

Pengaruh Perubahan Elevasi Muka Air Sungai Terhadap Stabilitas Dinding Penahan Tanah (DPT) Kantilever Pada Revitalisasi Aliran Anak Sungai Asam Kec. Kota Baru

Risky Dwi Al Fikri¹, Dila Oktarise Dwina², Nurza Purwa Abiyoga³

¹Universitas Jambi, ²Universitas Jambi, ³Universitas Jambi

riskydwifick@gmail.com, diladwina@unja.ac.id, abiyoga@unja.ac.id

Abstrak

Revitalisasi Sungai pada daerah anak Sungai yang dangkal meliputi penggalian dan pelebaran sungai menjadi fokus utama untuk mengatasi banjir. Disepanjang aliran anak Sungai asam berdiri banyak bangunan menyebabkan lahan untuk pelebaran Sungai menjadi kecil sehingga rawan terjadi longsor jika tidak diberi perkuatan pada lereng sungai. Penelitian ini berfokuskan untuk mendesain perkuatan lereng Sungai menggunakan dinding penahan tanah kantilever dengan memperhitungkan pengaruh elevasi muka air Sungai dengan empat kondisi. Hasil penelitian didapatkan nilai faktor keamanan yang berbeda-beda dari setiap ketinggian elevasi muka air sungai, pada elevasi air normal, elevasi air banjir, elevasi air setelah banjir dan pada elevasi air surut. Dapat disimpulkan dalam desain awal dinding penahan tanah kantilever pada lereng Sungai perlu memperhitungkan fluktuasi muka air Sungai karna berpengaruh terhadap dimensi rencana dan nilai faktor keamanan.

Kata kunci— Stabilitas Lereng, Dinding Penahan Tanah, Faktor Keamanan, Ketinggian Air, GeoStudio

Abstract

River revitalization in shallow tributary areas includes excavation and river widening as the main focus to overcome flooding. Along the flow of the acidic tributary, many buildings stand causing the land for widening the river to be small so that it is prone to landslides if not reinforced on the river slope. This study focuses on designing river slope reinforcement using cantilever retaining walls by taking into account the influence of river water level elevation with four conditions. The results of the study obtained different safety factor values for each height of river water level elevation, at normal water level, flood water elevation, water elevation after flood and at low tide elevation. It can be concluded that in the initial design of cantilever retaining walls on river slopes, it is necessary to take into account fluctuations in river water levels because they affect the planned dimensions and safety factor values.

Keywords— Slope Stability, Retaining Walls, Safety Factor, Water Level, GeoStudio

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kerusakan pada anak sungai bisa menjadi penyebab utama banjir, terutama di wilayah yang mengalami pendangkalan dan banyak pembangunan di sekitarnya. Ketika anak sungai semakin pendek akibat sedimentasi, erosi, atau sampah yang menumpuk, kemampuannya untuk menampung air berkurang. Saat hujan deras terjadi, air tidak bisa mengalir lancar dan tumpah ke permukiman serta area sekitarnya. Selain itu, kerusakan dinding sungai dan longsor tanah di sepanjang bantaran sungai juga mempercepat terjadinya banjir.

Masalah yang terjadi di wilayah anak sungai Asam, yang terletak di Jalan Gado-Gado Suka Karya - Jalan Sunan Drajat, Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi, menjadi pokok pembahasan dalam penelitian ini. Saat ini, kondisi anak sungai mengalami pendangkalan yang menyebabkan banjir saat hujan deras. Oleh karena itu, perlu dilakukan revitalisasi sungai meliputi pengerukan dan pembuatan revetment. Namun, di beberapa titik diperlukan pembuatan dinding penahan tanah di daerah lereng. Pembuatan dinding penahan tanah menjadi fokus utama setelah dilakukan tinjauan ulang, karena lahan yang tersedia terbatas dan banyak bangunan yang ada di kedua sisi saluran.

Berdasarkan masalah tersebut, jenis dinding penahan tanah yang cocok adalah dinding penahan tanah tipe kantilever.

Hal ini dikarenakan keterbatasan lahan yang tersedia untuk revitalisasi dan perlunya perkuatan lereng akibat adanya bangunan di sekitar aliran sungai. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk mendesain ulang dinding penahan tanah tipe kantilever di lokasi tersebut, sesuai dengan kondisi lereng sungai yang akan direvitalisasi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan elevasi muka air terhadap desain dinding penahan tanah kantilever yang digunakan pada Lokasi *existing* lereng aliran anak sungai asam.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui pengaruh perubahan muka air terhadap dimensi dinding penahan tanah kantilever;
- 2) Mengetahui faktor keamanan pada berbagai ketinggian muka air setelah pemasangan dinding penahan tanah kantilever.
- 3) Mengetahui kebutuhan penulangan dinding penahan tanah kantilever.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menjaga stabilitas tanah pada daerah bantaran sungai;
- 2) Sebagai panduan teknis dalam perancangan struktur dinding penahan tanah yang efektif dan sesuai dengan kondisi geoteknis suatu lokasi;
- 3) Sebagai bahan masukan perencanaan kepada instansi terkait:

E. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Tidak memperhitungkan biaya dan waktu;
- 2) Penelitian ini menggunakan analisis *limit equilibrium method*;
- 3) Tidak meninjau metode pelaksanaan pekerjaan dilapangan;
- 4) Penelitian dilakukan pada aliran *cross section* SA223 – SA229A:

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah

Tanah adalah bahan yang terbuat dari butiran mineral padat yang tidak saling melekat secara kimia atau membentuk struktur bersama, serta mengandung zat organik yang telah terurai. Selain itu, tanah juga mengandung air dan gas yang berada di dalam celah-celah antara butiran-butiran padatnya.

B. Klasifikasi tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah cara untuk mengelompokkan berbagai jenis tanah yang memiliki sifat mirip ke dalam kategori dan subkategori berdasarkan fungsinya. Sistem ini memudahkan dalam menyampaikan karakteristik umum tanah yang beragam tanpa perlu menjelaskan secara terlalu rinci. Meskipun ada banyak sistem klasifikasi tanah yang bisa dipakai, tidak ada sistem yang mampu menjelaskan semua kemungkinan penggunaannya secara lengkap, karena sifat tanah sangat beragam sebagaimana dalam [1].

Saat ini, dua sistem klasifikasi tanah yang lebih lanjut digunakan secara luas oleh insinyur geoteknik, yaitu sistem American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) dan Unified Soil Classification System (USCS). Kedua sistem ini

mempertimbangkan distribusi ukuran partikel selain batas Atterberg, sehingga meningkatkan kemampuan mereka dalam mengklasifikasikan tanah sesuai kebutuhan Teknik. sebagaimana dalam [1].

