIAN

Rencana Tahapan Perencanaan

Mengumpulkan data merupakan aspek krusial dalam penyelesaian masalah secara ilmiah. Proses ini mencakup dua jenis data utama: data primer dan data sekunder. Setiap jenis data memiliki peran dan metode pengumpulan yang berbeda, dan ada beberapa hal yang harus

diperhatikan selama proses pengumpulan untuk memastikan hasil yang valid dan berguna, beberapa hal yang diperhatikan meliputi:

1. Data Primer

Data primer merupakan informasi yang diperoleh langsung dari survei lapangan melalui proses observasi dan pengukuran secara langsung. Data ini mencakup berbagai aspek seperti kondisi fisik lokasi, karakteristik tanah, serta pengambilan foto-foto yang mendokumentasikan keadaan lokasi perencanaan. Dokumentasi visual dari lokasi ini dapat dilihat pada gambar 3.2 dan 3.3, yang memberikan gambaran lebih jelas tentang situasi di lapangan.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah informasi yang diperoleh dari berbagai sumber literatur untuk mendukung dan melengkapi data primer. Sumber-sumber ini mencakup referensi dari bahan kuliah, buku-buku akademis, serta data yang diperoleh dari instansi terkait yang relevan dengan penelitian atau perencanaan. Data sekunder ini memberikan konteks tambahan dan perbandingan bagi hasil observasi lapangan, serta dapat ditemukan dalam halaman lampiran yang menyertai laporan atau dokumen ini.

Lokasi Kajian

Lokasi yang menjadi objek kajian adalah tembok penahan tanah yang akan direncanakan di Ruas Jalan Nasional Babat - Bojonegoro. Secara spesifik, lokasi ini terletak di Desa Gajah, Kecamatan Baureno, Kabupaten Bojonegoro. Penelitian ini difokuskan pada area tersebut untuk merancang dan menganalisis tembok penahan tanah guna memastikan stabilitas dan keamanan struktur di sepanjang ruas jalan nasional yang menghubungkan Babat dengan Bojonegoro.

Metode Analisis

Setelah data yang diperlukan berhasil dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah mengolah dan menganalisis data tersebut dengan merujuk pada literatur yang relevan. Proses ini melibatkan beberapa langkah penting:

1. Menghitung Stabilitas Tanah Terhadap Gaya Guling dan Geser : - Metode : Gunakan teori perhitungan Rankine untuk mengevaluasi stabilitas tanah. Teori Rankine menyediakan formula untuk menghitung gaya geser dan gaya guling yang bekerja pada dinding penahan tanah berdasarkan kondisi tanah dan desain struktural. Ini membantu dalam menilai apakah dinding penahan tanah cukup stabil untuk menahan tekanan lateral yang dihasilkan oleh tanah.
2. Menghitung Stabilitas Tanah Akibat Daya Dukung Tanah : - Metode : Terapkan teori perhitungan Terzaghi untuk menghitung daya dukung tanah. Teori Terzaghi memungkinkan perhitungan kapasitas daya dukung tanah yang mendukung struktur, seperti dinding penahan tanah, berdasarkan parameter tanah seperti kohesi, sudut gesek, dan berat jenis tanah. Ini penting untuk memastikan bahwa

tanah di bawah dinding penahan mampu mendukung beban yang diteruskan oleh struktur.

3. Menghitung Penulangan pada Tembok Penahan Tanah : -Metode : Lakukan perhitungan penulangan untuk menentukan kebutuhan tulangan pada tembok penahan tanah. Ini melibatkan analisis beban yang bekerja pada dinding dan memastikan bahwa tulangan yang digunakan, baik vertikal maupun horizontal, cukup kuat untuk menahan beban tersebut. Penulangan harus dirancang sesuai dengan beban momen dan geser yang dihasilkan dalam dinding.

