

**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*

Dina Hulliyatul Maulida¹, Muhtar^{2*}, Arief Alihudin³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : maulida840@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember *Koresponden Author
Email : muhtar@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Dinding penahan tanah adalah bangunan yang didirikan untuk mencegah runtuhnya tanah curam atau lereng dan didirikan di lokasi yang stabilitasnya tidak dijamin oleh lereng itu sendiri, tetapi dipengaruhi oleh kondisi topografi tempat dimana pekerjaan tanah seperti penanggulan atau pemotongan tanah dilakukan. Di Kampung Baru Timur yang ada di Kecamatan Cerenti Kab. Kuantan Singingi terdapat permasalahan yaitu sering mengalami banjir kiriman dari hulu yang mengakibatkan meluapnya Sungai Indragiri. Tujuan penelitian adalah untuk merencanakan ulang desain dinding penahan tanah yang tepat dan aman dengan menggunakan dinding penahan tipe kantilever. Hasil analisa menunjukkan bahwa dimensi dinding penahan tanah kantilever untuk tinggi (H) = 8 m, lebar alas (B) = 5,6 m, Stabilitas lereng saat diberi perkuatan dinding penahan tanah dengan nilai $FS_{guling} = 5,11$, $FS_{geser} = 2,02$, $FS_{DDT} = 5,14$, dan Stabilitas dinding penahan tanah saat diberi beban eksternal dengan nilai $FS_{guling} = 7,27$, $FS_{geser} = 2,78$, $FS_{DDT} = 3,87$, serta $FS_{kelongsoran} = 1,35$. Dari perhitungan tersebut didapatkan penulangan dinding D19-77 dengan tulangan bagi Ø14-300, D19-100 dengan tulangan bagi Ø14-250..

Kata Kunci: *Dinding Penahan Tanah, Stabilitas Lereng, Dinding Kantilever.*

Abstract

Retaining wall is a building erected to prevent the collapse of steep soil or slopes and erected in a location whose stability is not guaranteed by the slope itself, but is influenced by the topographic conditions of the place where earthworks such as embankment or earth cutting are carried out. In Kampung Baru Timur, Cerenti District, Kab. Kuantan Singingi has a problem, namely it often experiences flooding from upstream which results in the overflow of the Indragiri River. The purpose of this research is to re-design an appropriate and safe retaining wall using a cantilever type retaining wall. The results of the analysis show that the dimensions of the cantilever retaining wall for height (H) = 8 m, base width (B) = 5.6 m, slope stability when reinforced with retaining walls with a value of $FS_{roll} = 5.11$, $FS_{sliding} = 2.02$, $FS_{DDT} = 5.14$, and the stability of the retaining wall when given an external load with a value of $FS_{roll} = 7.27$, $FS_{sliding} = 2.78$, $FS_{DDT} = 3.87$, and $FS_{avalanche} = 1.35$. From these calculations, it is found that the reinforcement for the wall is D19-77 with reinforcement for 14-300, D19-100 with reinforcement for 14-250.

Keywords: *Retaining Wall, Slope Stability, Cantilever Wall.*

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saat ini di Indonesia masih banyak masalah geoteknik. Salah satunya adalah kerusakan tebing, lereng sungai dan longsor. Kerusakan akibat sungai merupakan kejadian alam dan semakin meningkat. Mulai dari erosi tebing oleh aliran sungai hingga perubahan alur sungai. Perubahan alur sungai disebabkan oleh faktor-faktor yang berasal baik dari perilaku hidrodinamis sungai itu sendiri maupun akibat aktivitas manusia (tambang pasir/kerikil dan permukiman ditepi sungai). Hal ini ditandai dengan terjadinya erosi pada sisi luar tikungan sungai dan penumpukan sedimen pada sisi dalam tikungan.

Di Kampung Baru Timur yang ada di Kecamatan Cerenti Kab. Kuantan Singingi terdapat permasalahan yaitu sering mengalami banjir kiriman dari hulu yang mengakibatkan meluapnya Sungai Indragiri. Selain itu di daerah ini terjadi erosi yang disebabkan oleh hantaman banjir dan gerusan lokal saat muka air minimum. Hal ini terjadi karena pengembangan rongga-rongga dalam tanah yang luar biasa, sehingga menimbulkan gerakan lateral. Longsor tidak hanya dikarenakan oleh gaya gravitasi saja, kelongsoran disebabkan oleh rendahnya kuat geser tanah pembentuk lereng, peningkatan beban luar atau kondisi hidrolis yang menyebabkan terganggunya fasilitas umum seperti kantor desa dan pemukiman masyarakat.

Untuk meminimalisir dampak dari terjadinya banjir dan mempercepat penanganan kerusakan, salah satunya dilakukan rekayasa sipil berupa perkuatan tanah dasar menggunakan dinding penahan tanah guna mengamankan struktur di atasnya dan menstabilkan tanah dibawahnya.

Menurut penelitian (Anastasia, 2012) dinding penahan tanah biasanya digunakan digunakan untuk menahan tekanan lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh dari berat sendiri struktur dan berat tanah yang berada di atas pondasi.