C. Tipe Dinding Penahan Tanah

Berikut adalah beberapa tipe dinding penahan tanah yang umum digunakan:

- 1) *Dinding Gravitasi (Gravity Wall)*: Dinding ini umumnya dibuat dari beton tanpa tulangan atau dari batu bata yang dipasang. Kekuatan dan ketangguhan bangunan tergantung pada berat dinding itu sendiri.
- 2) *Dinding Kantilever (Cantilever Wall)*: Dinding kantilever dibuat dari beton bertulang yang terdiri dari dinding vertikal dan bagian dasar lantai. Kedua bagian tersebut berfungsi sebagai balok atau plat kantilever. Kestabilan bangunan didapat dari berat dinding penahan sendiri serta berat tanah di atas bagian bawah dasar lantai. Terdapat tiga komponen struktur yang berperan sebagai kantilever, yaitu dinding vertikal, bagian dasar lantai, dan ujung kaki dasar lantai.
- 3) *Dinding Counterfort (Counterfort Wall)*: Kontrafort berperan sebagai pengait yang menarik dinding vertikal dan ditempatkan di bagian atas tanah timbunan dengan jarak tertentu. Jika tekanan tanah aktif pada dinding vertikal terlalu besar, maka dinding vertikal dan bagian bawahnya (tumit) harus digabungkan menggunakan kontrafort.
- 4) *Dinding Butters (Butters Wall)*: ontrafort berfungsi sebagai penahan yang menarik dinding vertikal dan dipasang di bagian atas tanah yang ditimbun dengan jarak tertentu. Jika tekanan dari tanah yang menekan dinding vertikal terlalu besar, maka dinding vertikal dan bagian bawahnya yaitu tumit harus digabungkan menggunakan kontrafort.

D. Tekanan Tanah Lateral

Secara umum, konstruksi penahan tanah digunakan dalam bidang teknik pondasi. Konstruksi penahan tanah ini biasanya berfungsi untuk menghalangi massa tanah dengan talud vertikal. Untuk merencanakan konstruksi penahan tanah secara tepat, kita harus mengetahui gaya horizontal yang bekerja antara konstruksi penahan dan massa tanah yang ditahan. Gaya horizontal ini disebabkan oleh tekanan tanah yang arahnya mendatar. Berikut ini beberapa jenis tekanan tanah lateral yang termasuk dalam kategori tersebut:

- 1) *Tekanan Tanah Pasif*: Tekanan tanah pasif adalah tekanan yang timbul di sisi tanah secara lateral ketika tanah bergerak akibat dorongan gaya dari luar. Hal ini terjadi pada tanah yang berada di bawah dan di samping pondasi telapak, atau di belakang dinding penahan tanah yang miring ke arah timbunan yang ada di belakangnya.

Rumus koefisien tanah pasif

$$Kp = \tan\left(45 \frac{\phi}{2}\right)$$

Rumus tekanan tanah lateral pasif

$$Pp = \frac{1}{2} \gamma' \cdot H_4^2 Kp$$

Tekanan tanah pasif pada tanah kohesif

$$Pp = 2C \cdot H \cdot \sqrt{Kp}$$

2) *Tekanan Tanah Aktif*: Tekanan tanah aktif berpengaruh pada bangunan yang tertekan oleh tanah, misalnya pada bagian belakang dinding penahan tanah. Jika dinding tertekan hingga mendorong ke luar karena tekanan tanah dari belakang, maka kondisi tersebut disebut tekanan tanah aktif. Besarnya tekanan tanah tersebut dapat dihitung berdasarkan teori Rankine seperti berikut:

Rumus koefisien tekanan tanah aktif pada tanah miring

$$Ka = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi)}}{\cos\beta + \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi)}}$$

Rumus tekanan tanah lateral aktif

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma \cdot Ka \cdot H_1^2$$

Tekanan tanah aktif pada tanah kohesif

$$Pa = -2C \cdot H_2 \cdot \sqrt{Ka}$$

E. Stabilitas Guling

Berdasarkan SNI 8460 - 2017, faktor stabilitas guling ditentukan sebesar 2, sehingga rumus yang diterapkan adalah sebagai berikut :

$$FS = \frac{\sum MR}{\sum Mo} \geq 2$$

$$\sum Mo = Ph \left(\frac{H'}{3}\right)$$

$$Ph = Pa \cdot \cos\phi$$

$$Pv = Pa \cdot \sin\phi$$

F. Stabilitas Geser

Faktor stabilitas geser ditetapkan sebesar 1,5, sehingga rumus yang diterapkan adalah sebagai berikut:

$$FS = \frac{(\sum V) \tan(K_1 \phi'_2) + BK_2 C'_2 + Pp}{Pa \cos\alpha} > 1,5$$

G. Stabilitas Daya Dukung

Kemampuan daya dukung tanah maksimum tanah kohesi dapat ditentukan dengan teori Terzaqhi seperti yang dijelaskan dibawah ini :

$$qu = cN_c + Df\gamma N_q + 0,5\gamma B N_\gamma$$

$$q = \frac{\sum V}{B'}$$

$$B' = B - 2 \cdot e$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum MR - \sum Mo}{\sum V}$$

$$FS = \frac{qu}{q} > 3$$

H. GeoStudio

Geostudio adalah software yang diciptakan untuk menganalisis aspek geoteknik dan hidrogeologi, yang terus berkembang untuk memenuhi tuntutan di sektor

teknik sipil dan geoteknik modern. Salah satu bagian dari rangkaian lengkap produk Geostudio adalah SLOPE/W. Pendekatan ini memberikan kesempatan untuk melakukan berbagai jenis analisis yang lebih beragam dan rumit, termasuk penggunaan tekanan dan tegangan air pori yang dihitung dengan teknik elemen hingga dalam evaluasi stabilitas.

Salah satu metode irisan yang tersedia dalam geostudio adalah metode irisan morgenstren price, metode ini merupakan salah satu pendekatan yang berdasar pada prinsip keseimbangan batas, yang pertama kali diperkenalkan oleh Morgenstern dan Price pada tahun 1965. Dalam analisisnya, metode ini mempertimbangkan keseimbangan antara gaya normal dan momen yang berpengaruh pada setiap irisan di sepanjang bidang kelongsoran lereng.

I. Penulangan Dinding Penahan Tanah

Beton memiliki daya tekan yang kuat, namun kurang tahan terhadap gaya tarik. Oleh karena itu, penggunaan penulangan menjadi hal yang krusial agar struktur beton mampu berfungsi dengan lebih aman dan efektif, dalam penulangan dinding penahan tanah kantilever perhitungan untuk penulangan dibagi menjadi dua yaitu:

1) Penulangan Dinding Vertikal:

- Perhitungan gaya lintang dan gaya momen

$$Mu = \left(\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^3 \cdot Ka \cdot DL\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot q \cdot H^2 \cdot Ka \cdot LL\right)$$

Gaya lintang:

$$Vu = \left(\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot Ka \cdot DL\right) + (q \cdot H \cdot Ka \cdot LL)$$

- Perhitungan kebutuhan tulangan geser :

$$Vc = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'c'}\right) \cdot bw \cdot d$$

$$Vc = \phi \cdot Vc > Vu$$

$$= 0,75 Vc > Vu \text{ (tidak memerlukan tulangan geser)}$$

Kebutuhan tulangan geser:

$$\left(-\frac{1}{2} \cdot 0,85 \cdot f'c' \cdot b\right) \cdot a_2 + 0,85 \cdot f'c' \cdot b \cdot d \cdot a - Mu \cdot 10^6 / \phi = 0$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2a}$$

- Perhitungan kebutuhan tulangan lentur

Tinggi efektif:

$$d = h - ts - \frac{\phi tul}{2}$$

Luas tulangan lentur:

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 f'c}$$

Menghitung rasio tulangan:

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

Luas tulangan perlu:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

Spasi maksimal:

$$S = 3h$$

Luas tulangan terpasang:

$$A_s = \frac{1000}{S} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

– Perhitungan tulangan susut

$$d = h - ts - \phi_{tul} - \frac{\phi_{susut}}{2}$$

$$S = \frac{1000}{A_s} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

2) *Penulangan plat kaki:*

– Perhitungan gaya lintang dan gaya momen

Momen:

Pada kaki depan dinding:

$$Mu = \left(-(q1) - (-qmin) \cdot \frac{1}{2} \cdot b1 \cdot \frac{2}{3} \cdot b1 \right) + \left(-q2 \cdot b1 \cdot \frac{1}{2} \cdot b1 \right) + \left(b1 \cdot h1 \cdot \gamma b \cdot \frac{1}{2} \cdot b1 \right)$$

Pada kaki belakang dinding:

$$Mu = \left((q1 - qmin) \cdot \frac{1}{2} \cdot b2 \cdot \frac{1}{3} \cdot b2 \right) + \left(-qmin \cdot b2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b2 \right) + \left(-b2 \cdot h1 \cdot \gamma b \cdot \frac{1}{2} \cdot b2 \cdot DL \right) + \left(-(b \cdot \gamma)(LL \cdot \gamma) \cdot DL \cdot b2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b2 \right) + \left(-q \cdot LL \cdot b2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b1 \right)$$

Gaya lintang terfaktor

Pada kaki depan dinding:

$$Vu = -(qmaks - qmin) \cdot \frac{1}{2} \cdot b1 + (-q2 \cdot b1) + (b1 \cdot h1 \cdot fc \cdot DL)$$

Pada kaki belakang dinding:

$$Vu = -(q1 - qmin) \cdot \frac{1}{2} \cdot b2 + (-qmin \cdot b2) + (b2 \cdot h1 \cdot fc \cdot DL) + (-(b \cdot \gamma) + (LL \cdot \gamma) \cdot DL \cdot b2) + (-(q \cdot LL \cdot b2))$$

– Perhitungan kebutuhan tulangan geser :

$$Vc = \left(\frac{1}{6} \sqrt{fc'} \right) \cdot bw \cdot d$$

$$Vc = \phi \cdot Vc > Vu$$

$$= 0,75 \cdot Vc > Vu \text{ (tidak memerlukan tulangan geser)}$$

Kebutuhan tulangan geser :

$$\left(-\frac{1}{2} \cdot 0,85 \cdot fc' \cdot b \right) \cdot a2 + 0,85 \cdot fc' \cdot b \cdot d \cdot a - Mu \cdot 10^6 / \phi = 0$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2a}$$

– Perhitungan kebutuhan tulangan lentur

Tinggi efektif :

$$d = h - ts - \frac{\phi_{tul}}{2}$$

Luas tulangan lentur :

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2}$$

$$m = \frac{fy}{0,85fc}$$

Menghitung rasio tulangan :

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

Luas tulangan perlu :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

Spasi maksimal :

$$S = 3h$$

Luas tulangan terpasang :

$$A_s = \frac{1000}{S} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

– Perhitungan tulangan susut

$$d = h - ts - \phi_{tul} - \frac{\phi_{susut}}{2}$$

$$S = \frac{1000}{A_s} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

III. METODE PENELITIAN

A. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini adalah menganalisis faktor keamanan yang diberi perkuatan dinding penahan tanah kantilever menggunakan metode kesetimbangan gaya (*Limite Equilibrium Method*) dengan memanfaatkan program GeoStudio. Program ini dirancang untuk memodelkan bentuk penampang dinding penahan tanah yang cocok dengan kondisi eksisting dan menganalisis faktor keamanan terhadap stabilitas global, kemudian dilakukan perhitungan manual terhadap stabilitas dinding penahan tanah kantilever juga menghitung kebutuhan tulangan yang dibutuhkan sesuai dimensi dinding penahan tanah kantilever yang dalamnya.

B. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian desain dinding penahan tanah ini dilakukan pada daerah revitalisasi anak Sungai asam yang terletak di Jl. Gado-Gado Suka Karya – Jl. Sunan Drajat, Kec. Kota Baru, Kota Jambi. dan rata kanan.

C. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini merupakan aspek-aspek penting yang akan dianalisis. Berikut variabel penelitian yang digunakan :

- Data *standard penetration test* (SPT)
- Data laboratorium
- Gambar kerja

D. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data terbagi menjadi data primer dan data sekunder, pada penelitian ini data yang digunakan ialah data sekunder adapun data yang didapat yaitu:

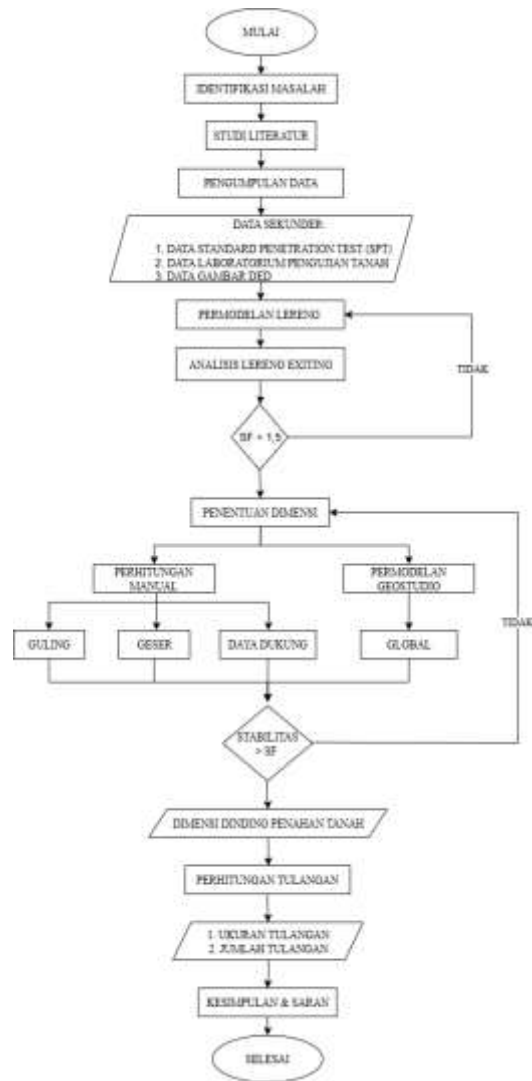
- Data pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) diperoleh dari pihak Balai Wilayah Sungai Sumatera VI Jambi:
- Data laboratorium diperoleh dari pihak Balai Wilayah Sungai Sumatera IV Jambi:
- Data gambar DED diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sumatera IV Jambi:

E. Teknik Analisis Data

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang dirancang secara sistematis untuk mencapai tujuan penelitian. Adapun tahapan-tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut.

- Tahap pertama: penulis melakukan identifikasi masalah. Tahap ini bertujuan untuk memahami dan merumuskan masalah yang ada agar lebih terarah dan terstruktur.
- Tahap Kedua: penulis melakukan kajian pustaka dan studi literatur yang berfokus pada masalah yang telah diidentifikasi, untuk memperoleh landasan teori serta mengaitkan topik penelitian dengan penelitian yang akan dilakukan.
- Tahap Ketiga: penulis melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk menganalisis model atau desain dinding penahan tanah yang aman. Data yang digunakan dalam penelitian berupa data sekunder yang diperoleh dari pihak Balai Wilayah Sungai Sumatera IV Jambi.
- Tahap Keempat: penulis melakukan analisis dan permodelan desain dinding penahan tanah.