Proses analisis ini memastikan bahwa dinding penahan tanah dirancang dengan benar, mengingat semua faktor yang mempengaruhi stabilitas dan kekuatan strukturalnya. Dengan mengacu pada teori yang relevan dan data yang diperoleh dari lapangan, dapat dilakukan evaluasi yang akurat dan pembuatan keputusan yang tepat dalam perancangan dan perbaikan tembok penahan tanah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Dari hasil penafsiran, spesifikasi dinding penahan tanah adalah sebagai berikut:

- Ketinggian Total (H) : 5 meter. Ini merupakan tinggi keseluruhan dari dinding penahan tanah dari dasar hingga puncak, mencakup seluruh struktur penahan tanah.
- Tinggi Dinding ($H_1 + H_2 + H_3$) : 4,2 meter. Tinggi dinding penahan tanah terdiri dari tiga bagian yang jika dijumlahkan mencapai total 4,2 meter. Pembagian tinggi ini memungkinkan untuk penyesuaian desain dan konstruksi yang lebih baik.
- Tebal Dinding (B_2) : 40 cm. Ketebalan dinding vertikal ini penting untuk menahan tekanan tanah yang bekerja pada dinding. Ketebalan ini harus cukup untuk memastikan stabilitas dan kekuatan struktural dinding penahan.
- Lebar Plat Kaki (B) : 3,5 meter. Plat kaki adalah bagian bawah dinding penahan yang berfungsi untuk menstabilkan dinding dan memastikan distribusi beban yang merata ke tanah di bawahnya. Lebar plat kaki yang memadai mencegah pergeseran dan meningkatkan stabilitas.
- Tebal Plat Kaki (H_4) : 80 cm. Ketebalan plat kaki ini memastikan bahwa fondasi cukup kuat untuk mendukung dinding penahan tanah. Ketebalan ini penting untuk menghindari deformasi atau kerusakan akibat beban yang diterima. Dimensi-dimensi ini dirancang untuk memastikan bahwa dinding penahan tanah mampu menahan beban dan tekanan tanah dengan aman dan efektif.

Data Tanah

Untuk merancang dinding penahan tanah, penting untuk mengumpulkan data tanah yang akurat dari lokasi lapangan. Penelitian ini menggunakan data tanah dari daerah Kalongan, Desa Gajah, Kecamatan Baureno, Kabupaten Bojonegoro. Kondisi geologi tanah di lokasi

ini dikategorikan sebagai tanah lempung, yang merupakan jenis tanah dengan kohesi. Parameter tanah yang perlu diketahui untuk perencanaan dinding penahan tanah meliputi:

Tabel 1. Hasil Analisis Volumetri

Kedalaman (m)	Deskripsi Tanah	Keterangan
0,5 - 1,0	Lapisan Tanah Lempung Berlanau Warna Coklat	$\gamma_t = 3,089 \text{ t/m}^3$
		$W_c = 38,94 \%$
		$G_s = 2,767$
2,5 - 3,0	Lapisan Tanah Lempung Berlanau Warna Coklat	$\gamma_t = 3,514 \text{ t/m}^3$
		$W_c = 32,08 \%$
		$G_s = 2,849$
4,5 - 5,0	Lapisan Tanah Psir Berlanau Berlempung Warna Coklat	$\gamma_t = 2,894 \text{ t/m}^3$
		$W_c = 33,36 \%$
		$G_s = 2,890$

Setiap lapisan tanah memiliki karakteristik unik yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan dan desain konstruksi, terutama untuk memastikan stabilitas dan keselamatan struktur seperti dinding penahan tanah.

Tabel 1. Hasil Analisis Triaxial

Kedalaman (m)	Bacaan	
	ϕ°	C kg/cm ²
-1,00	12,43	0,212
-3,00	30,37	0,038
-5,00	28,20	0,042

Perhitungan Momen Penahan pada Tembok Penahan Tanah

Perhitungan Perencanaan tembok penahan tanah dengan tipe kantilever untuk mencegah bila terjadinya kelongsoran. Ukuran yang digunakan pada perencanaan tembok penahan tanah sepanjang 20 meter mempunyai tinggi sebesar 5 meter dan tapak kaki selebar 3,5 meter.