E. Skema Penelitian

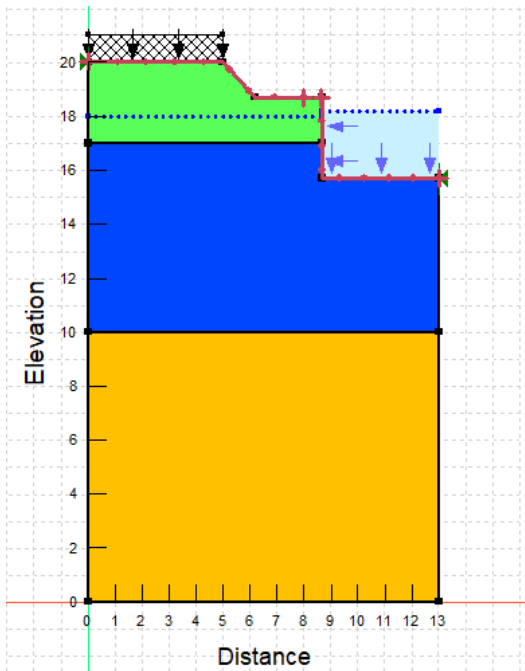


Gambar 1. Skema penelitian

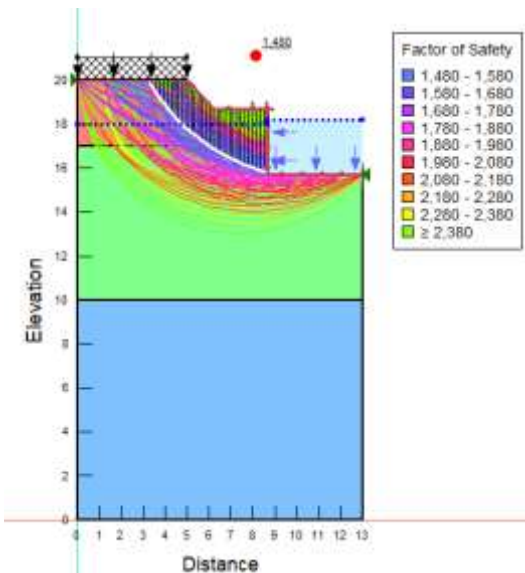
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil analisis lereng tanpa perkuatan

Permodelan analisis lereng exiting dilakukan pada *cross section* SA227 yang bertujuan untuk mengetahui nilai angka keamanan pada lereng *exiting* menggunakan program GeoStudio. Permodelan lereng dilakukan secara dua dimensi dengan menginput beban yang bekerja diatas lereng dan parameter tanah yang didapatkan.



Gambar 2. Permodelan Lereng Exiting pada GeoStudio



Gambar 3. Hasil Permodelan Lereng Exiting pada GeoStudio

Setelah dilakukan permodelan pada lereng *exiting* dengan beban dan parameter tanah yang digunakan didapatkan *safety factor* lereng *exiting* sebesar 1,480. Berdasarkan SNI 8460-2017 dapat diartikan lereng *exiting* perlu diberikan perkuatan agar lereng tidak runtuh pada saat diberi beban yang lebih besar dikarenakan *safety factor* lereng kurang dari 1,5, maka dari itu digunakan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever untuk memperkuat lereng *exiting*.

B. Perhitungan momen pada DPT

Pada tahap awal setelah dilakukan penentuan dimensi dinding penahan tanah kantilever maka perlu melakukan

perhitungan momen yang bekerja pada dinding penahan tanah maupun yang mempengaruhi dinding penahan tanah.

TABEL I
SKETSA PERMODELAN MUKA AIR PADA DINDING PENAHAN TANAH KANTILEVER

Kondisi Normal	Kondisi Banjir
Kondisi Setelah Banjir	Kondisi Surut

Berikut salah satu perhitungan momen yang bekerja pada kondisi muka air normal.

Perhitungan Tekanan Aktif & Pasif (Kondisi Normal)
Perhitungan koefisien tanah aktif lapisan tanah 1

$$K_a = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi)}}{\cos\beta + \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi)}}$$

$$= \cos 20 \frac{\cos 20 - \sqrt{(\cos^2 20 - \cos^2 17,7)}}{\cos 20 + \sqrt{(\cos^2 20 - \cos^2 17,7)}}$$

$$= 0,882$$

Perhitungan koefisien tanah aktif lapisan tanah 2

$$K_a = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi)}}{\cos\beta + \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi)}}$$

$$= \cos 20 \frac{\cos 20 - \sqrt{(\cos^2 20 - \cos^2 15,42)}}{\cos 20 + \sqrt{(\cos^2 20 - \cos^2 15,42)}}$$

$$= 0,884$$

Perhitungan Tekanan Aktif (kondisi normal)

Keterangan :

H_1 : 1,2 m H_4 : 1 m

$$H_2 : 0,8 \text{ m} \quad H_5 : 2,5 \text{ m}$$

$$H_3 : 2,4 \text{ m} \quad H_6 : 3,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Pa1 &= \frac{1}{2} \gamma \cdot Ka \cdot H_1^2 \\ &= \frac{1}{2} 16,85 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,882 \cdot 1,2 \text{ m}^2 \\ &= 10,703 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa2 &= -2C \cdot H_1 \cdot \sqrt{Ka} \\ &= -2(11,18 \text{ kN/m}^2) \cdot 1,2 \text{ m} \cdot \sqrt{0,882} \\ &= -25,202 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa3 &= q \cdot Ka \cdot H_1 \\ &= 10 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,882 \cdot 1,2 \text{ m} \\ &= 10,586 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa4 &= \gamma \cdot Ka \cdot H_1 \cdot H_2 \\ &= 16,85 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,882 \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} \\ &= 14,270 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa5 &= \frac{1}{2} (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot Ka \cdot H_2^2 \\ &= \frac{1}{2} 8,873 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,882 \cdot 0,8^2 \text{ m} \\ &= 2,505 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa6 &= -2C \cdot H_2 \cdot \sqrt{Ka} \\ &= -2(11,18 \text{ kN/m}^2) \cdot 0,8 \text{ m} \cdot \sqrt{0,882} \\ &= -16,801 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa7 &= q \cdot Ka \cdot H_2 \\ &= 10 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,882 \cdot 0,8 \text{ m} \\ &= 7,057 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa8 &= (\gamma \cdot Ka_1 \cdot H_1) \cdot (\gamma_{sat} - \gamma_w \cdot Ka_2 \cdot H_2) H_3 \\ &= (16,85 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,882 \cdot 1,2 \text{ m}) \cdot (8,873 \text{ kN} \\ &\quad \text{m}^3 \cdot 0,884 \cdot 0,8 \text{ m}) 2,4 \text{ m} \\ &= 32,901 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa9 &= \gamma_{sat} - \gamma_w \cdot Ka_2 \cdot H_2 \cdot H_3 \\ &= 8,873 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,884 \cdot 0,8 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m} \\ &= 15,064 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa10 &= \frac{1}{2} \gamma_{sat} - \gamma_w \cdot Ka_2 \cdot H_3^2 \\ &= \frac{1}{2} 8,647 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,884 \cdot 2,4^2 \text{ m} \\ &= 22,024 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa11 &= -2C \cdot H_3 \cdot \sqrt{Ka_2} \\ &= -2(14,91 \text{ kN/m}^2) \cdot 2,4 \text{ m} \cdot \sqrt{0,884} \\ &= -67,304 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa12 &= q \cdot Ka_2 \cdot H_3 \\ &= 10 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,884 \cdot 2,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 21,222 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} Pa13 &= \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H_6^2 \\ &= \frac{1}{2} 9,81 \text{ kN/m}^3 \cdot 3,2^2 \text{ m} \\ &= 50,239 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Perhitungan tekanan horizontal

$$\begin{aligned} Ph &= Pa \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots \\ &= 77,264 \text{ kN/m} \cdot \cos 20 \\ &= 72,605 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pv &= Pa \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots \\ &= 77,264 \text{ kN/m} \cdot \sin 20 \\ &= 13,417 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan tekanan tanah aktif, lalu dilakukan perhitungan tekanan tanah pasif dan momen tekanan tanah pasif sebagai berikut.