Berat

Volume Tanah

$$\begin{aligned} \gamma_{t1} &= 30.30 && \text{kN/m}^3 \\ \gamma_{t2} &= 34.46 && \text{kN/m}^3 \\ \gamma_{t3} &= 18.57 && \text{kN/m}^3 \end{aligned}$$

Kohesi

Tanah

$$\begin{aligned} c_1 &= 0.212 && \text{kN/m}^2 \\ c_2 &= 0.038 && \text{kN/m}^2 \\ c_3 &= 0.042 && \text{kN/m}^2 \end{aligned}$$

Sudut

Geser

$$\phi_1 = 12.43^\circ$$

$$\begin{aligned}\phi_2 &= 30.37 && \circ \\ \phi_3 &= 28.20 && \circ\end{aligned}$$

Tinggi TPT

$$\begin{aligned}H &= 5.00 && \text{m} \\ H_1 &= 1.00 && \text{m} \\ H_2 &= 2.00 && \text{m} \\ H_3 &= 1.20 && \text{m} \\ H_4 &= 0.80 && \text{m}\end{aligned}$$

Lebar TPT

$$\begin{aligned}B &= 3.50 && \text{m} \\ B_1 &= 1.60 && \text{m} \\ B_2 &= 0.40 && \text{m} \\ B_3 &= 0.50 && \text{m} \\ B_4 &= 1.00 && \text{m}\end{aligned}$$

Kedalaman Galian

$$D = 0.80 \quad \text{m}$$

Beban Merata

$$q = 12.00 \quad \text{kN/m}^2$$

Berat Jenis Beton

$$BJ = 24.00 \quad \text{kN/m}^3$$

$$\begin{aligned}W_1 &= \frac{1}{2} \times B_3 \times \frac{(H_1 + H_2)}{2} \times BJ \\ &= 0.50 \times 0.50 \times 3.00 \times 24.00 \\ &= 18.00 \\ &= \text{KN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_2 &= \frac{(H_1 + H_2)}{2} \times B_2 \times BJ \\ &= 3.00 \times 0.40 \times 24.00 \\ &= 28.80 \\ &= \text{KN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_3 &= B \times H_4 \times BJ \\ &= 3.50 \times 0.80 \times 24.00 \\ &= 67.20 \\ &= \text{KN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_4 &= H_1 \times B_1 \times \gamma_{t1} \\ &= 1.00 \times 1.60 \times 30.30 \\ &= 48.48 \\ &= \text{KN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_5 &= H_2 \times B_1 \times \gamma_{t2} \\ &= 2.00 \times 1.60 \times 34.46\end{aligned}$$

$$= 110.26 \\ = \text{KN/m}$$

$$\begin{aligned} W_6 &= H_3 \times B_1 \times \gamma t_3 \\ &= 1.20 \times 1.60 \times 18.57 \\ &= 35.65 \\ &= \text{KN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= q \times B_1 \\ &= 12.00 \times 1.60 \\ &= 19.20 \\ &= \text{KN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{2}{3} \times B_3 + B_4 \\ &= 0.67 \times 0.50 + 1.00 \\ &= 1.33 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_2 &= \frac{1}{2} \times B_2 + B_3 + B_4 \\ &= 0.50 \times 0.40 + 0.50 + 1.00 \\ &= 1.70 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_3 &= \frac{1}{2} \times (B_1+B_2+B_3+B_4) \\ &= 0.50 \times 3.50 \\ &= 1.75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_4 &= \frac{1}{2} \times B_1+B_2+B_3+B_4 \\ &= 0.50 \times 1.60+0.40+0.50+1.00 \\ &= 2.70 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_5 &= \frac{1}{2} \times B_1+B_2+B_3+B_4 \\ &= 0.50 \times 1.60+0.40+0.50+1.00 \\ &= 2.70 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_6 &= \frac{1}{2} \times B_1+B_2+B_3+B_4 \\ &= 0.50 \times 1.60+0.40+0.50+1.00 \\ &= 2.70 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{2} \times B_1+B_2+B_3+B_4 \\ &= 0.50 \times 1.60+0.40+0.50+1.00 \\ &= 2.70 \text{ m} \end{aligned}$$

Sebelum menghitung momen penahan, perlu dilakukan perhitungan beban yang dihasilkan oleh berat sendiri dinding penahan tanah.

M1	= X1	x	W1
	= 1.33	x	18.00
	= 24.00	KN	
M2	= X2	x	W2
	= 1.70	x	28.80
	= 48.96	KN	
M3	= X3	x	W3
	= 1.75	x	67.20
	= 117.60	KN	
M4	= X4	x	W4
	= 2.70	x	48.48
	= 130.89	KN	
M5	= X5	x	W5
	= 2.70	x	110.26
	= 297.70	KN	
M6	= X6	x	W6
	= 2.70	x	35.65
	= 96.27	KN	
M	= X	x	W
	= 2.70	x	19.20
	= 51.84	KN	

Perhitungan Tekanan Tanah Aktif pada Tembok Penahan Tanah

$$\begin{aligned}
 Ka_1 &= \tan^2 (45^\circ - \varphi_1/2) \\
 &= \tan^2 (45^\circ - 12.43 / 2) \\
 &= 0.65
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ka_2 &= \tan^2 (45^\circ - \varphi_2/2) \\
 &= \tan^2 (45^\circ - 30.37 / 2) \\
 &= 0.33
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ka_3 &= \tan^2 (45^\circ - \varphi_3/2) \\
 &= \tan^2 (45^\circ - 28.20 / 2) \\
 &= 0.36
 \end{aligned}$$

q	=	Beban	/	Lebar
	=	MST	/	jalan
	=	120	/	10
	=	12		kN

$$\begin{aligned}\sigma_{v1} &= \gamma t_1 \times H_1 + q \\ &= 30.30 \times 0.00 + 12 \\ &= 12.00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{v2} &= \gamma t_1 \times H_1 + \sigma_{v1} \\ &= 30.30 \times 1.00 + 12 \\ &= 42.30\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{v3} &= \gamma t_2 \times H_2 + \sigma_{v2} \\ &= 34.46 \times 0.00 + 42.30 \\ &= 42.30\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{v4} &= \gamma t_2 \times H_2 + \sigma_{v3} \\ &= 34.46 \times 2.00 + 42.30 \\ &= 111.21\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{v5} &= \gamma t_3 \times H_3 + \sigma_{v4} \\ &= 0.038 \times 0.00 + 111.21 \\ &= 111.21\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{v6} &= \gamma t_3 \times H_3 + \sigma_{v5} \\ &= 30.370 \times 1.20 + 111.21 \\ &= 147.66\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{H1} &= \sigma_{v1} \times K_{a1} - 2c_1 \times \sqrt{K_{a1}} \\ &= 12.00 \times 0.65 - 0.424 \times 0.80 \\ &= 7.41\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{H2} &= \sigma_{v2} \times K_{a1} - 2c_1 \times \sqrt{K_{a1}} \\ &= 42.30 \times 0.65 - 0.424 \times 0.80 \\ &= 26.97\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{H3} &= \sigma_{v3} \times K_{a2} - 2c_2 \times \sqrt{K_{a2}} \\ &= 42.30 \times 0.33 - 0.076 \times 0.57 \\ &= 13.85\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{H4} &= \sigma_{v4} \times K_{a2} - 2c_2 \times \sqrt{K_{a2}} \\ &= 111.21 \times 0.33 - 0.076 \times 0.57 \\ &= 36.48\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{H5} &= \sigma_{v5} \times K_{a3} - 2c_3 \times \sqrt{K_{a3}} \\ &= 111.21 \times 0.36 - 0.084 \times 0.60 \\ &= 39.78\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{H6} &= \sigma_{v6} \times K_{a3} - 2c_3 \times \sqrt{K_{a3}} \\ &= 147.66 \times 0.36 - 0.084 \times 0.60 \\ &= 52.84\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_1 &= \sigma_{H1} \times H_1 \\
 &= 7.41 \times 1.00 \\
 &= 7.41
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_2 &= (\sigma_{H2} - \sigma_{H1}) \times H_1 \times 1/2 \\
 &= 19.57 \times 1.00 \times 0.50 \\
 &= 9.78
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_3 &= \sigma_{H3} \times H_2 \\
 &= 13.85 \times 2.00 \\
 &= 27.69
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_4 &= (\sigma_{H4} - \sigma_{H3}) \times H_2 \times 1/2 \\
 &= 22.63 \times 2.00 \times 0.50 \\
 &= 22.63
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_5 &= \sigma_{H5} \times H_3 \\
 &= 39.78 \times 1.20 \\
 &= 47.74
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_6 &= (\sigma_{H6} - \sigma_{H5}) \times H_3 \times 1/2 \\
 &= 13.05 \times 1.20 \times 0.50 \\
 &= 7.83
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_{a1} &= 1/2 \times H_1 + H_2 + H_3 \\
 &= 0.50 \times 1.00 + 2.00 + 1.20 \\
 &= 3.70
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_{a2} &= 1/3 \times H_1 + H_2 + H_3 \\
 &= 0.33 \times 1.00 + 2.00 + 1.20 \\
 &= 3.53
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_{a3} &= 1/2 \times H_2 + H_3 \\
 &= 0.50 \times 2.00 + 1.20 \\
 &= 2.20
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_{a4} &= 1/3 \times H_2 + H_3
 \end{aligned}$$