Perhitungan Koefisien Tekanan Pasif

$$\begin{aligned} Kp &= \tan\left(45 \frac{\varphi}{2}\right) \\ &= \tan\left(45 \frac{15,42}{2}\right) \\ &= 1,130 \end{aligned}$$

Perhitungan Tekanan Tanah Pasif

$$\begin{aligned} Pp1 &= \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H_5^2 \\ &= \frac{1}{2} 9,81 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,5^2 \text{ m} \\ &= 30,656 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

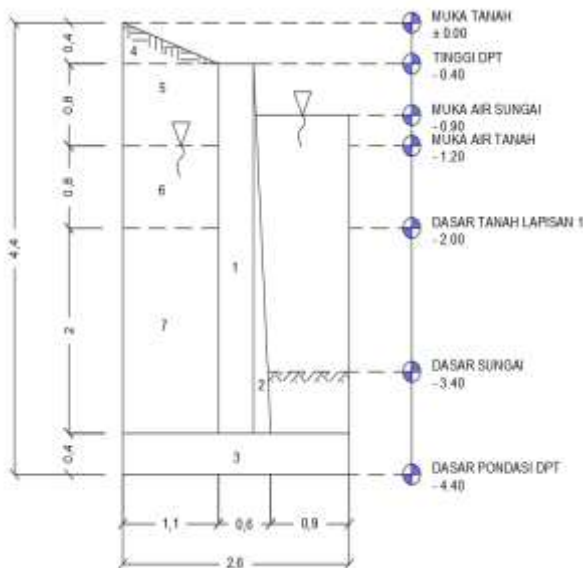
$$\begin{aligned} Pp2 &= \gamma_{sat} - \gamma_w \cdot Kp \cdot H_4 \cdot H_5 \\ &= 8,647 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,130 \cdot 1 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} \\ &= 24,426 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pp3 &= \frac{1}{2} \gamma_{sat} - \gamma_w \cdot H_4^2 Kp \\ &= \frac{1}{2} 8,647 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,5^2 \text{ m} \cdot 1,130 \\ &= 4,885 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pp4 &= 2C \cdot H_4 \cdot \sqrt{Kp} \\ &= 2(14,91 \text{ kN/m}^2) \cdot 1 \text{ m} \cdot \sqrt{1,130} \\ &= 31,698 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pp5 &= \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H_6^2 \\ &= \frac{1}{2} 9,81 \text{ kN/m}^3 \cdot 1^2 \text{ m} \\ &= 4,905 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan tekanan tanah pasif selanjutnya dilakukan perhitungan momen penahan atau berat dinding penahan tanah dan tanah di belakang dinding.



Gambar 4. Area Momen Penahan Dinding Penahan Tanah

TABEL II
RANGKUMAN PERHITUNGAN MOMEN PENAHAN

No	Area (A) (PxL)/(1/2xAxT)	Weight (W) (Axy)	Jarak ke Titik C (J)	Momen (WxJ)
1.	1,440	33,840	1,300	43,992
2.	0,360	8,460	0,967	8,178
3.	1,040	24,440	1,300	31,772
4.	0,220	3,710	2,233	8,287
5.	0,880	14,828	2,050	30,397
6.	0,880	16,441	2,050	33,704
7.	2,640	48,734	2,050	99,904
	Pv	13,417	2,600	34,884
	ΣV	163,869	ΣMR	291,117

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai tekanan tanah aktif, tekanan tanah pasif, serta momen yang bekerja pada dinding penahan tanah untuk empat kondisi muka air yang telah dianalisis. Berikut rangkuman hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel III.

TABEL III
RANGKUMAN HASIL PERHITUNGAN MOMEN PADA EMPAT KONDISI MUKA AIR

Kondisi	ΣPa	ΣPh	ΣPp	ΣV	ΣMR
Normal	77,3	72,6	96,6	163,9	291,1
Banjir	99,8	93,7	131,4	169,8	305,5
Setelah Banjir	93,9	88,2	56,2	167,4	300,1
Surut	66,7	62,7	50,7	159,9	281,9

C. Hasil analisis safety faktor DPT terhadap guling

Berikut langkah-langkah dalam mendapatkan nilai angka kemanan stabilitas guling pada kondisi muka air normal.

$$\begin{aligned} \Sigma Mo &= Ph\left(\frac{H'}{3}\right) \dots\dots\dots \\ &= 72,605\left(\frac{4,4}{3}\right) \\ &= 106,496 \\ FS &= \frac{\Sigma MR}{\Sigma Mo} \dots\dots\dots \\ &= \frac{291,117}{106,496} \\ &= 2,734 \end{aligned}$$

Hasil analisis stabilitas guling dinding penahan tanah pada empat kondisi muka air, dapat dilihat pada Tabel IV untuk menunjukkan perbedaan safety faktor pada setiap kondisi tersebut.

TABEL IV
HASIL STABILITAS GULING PADA EMPAT KONDISI MUKA AIR

Kondisi Muka Air	Safety Faktor
Normal	2,734
Banjir	2,221
Setelah Banjir	2,319
Surut	3,006

D. Hasil Analisis Safety Faktor DPT Terhadap Geser

Berikut langkah-langkah dalam mendapatkan nilai angka keamanan stabilitas geser.

$$\begin{aligned} FS &= \frac{(\Sigma V) \tan(k_1 \phi'_2) + BK_2 C'_2 + Pp}{Pa \cos \alpha} \dots\dots\dots \\ &= \frac{(163,869) \tan^2_{3} 15,42 + 2,6^2_{3} 14,91 + 96,571}{72,605} \\ &= 2,095 \end{aligned}$$

Hasil analisis stabilitas guling dinding penahan tanah pada empat kondisi muka air, dapat dilihat pada Tabel V untuk menunjukkan perbedaan safety faktor pada setiap kondisi tersebut.

TABEL V
HASIL ANALISIS STABILITAS GESER PADA EMPAT KONDISI MUKA AIR

Kondisi Muka Air	Safety Faktor
Normal	2,095
Banjir	2,006
Setelah Banjir	1,509
Surut	1,684

E. Hasil Analisis Safety Faktor DPT terhadap Daya Dukung

Berikut langkah-langkah dalam mendapatkan nilai angka kemanan stabilitas daya dukung.