$$= 0.33 \times 2.00 + 1.20$$

$$= 1.87$$

$$y$$

$$a_5 = \frac{1}{2} \times H_3$$

$$= 0.50 \times 1.20$$

$$= 0.60$$

$$y$$

$$a_6 = \frac{1}{3} \times H_3$$

$$= 0.33 \times 1.20$$

$$= 0.40$$

Perhitungan Teknan Tanah pasif pada Tembok Penahan Tanah

$$Kp_1 = \tan^2 (45^\circ + \varphi_3/2)$$

$$= \tan^2 (45^\circ + 28.20 / 2)$$

$$= 2.79$$

$$\sigma_{v1} = \gamma t_3 \times D$$

$$= 8.57 \times 0.00$$

$$= 0.00$$

$$\sigma_{v2} = \gamma t_3 \times D$$

$$= 8.57 \times 0.80$$

$$= 6.86$$

$$\sigma_{H1} = \sigma_{v1} \times Kp_1 + 2 \times c_3 \times \sqrt{Kp_1}$$

$$= 0.00 \times 2.79 + 0.084 \times 1.67$$

$$= 0.14$$

$$\sigma_{H2} = \sigma_{v2} \times Kp_1 + 2 \times c_3 \times \sqrt{Kp_1}$$

$$= 6.86 \times 2.79 + 0.084 \times 1.67$$

$$= 19.28$$

$$P_{p1} = \sigma_{H1} \times \frac{D}{0.8}$$

$$= 0.14 \times 0$$

$$= 0.11$$

$$P_p$$

$$\frac{2}{2} = \frac{1}{2} \times \frac{\sigma_{H2} \times D}{19.2}$$

$$= 0.50 \times \frac{8 \times 0.80}{8}$$

$$= 7.71$$

$$\begin{aligned} \sigma_{H \text{ air}} &= \gamma_{\text{air}} \times D \\ &= 10.00 \times 0.8 \\ &= 8.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{p1} &= \frac{1}{3} \times D \\ &= 0.33 \times 0.80 \\ &= 0.27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{\text{air}} &= \frac{1}{3} \times D \\ &= 0.33 \times 0.80 \\ &= 0.27 \end{aligned}$$

Kontrol Stabilitas pada Tembok Penahan Tanah

Jumlah Gaya-Gaya

$$\begin{aligned} \Sigma PH &= \text{Horizontal} \\ \Sigma PH &= \Sigma Pa - \Sigma Pp \\ &= 123.09 - 15.82 \\ &= 107.26 \text{ KN} \end{aligned}$$

Momen yang Mengakibatkan

$$\begin{aligned} \Sigma Mg &= \text{Penggulingan} \\ \Sigma Mg &= \Sigma Ma - \Sigma Mp \\ &= 196.92 - 4.22 \\ &= 192.70 \text{ KN} \end{aligned}$$

Menentukan Stabilitas Terhadap Pengeser

$$\begin{aligned} \therefore R_h &= c \times B + W \tan \delta + P_p \\ \Sigma R_h &= 0.042 \times 3.50 + 327.59 \tan 28.20 + 15.82 \\ &= 191.63 \\ F_{gs} &= \frac{\Sigma R_h}{\Sigma PH} \\ &= \frac{191.63}{107.26} \\ &= 1.79 > 1.50 \text{ OK} \end{aligned}$$

Menentukan Stabilitas Terhadap Pengguling

$$\begin{aligned} F_{gl} &= \frac{\Sigma M_w}{\Sigma M_a} \\ &= \frac{767.26}{196.92} \\ &= 3.90 \geq 1.50 \text{ OK} \end{aligned}$$

Stabilitas Terhadap Keruntuhan Daya Dukung Tanah

$$c_2 = 0.038 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi_2 = 30.37^\circ$$

$$\gamma_2 = 34.46 \text{ kN/m}^3$$

$$X_e = \frac{\sum Mw}{\sum W} - \frac{\sum Ma}{\sum W}$$

$$= \frac{767.26}{327.59} - \frac{196.92}{327.59}$$

$$= \frac{570.33}{327.59}$$

$$= 1.74 \text{ m}$$

Eksentrisitas (e)

$$e = \frac{B}{2} - X_e$$

$$= 1.75 - 1.74$$

$$= 0.01 \text{ m} > \frac{B}{6} = \frac{4}{6} = 0.58$$

Lebar Efektif

$$B' = B - 2e$$

$$= 3.50 - 0.02$$

$$= 3.48 \text{ m}$$

$$A' = B' \times 1$$

$$= 3.48 \times 1$$

$$= 3.48 \text{ m}^2$$

$$q_u = \frac{(2/3 \cdot C_2 \cdot N_c) + (D_f \cdot \gamma_2 \cdot N_q) + (1/2 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma)}{}$$

$$= \frac{(2/3 \times 0,038 \times 32,67) + (1,5 \times 34,46 \times 20,63) + (1/2 \times 34,46 \times 4 \times 25,99)}{}$$

$$= \frac{0.83}{2858.10} + \frac{1066.24}{2858.10} + \frac{1791.03}{2858.10}$$

$$= 2858.10 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{all} = \frac{(1/SF) \times q_u}{}$$

$$= \frac{3 \times 2858.10}{}$$

$$= 8574$$

$$q_{max} = \frac{\sum Ph}{B} \left(1.00 + \frac{6 \times e}{B} \right)$$

$$= \frac{107.26}{3.50} \left(1.00 + \frac{3.50}{3.50} \right)$$

$$= 31.65 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{all}} < q_{\text{max}} = \text{OK}$$

Penulangan Pada Tembok Tanah

Penulangan Vertikal Dinding			
Kuat Tekan Beton, f_c'	Input	29.05	MPa
Kuat Leleh Tulangan, f_y	Input	420	MPa
Modulus Elastisitas Beton, E_c	$4700 * \sqrt{f_c'}$	25354	MPa
Modulus Elastisitas Baja Tulangan, E_s	Input	200000	MPa
β_1	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 29.1) / 7 \leq 0.85$	0.8421	
Lebar Plat Dinding, b	Ditinjau Selebar 1 m	1000	mm
Tebal Plat Dinding, t	Input	400	mm
Diameter Tulangan Utama	Input	25	mm
Jarak Antar Tulangan Utama	Input	100	mm
Jumlah Tulangan Utama	b / s (per meter lebar)	10	bh
As Pasang, A_{st_v2}	$N_{v2} * \pi/4 * d_v^2$	4909	mm ² /m
Spasi Maksimum, s_{max}	$3 * t$ dan 450 mm	450	mm
Cek Spasi Maksimum	$s \leq s_{\text{max}}$	OK	
Selimit Bersih Dinding Depan, Belakang dan Atas, c_{c1}	Input	50	mm
Tebal Selimit Beton ke Tulangan, d'	$c_{c1} + (d_v / 2)$	63	mm
Tebal Efektif Plat, d_t	$t - d'$	337.5	mm
Tinggi Blok Beton, a	$A_s * f_y / (0.85 * f_c' * 1000)$	83.35	mm
β_1	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 28) / 7 \leq 0.85$	0.84	
Lokasi Garis Netral, c	a / β_1	98.97	mm
Regangan Tulangan Tarik, ϵ_s	$(d - c) / c * 0.003$	0.0072	
Faktor Reduksi, ϕ	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$	0.900	
Kapasitas Lentur, M_n	$A_s * f_y * (d - a/2)$	609.89	kN-m/m
Kapasitas Lentur Tereduksi, ϕM_n	$\phi * M_n$	548.90	kN-m/m
Momen Ultimit Pada Dinding Bawah, M_u	Input	495.91	kN-m/m
Cek $\phi M_n > M_u$	$\phi M_n > M_u$	OK	