Perhitungan eksentrisitas (e)

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum MR - \sum Mo}{\sum V}$$

$$= \frac{2,6}{2} - \frac{291,117 - 106,496}{163,869}$$

$$= 0,173$$

$$B' = B - 2 \cdot e$$

$$= 2,6 - 2 \cdot 0,173$$

$$= 2,253$$

Perhitungan q

$$q = \frac{\sum V}{B'}$$

$$= \frac{163,869}{2,253}$$

$$= 72,725$$

Perhitungan qu

$$qu = cN_c + Df\gamma N_q + 0,5\gamma B N_\gamma$$

Nilai N_c, N_q, N_γ didapat dari faktor daya dukung terzaghi menggunakan metode interpolasi

$$N_c = 13,303$$

$$N_q = 4,652$$

$$N_\gamma = 2,71$$

$$qu = cN_c + Df\gamma N_q + 0,5\gamma B N_\gamma$$

$$= 14,91(13,303) + 1(18,457)4,652 + 0,5(18,457)(2,6)(2,71)$$

$$= 349,236$$

$$FS = \frac{qu}{q}$$

$$= \frac{349,236}{72,725}$$

$$= 4,802$$

Hasil analisis stabilitas daya dukung dinding penahan tanah pada empat kondisi muka air, dapat dilihat pada Tabel VI untuk menunjukkan perbedaan safety faktor pada setiap kondisi tersebut.

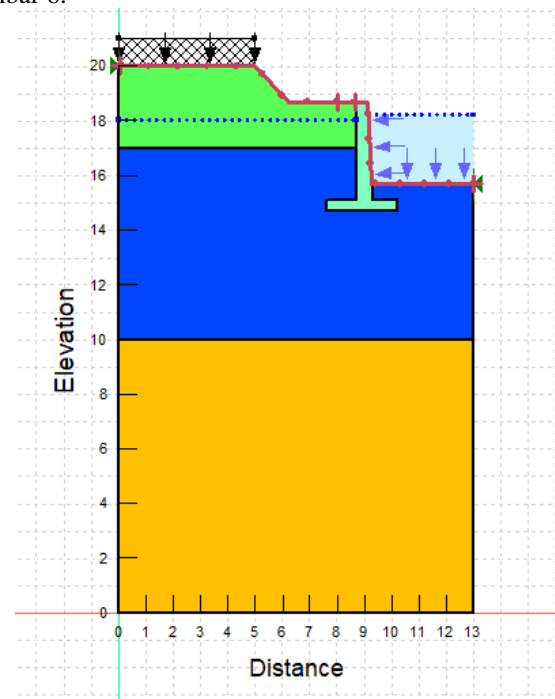
TABEL VI
HASIL ANALISIS STABILITAS DAYA DUKUNG PADA EMPAT KONDISI MUKA AIR

Kondisi Muka Air	Safety Faktor
Normal	4,802
Banjir	4,767
Setelah Banjir	4,251
Surut	5,191

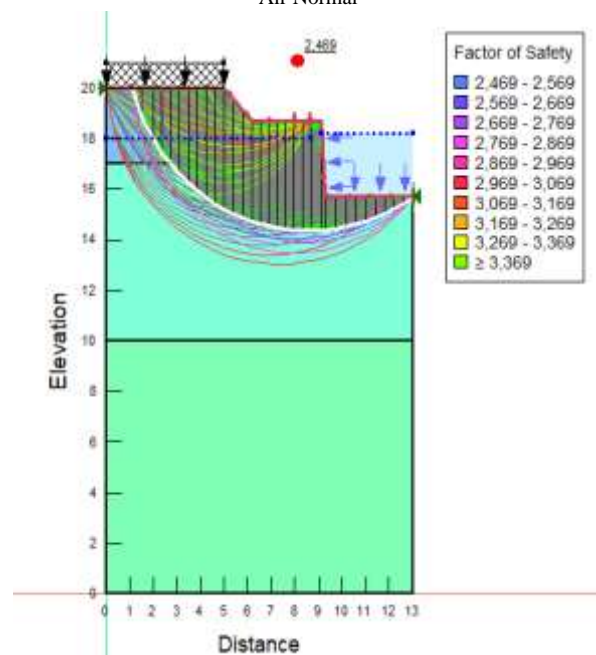
F. Hasil analisis safety factor lereng dengan perkuatan DPT kantilever

Permodelan lereng dengan menggunakan dinding penahan kantilever dilakukan untuk mengetahui angka kewanaman global dengan perbedaan elevasi muka air Sungai. Berikut ini ialah hasil permodelan lereng dengan

perkuatan dinding penahan tanah berdasarkan kondisi muka air normal yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Permodelan Dinding Penahan Tanah pada Kondisi Muka Air Normal



Gambar 6. Hasil Permodelan Dinding Penahan Tanah pada Kondisi Muka Air Normal

Berdasarkan hasil permodelan lereng menggunakan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever didapatkan hasil faktor keamanan yang dapat dilihat pada Tabel VII.

TABEL VII
RANGKUMAN HASIL PERMODELAN GEOSTUDIO PADA EMPAT KONDISI MUKA AIR

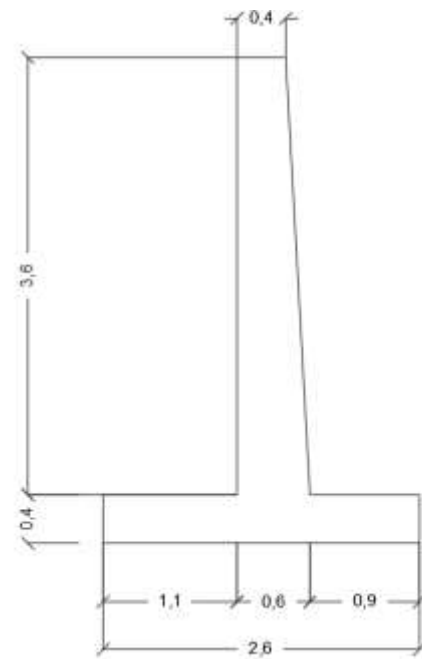
Kondisi Muka Air	Safety Faktor
Normal	2,469
Banjir	2,792
Setelah Banjir	1,990
Surut	1,949

G. Pengaruh Perubahan Elevasi Muka Air terhadap Safety Factor

Berdasarkan hasil perhitungan dengan memperhitungkan fluktuasi muka air yang terjadi didapat hasil yang berbeda-beda safety faktornya, hal ini terjadi karena perubahan muka air sungai akibat intensitas curah hujan yang tinggi dan kondisi *exiting* yang tidak mampu menampung curah hujan menyebabkan muka air Sungai cepat naik dan meluap, kondisi ini mempercepat rembesan yang terjadi pada tanah meningkat drastis, perubahan tekanan air pori dan tekanan pasif sangat mempengaruhi safety faktor dinding penahan tanah dimana pada kondisi tanah dibelakang dinding jenuh dan air Sungai naik kekuatan dinding penahan tanah cenderung menurun tetapi kondisi kritis yang terjadi pada dinding penahan tanah yaitu kondisi saat setelah banjir, karena kondisi ini fluktuasi muka air menurun lebih cepat dibanding muka air tanah akibatnya tekanan air pori dibelakang dinding penahan tanah masi meningkat sedangkan didepan dinding penahan tanah telah menurun, hal ini yang menyebabkan tekanan aktif dibelakang dinding penahan tanah lebih besar dari pada tekanan tanah pasif yang diberikan oleh air Sungai dan berat sendiri dinding penahan tanah yang menyebabkan menurunnya stabilitas atau safety faktor dinding penahan tanah kantilever.