Kapasitas Geser Dinding dan Penulangan			
Faktor Reduksi, ϕ		0.75	
Geser Ultimit, V_u	Input	340.58	kN/m
Kapasitas Geser Nominal Beton, V_c	$0.17 * f_c^{0.5} * 1000 * d_t$	309.506	kN
Kapasitas Geser Dinding Tereduksi, ϕV_c	ϕV_c	232.130	kN
Cek Keperluan Tulangan Geser Pelat	$V_u > \phi V_c$ (Perlu) dan jika $V_u < \phi V_c$ (Tidak Perlu)	Perlu	
Jika Perlu Maka :			
	$\phi * V_s = V_u - \phi * V_c$	108.454	kN
	$V_s =$	144.605	kN
Diameter Tulangan Geser, d_b	Input	10	mm
Spasi Tulangan Geser Arah Horizontal, H_y	Input	300	mm
Luas Tulangan Geser Arah Horizontal, A_{sv}	$A_{sv} = \pi/4 * d_b^2 * (b / H_y)$	261.799	mm ²
Jarak Tulangan Geser Arah Vertikal, V_x	$V_x = A_{sv} * f_y * d_t / (V_s * 1000)$	256.630	mm
	Dibulatkan	300	mm
Maka Digunakan Tulangan Geser :			
Tulangan Geser Arah V_x		D 10 - 300	mm
Tulangan Geser Arah H_y		D 10 - 300	mm

Penulangan Horizontal Dinding			
Luas Tulangan Minimum, $A_{sh\ req}$	$0.002 * (tebal\ dinding)$	800	mm^2/m
Diameter Tulangan Horizontal, d_h	Input	13	mm
Jarak Antar Tulangan Tekan, S_h	Input	150	mm
Jumlah Tulangan, N_h	b / s (per meter lebar)	7	bh
As Pasang, A_{sh_h}	$N_h * \pi/4 * d_h^2$	885	mm^2/m
Cek Luas Tulangan Minimum	$A_{sh_h} > A_{sh\ req}$	OK	
Penulangan Plat Pondasi			
Kuat Tekan Beton, f_c'	Input	29.05	MPa
Kuat Leleh Tulangan, f_y	Input	420	MPa
Modulus Elastisitas Beton, E_c	$4700 * \sqrt{f_c'}$	25354	MPa
Modulus Elastisitas Baja Tulangan, E_s	Input	200000	MPa
β_1	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 28) / 7 \leq 0.85$	0.8421	
Lebar Plat Pondasi, b	Ditinjau Selebar 1 m	1000	mm
Tebal Plat Pondasi, t_b	Input	800	mm
Diameter Tulangan Utama	Input	16	mm
Jarak Antar Tulangan Utama	Input	100	mm
Jumlah Tulangan Utama	b / s (per meter lebar)	10	bh
As Pasang, A_{st_p2}	$N_{p2} * \pi/4 * d_p^2$	2011	mm^2/m
Spasi Maksimum, S_{max}	$3 * t$ dan 450 mm	450	mm
Cek Spasi Maksimum	$s \leq S_{max}$	OK	
Selimut Bersih Plat Bawah Pondasi, c_{e2}	Input	75	mm
Tebal Selimut Beton ke Tulangan, d'	$c_{e2} + (d_p / 2)$	83	mm
Tebal Efektif Plat, d_t	$t - d'$	717.0	mm
Tinggi Blok Beton, a	$A_s * f_y / (0.85 * f_c' * 1000)$	34.14	mm
β_1	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 28) / 7 \leq 0.85$	0.84	
Lokasi Garis Netral, c	a / β_1	40.54	mm
Regangan Tulangan Tarik, ϵ_s	$(d - c) / c * 0.003$	0.0501	
Faktor Reduksi, ϕ	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$	0.900	
Kapasitas Lentur, M_n	$A_s * f_y * (d - a/2)$	591.06	kN-m/m
Kapasitas Lentur Tereduksi, ϕM_n	$\phi * M_n$	531.96	kN-m/m
Momen Ultimit Pada Dinding Bawah, M_u	Input	495.91	kN-m/m
Cek $\phi M_n > M_u$	$\phi M_n > M_u$	OK	
Kapasitas Geser Plat dan Penulangan			
Faktor Reduksi, ϕ		0.75	
Geser Ultimit, V_u	Input	340.58	kN/m
Kapasitas Geser Nominal Beton, V_c	$0.17 * f_c^{0.5} * 1000 * dt$	657.528	kN
Kapasitas Geser Plat Tereduksi, ϕV_c	ϕV_c	493.146	kN
Cek Keperluan Tulangan Geser Pelat	$V_u > \phi V_c$ (Perlu) dan jika $V_u < \phi V_c$ (Tidak Perlu)	Tidak Perlu	
Jika Perlu Maka :			
	$\phi * V_s = V_u - \phi * V_c$	-	kN
	$V_s =$	170.292	kN
Diameter Tulangan Geser, d_b	Input	0	mm
Spasi Tulangan Geser Arah Horizontal, H_y	Input	0	mm
Luas Tulangan Geser Arah Horizontal, A_{sv}	$A_{sv} = \pi/4 * d_b^2 * (b / H_y)$	-	mm^2
Jarak Tulangan Geser Arah Vertikal, V_x	$V_x = A_{sv} * f_y * dt / (V_s * 1000)$	-	mm
	Dibulatkan	0	mm
Maka Digunakan Tulangan Geser :			
Tulangan Geser Arah V_x		D 0 - 0	mm
Tulangan Geser Arah H_y		D 0 - 0	mm

5. KESIMPULAN

Dalam perencanaan tembok penahan tanah ini, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Dalam perencanaan tembok penahan tanah tipe kantilever, sangat penting untuk mempertimbangkan dimensi yang sesuai dengan interpretasi teknis yang telah ditetapkan. Berdasarkan hasil perhitungan, tinggi dinding penahan tanah dirancang setinggi 4,2 meter dengan ketebalan dinding atas 40 cm, lebar dinding bawah 90 cm, dan lebar pelat dasar 3,5 meter dengan ketebalan 80 cm. Selain itu, galian tanah direncanakan sedalam 80 cm sehingga total ketinggian dari permukaan tanah galian menjadi 5 meter dengan panjang total Panjang mencapai 20 meter.
2. Tembok penahan tanah setinggi 5 meter dinyatakan stabil terhadap gaya geser dengan nilai perhitungan 1,79, yang lebih besar dari 1,5, menunjukkan bahwa struktur tersebut aman. Stabilitas terhadap gaya guling juga memenuhi standar keamanan dengan nilai 3,90, yang juga lebih besar dari 1,5. Dengan kohesi tanah sebesar 0,038, sudut geser tanah $30,37^\circ$, dan berat volume tanah 767,26, kapasitas daya dukung tanah yang dihitung menggunakan metode Terzaghi adalah 30,38, yang lebih kecil dari 3, menunjukkan bahwa tembok penahan tanah tersebut aman.
3. Dari hasil perhitungan dan interpretasi dimensi tembok penahan tanah serta berat volume tanah tersebut, perencanaan dapat dilanjutkan dengan perhitungan penulangan. Penulangan meliputi tulangan utama pada dinding vertikal menggunakan besi utama berdiameter D25 dengan jarak antar tulangan 100 mm, dan tulangan bagi pada dinding vertikal menggunakan besi bagi D13 dengan jarak 150 mm. Untuk tulangan utama pada pelat kaki, digunakan tulangan utama berdiameter D16 dengan jarak 100 mm, serta tulangan bagi pada pelat kaki menggunakan besi D13 dengan jarak 150 mm.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Andriyani, B. C. D. (2019). Studi Perencanaan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever Pada Lereng Jalan Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember (Doctoral dissertation, ITN Malang).
- Bahalwan, A. H. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Pada Lereng Analysis Of Slope Stability With Strengthening Of Geotechstiles In Slopes (Studi Kasus Pada Jalan Tol Semarang Solo Sta. 2+ 200).
- Septiani, V., Suryan, V., & Andeni, A. N. (2024). Analisa Perancangan Dinding Penahan Tanah terhadap Stabilitas dan Daya Dukung Tanah Bandara. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 6(4), 1345-1354.
- Hasib, S. A. A. (2020). Ta: Analisis Dinding Penahan Tanah Dengan Dan Tanpa Tiang Bor (Studi Kasus: Proyek Pabrik Kosmetik Bojongsoang, Bandung) (Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Nasional Bandung).
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2011. *Analiss & Perancangan Fondasi Bagian I*. Yogyakarta:Gadjah Mada University Press.