H. Pengaruh Perubahan Elevasi Muka Air terhadap Desain

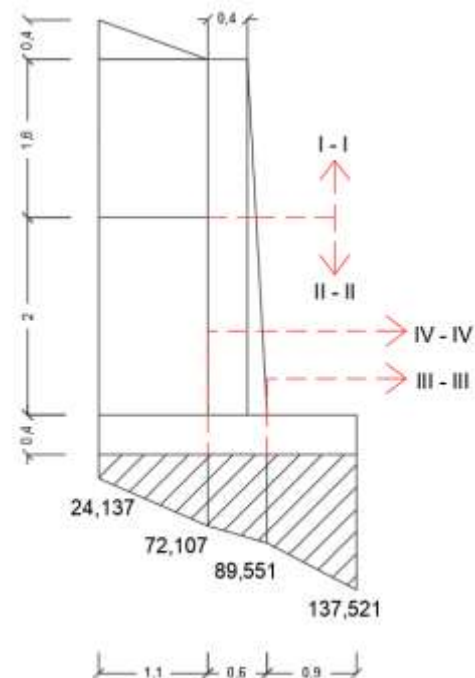
Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan menggunakan perhitungan manual maupun terhadap permodelan pada GeoStudio dengan memperhitungkan kondisi muka air yang terjadi pada aliran Sungai asam terdapat pengaruh terhadap desain yang direncanakan yang mengacu pada perhitungan yang dilakukan, desain rencana perlu dilakukan penyesuaian terhadap kondisi elevasi muka air yang terjadi. Dimensi yang dilakukan penyesuaian dilakukan pada ketebalan dinding dan ukuran *toe* dan *heel*, untuk menahan gaya guling perlunya menambah ketebalan dinding untuk menambah berat dari dinding itu sendiri sementara untuk ukuran *toe* dan *heel* dilakukan penambahan untuk stabilitas daya dukung dan gaya geser.



Gambar 7. Desain Akhir Dinding Penahan Tanah Kantilever

I. Perhitungan kebutuhan penulangan DPT kantilever

Penulangan dinding penahan tanah dibagi menjadi tiga yaitu pada dinding vertikal dibagi menjadi dua dan pada kaki dinding penahan tanah yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Potongan Area Penulangan

- Keterangan :
- | | | | |
|----|-------|----|-------|
| H1 | = 2 | b1 | = 0,9 |
| H2 | = 2,4 | b2 | = 1,1 |
| h1 | = 0,4 | | |

Penulangan dinding vertikal pot I-I (lapisan tanah 1)

$$Mu = \left(\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H_{lapisan 1}^3 \cdot Ka \cdot DL\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot q \cdot H_{lapisan 1}^2 \cdot Ka \cdot LL\right)$$

$$Mu = \left(\frac{1}{2} \cdot 16,85 \cdot 2^3 \cdot 0,882 \cdot 1,2\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 2^2 \cdot 0,882 \cdot 1,6\right)$$

$$Mu = 99,581 \text{ kNm}$$

$$Mu = 99581,225 \text{ Nmm}$$

$$Vu = \left(\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H_{lapisan 1}^2 \cdot Ka \cdot DL\right) + (q \cdot H_{lapisan 1} \cdot Ka \cdot LL)$$

$$Vu = \left(\frac{1}{2} \cdot 16,85 \cdot 2^2 \cdot 0,882 \cdot 1,2\right) + (10 \cdot 2 \cdot 0,882 \cdot 1,6)$$

$$Vu = 63,906 \text{ kN}$$

Menghitung tulangan lentur atau momen

$$d = h - ts - \frac{\phi_{tul}}{2}$$

$$d = 488,9 - 75 - \frac{19}{2}$$

$$d = 404,4 \text{ mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{99581,225}{0,75}$$

$$Mn = 132774,967 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2}$$

$$Rn = \frac{132774,967}{1000 \cdot 404,4^2}$$

$$Rn = 0,0008$$

$$m = \frac{fy}{0,85fc}$$

$$m = \frac{420}{0,85(25)}$$

$$m = 19,765$$

1) Menghitung rasio tulangan:

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}}\right)$$

$$\rho = \frac{1}{19,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 19,765 \cdot 0,0008}{420}}\right)$$

$$\rho = 1,933 \times 10^{-6}$$

Dikarenakan ρ kurang dari ρ_{min} sehingga nilai yang digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho = \rho_{min} = 0,002$

$$A_{SP} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_{SP} = 0,002 \cdot 1000 \cdot 404,4$$

$$A_{SP} = 808,800 \text{ mm}^2$$

2) Jarak antar tulangan: Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 7.7.2.3 nilai spasi maksimal adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm

$$s = 3h$$

$$s = 3(488,9)$$

$$s = 1466,7 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan spasi maksimal $s = 450 \text{ mm}$ dan pada perhitungan luasan terpasang digunakan spasi 300 mm dikarenakan spasi maksimal tidak memenuhi luasan terpasang.

3) Luas terpasang:

$$A_{St} = \frac{1000}{s} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$A_{St} = \frac{1000}{300} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2$$

$$A_{St} = 944,617 \text{ mm}^2$$

Nilai Ast yang dihitung lebih besar dari Asp, sehingga memenuhi persyaratan. Jadi tulangan yang digunakan yaitu D19-300 mm.

Menghitung tulangan susut atau memanjang

$$d = h - ts - \phi_{tul} - \frac{\phi_{susut}}{2}$$

$$d = 488,9 - 75 - 19 - \frac{13}{2}$$

$$d = 388,4 \text{ mm}$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0,002 \cdot 1000 \cdot 388,4$$

$$A_s = 776,8 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 7.7.2.3 nilai spasi maksimal adalah harus kurang dari 5h atau 450 mm

$$A_s = \frac{1000}{s} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$S = \frac{1000}{A_s} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$S = \frac{1000}{776,8} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2$$

$$S = 170,78 \text{ mm}$$

Dikarenakan nilai spasi dari hasil perhitungan lebih kecil dari spasi maksimal maka yang akan digunakan untuk mempermudah pekerjaan dilapangan ialah 150 mm, jadi tulangan yang digunakan adalah D13-150 mm.

Menghitung tulangan geser

$$\phi Vc = \phi(0,17\lambda\sqrt{fc} \cdot b \cdot d)$$

$$\phi Vc = 0,75(0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25 \cdot 1000 \cdot 407,4})$$

$$\phi Vc = 257805 \text{ N}$$

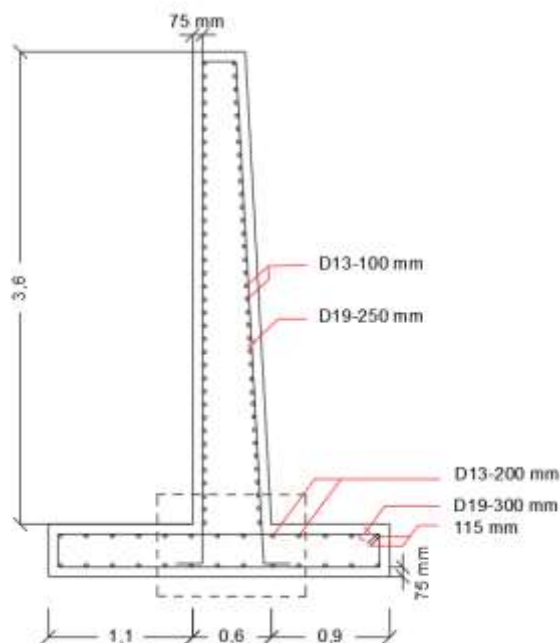
$$\phi Vc > Vu$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa mampu menahan gaya geser yang terjadi sehingga tidak memerlukan tulangan geser, perhitungan diatas juga digunakan pada segmen II, III, dan IV. Berikut ialah rangkuman dari perhitungan tulangan dinding penahan tanah kantilever.

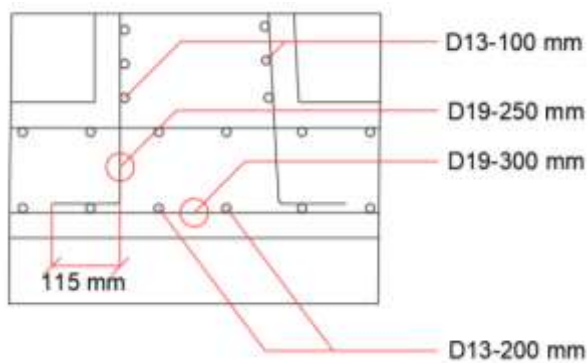
TABEL VIII
RANGKUMAN PERHITUNGAN TULANGAN DPT KANTILEVER

Bagian	Tulangan Momen	Tulangan Memanjang
I-I	D19-300	D13-150
II-II	D19-250	D13-100
III-III	D19-300	D13-200
IV-IV	D19-300	D13-200

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada potongan I-I, potongan II-II, potongan III-III dan potongan IV-IV agar mempermudah perhitungan kebutuhan tulangan maka jarak tulangan pada dinding vertikal potongan I-I dan potongan II-II disamakan menjadi D19-250 mm untuk tulangan momen dan D13-100 mm untuk tulangan memanjang. Hasil perhitungan kebutuhan penulangan dinding penahan tanah kantilever dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Detail Penulangan Dinding Penahan Tanah Kantilever



Gambar 10. Detail 2 Penulangan Dinding Penahan Tanah Kantilever

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan proses mendesain dinding penahan tanah kantilever dapat disimpulkan:

- 1) Pengaruh muka air terhadap dimensi dinding penahan tanah yaitu tekanan yang terjadi pada ketiga sisi dinding penahan tanah yaitu sisi depan (sungai), sisi belakang (tanah) dan sisi bawah kaki dinding penahan tanah kantilever yang menyebabkan tanah mengalami tekanan yang berbeda-beda dan perlu penyesuaian dimensi terkait hal tersebut:
- 2) Faktor keamanan yang didapat dari keempat stabilitas yang di cek terdapat perbedaan pada tiap kondisi fluktuasi muka air Sungai dan muka air tanah, dimana pada kondisi normal angka keamanan stabilitas global sebesar 2,469, pada kondisi banjir sebesar 2,792 dan pada saat setelah banjir sebesar 1,990:

- 3) Kebutuhan penulangan yang digunakan pada dinding kantilever sebagai penambahan perkuatan terhadap dinding untuk menjaga stabilitasnya maka digunakan dimensi besi D19-250 mm pada tulangan momen, D13-100 mm pada tulangan memanjang untuk dinding vertikal dan besi D19-300 mm pada tulangan momen, D13-200 mm pada tulangan memanjang untuk tulangan kaki dinding penahan tanah kantilever:

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan mengenai saran yang dapat membantu penelitian selanjutnya yaitu:

- 1) Pemahaman terhadap perhitungan tekanan tanah dan penulangan dinding penahan tanah kantilever untuk mempermudah penelitian.
- 2) Permodelan selanjutnya bisa menggunakan *software* geoteknik lain seperti Plaxis dan Geo5.

REFERENSI

- [1] Das, B. M. (1988). *Mekanika Tanah Rekayasa Geoteknis Braja*.
- [2] Das, B. M. (2011). *Principles of foundation engineering*.
- [3] Evander, R., Pakombong, V., Studi, P., Teknik, S., Teknik, F., Cenderawasih, U., & Papua, J. (2025). *Perencanaan Bronjong Untuk Pengamanan Lereng Sungai Dengan Metode Morgenstren-Price Menggunakan Slope/W Pada Sungai Asari Jembrana Bali*. 11(01), 1–7.
- [4] Geoslope International, L. (2023). GeoStudio SLOPE/W: Stability analysis software. *GeoSlope International Ltd*, 11(1), 1–14.
- [5] Hakam, A. (2008). *Rekayasa Pondasi*.
- [6] Hardiyatmo, H. C., Teknik, J., Universitas, S., Mada, G., Sipil, T., Teknik, F., & Gadjah, U. (1992). *Mekanika Tanah II*.
- [7] Hiday, D. T. (2017). *Perencanaan Struktur Dinding Penahan Tanah at Grade Proyek Pembangunan Light Rail Transit (LRT) Jakarta*.
- [8] Joni, A. E. (2021). No Title. *Analisis Dinding Penahan Tanah Pada Lereng Sungai Dengan Dinding Beton Kantilever Sebagai Alternatif Pencegahan Longsor (Studi Kasus, Sungai Lungun Sabanar Baru Kab. Bulungan)*.
- [9] Kamiruddin, A., Chalid, A., Sulaeman, A., & Siregar, C. A. (2022). Pengaruh Permeabilitas Terhadap Stabilitas Keamanan Bendungan Gunungrowo. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 313–327.
- [10] Kurniawan, I., & Endayanti, M. (2022). Analisa Perkuatan Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus: Area Bendungan Wampu Kecamatan Kuta Buluh Kabupaten Karo). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 11(1), 108.
- [11] Lesmana, Y. (2020). *Handbook Desain Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2019*.
- [12] Malik, M. K., & Karim, I. R. (2020). Seepage and Slope Stability Analysis of Haditha Dam using Geo-Studio Software. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 928(2).
- [13] Maulida, D. H., & Alihudin, A. (2023). *Jurnal Smart Teknologi Studi Alternatif Penanganan Stabilitas Tebing Sungai Menggunakan Tembok Penahan Tipe Kantilever Wall (Studi Kasus: Kawasan Sungan Indragiri, Desa Kampung Baru, Kecamatan Cerenti, Kabupaten Kuantan Singingi) Alternative Study of Handling River Cliffs Using Retaining Walls of Cantilever*

Wall Type in Indragiri River Jurnal Smart Teknologi. 4(4), 496–512.

- [14] Nurshinta, H., Putra, P. P., & Nurtjahjaningtyas, I. (2022). Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Drawdown Pada Lereng Sungai Area Dam Badeng Kecamatan Songgon, Banyuwangi. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 9(2), 86–94.
- [15] Perkasa, A. S. J., Sariman, S., & Lebang, F. (2023). Analisis Penggunaan Limbah Gypsum dan Semen Putih Terhadap Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Kelanauan. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 1(3), 221–225.
- [16] Rahmat Johar Syafei, Ir. Anggi Purnama sari dewi S.T., M. T. (2025). *Buku Pengantar GeoSlope*. 1–23.
- [17] Rifqi Aryadi, Muhammad, Y. (2022). Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Pada Pembangunan Jalan Inspeksi Waduk Brigif. *Jurnal Poli-Teknologi*, 21(3), 108–122.
- [18] SNI 2847-2019. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, 8, 720.
- [19] SNI 8460 2017. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik*.
- [20] Wahidin, W., Sungkar, M., & Sundary, D. (2024). Analisis Stabilitas Tebing Sungai Alas Menggunakan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Software Geostudio Slope/W. *Journal of The Civil Engineering Student*, 6(1), 1–7.