Dinding penahan dapat dikatakan aman apabila dinding penahan tanah tersebut telah

diperhitungkan faktor keamanannya, baik terhadap bahaya penggulingan, bahaya pergeseran, serta penurunan daya dukung tanah. Pada dinding penahan, perhitungan stabilitas merupakan salah satu aspek yang tidak boleh dikesampingkan, karena stabilitas dinding penahan sangat mempengaruhi usia desain dinding penahan itu sendiri, keamanan bangunan, serta kondisi tanah di sekitar bangunan tersebut

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis mencoba mengajukan alternatif dengan mendesain ulang tipe dinding penahan tanah yang berbeda dari sebelumnya dengan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan. Adapun permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana dimensi dinding penahan tanah tipe kantilever?
2. Bagaimana stabilitas lereng saat diberi perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever?
3. Bagaimana stabilitas dinding penahan jika diberi beban eksternal?
4. Bagaimana penulangan dinding penahan tipe kantilever?

C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Daerah studi terletak di bagian tebing Sungai Indragiri Desa Kampung Baru Kec. Cerenti Kab. Kuantan Singingi
2. Jenis dinding penahan tanah yang ditinjau berupa kantilever wall.
3. Bagian bangunan dan saluran drainase di daerah penelitian tidak turut dimodelkan.
4. Analisis yang digunakan yaitu keamanan terhadap guling dan geser serta kontrol stabilitas terhadap daya dukung tanah.
5. Tidak menghitung anggaran biaya.

D. Tujuan

Dengan memperhatikan latar belakang dan permasalahan yang terjadi maka tujuan studi adalah:

1. Mengetahui bagaimana dimensi dinding penahan tanah tipe kantilever
2. Mengetahui bagaimana stabilitas pada lereng saat diberi perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever.
3. Mengetahui stabilitas dinding penahan jika ada beban eksternal.
4. Mengetahui penulangan dinding penahan tipe kantilever.

E. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis
Sebagai sarana untuk menerapkan pengetahuan yang diperoleh selama menempuh studi.
2. Bagi Akademik
Memberikan informasi terbaru bagi mahasiswa/mahasiswi Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember. Dan menambah wawasan dan pengalaman bagi mahasiswa/mahasiswi Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Longsoran

Tanah longsor (Landslide) dan gerakan tanah (Mass Movement) memiliki aeti yang hamper sama. Gerakan tanah adalah gerakan tegak, miring atau mendatar massa tanah atau batu dari posisi semula, dan gerakan tanah meliputi gerak rayapan, aliran dan longsoran. Dari uraian gerakan tanah dapat disimpulkan bahwa longsoran merupakan bagian dari gerakan tanah (Widjojo, 1985). Longsor diklasifikasikan menjadi beberapa bagian berdasarkan pergerakan massa keruntuhannya, yaitu:

1. Runtuhan (falling)
2. Gelinciran (sliding)
3. Gulingan (toppling)
4. Aliran (flowing).

B. Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah struktur yang didirikan untuk mencegah runtuhnya tanah curam atau lereng dan didirikan di lokasi yang stabilitasnya tidak dijamin oleh lereng itu sendiri, tetapi dipengaruhi oleh kondisi topografi tempat dimana pekerjaan tanah seperti penanggulangan atau pemotongan tanah dilakukan (Sudarmanto, 1996). Secara umum dinding penahan tanah diklasifikasikan menjadi empat kategori, yaitu :

1. Dinding gravitasi (*Gravity Wall*)

Dinding penahan yang terbuat dari beton tak bertulang atau pasangan batu. Terkadang, sedikit tulangan beton diterapkan pada permukaan dinding untuk mencegah retaknya permukaan akibat perubahan suhu.

2. Dinding kantilever (*Cantilever wall*)

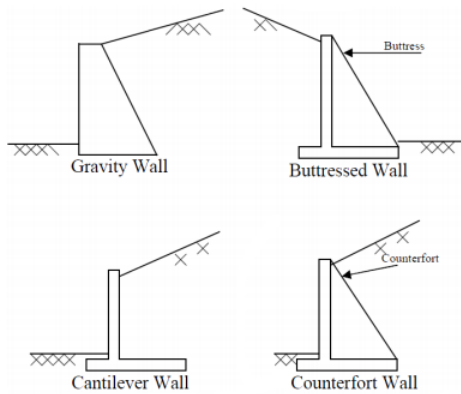
Bentuk dinding ini menyerupai huruf "T" terbalik atau huruf "L" dan setiap bagian yang dianggap sebagai kantilever. Dinding ini biasanya terbuat dari beton bertulang. Dinding kantilever bergantung pada beratnya sendiri dan berat tanah yang berada di atas tumit (*Heel*) untuk mencapai kesatabilannya. Variasi kantilever sangat ekonomis untuk dinding yang tidak terlalu tinggi. Tinggi dinding ini kurang lebih 6 s.d. 7,5 meter.

3. Dinding kontrafort (*Counterfort wall*)

Bentuk dinding ini sama dengan dinding kantilever, hanya saja antara *ground* (lantai dasar) dengan dinding diperkuat dengan suatu dinding penahan yang disebut sebagai kontrafort (*counterfort*).

4. Dinding butters (*Butters wall*)

Bentuk dari dinding butters ini sama dengan dinding kontrafort (*Counterfort wall*). Hanya saja dinding ini penyangga dinding ini berada di depan dinding (*Face*) yang terlihat, sehingga terlihat kurang rapi jadi jarang digunakan. Sama halnya dinding dinding kontrafort (*Counterfort wall*), dinding ini akan lebih irit digunakan jika tingginya diatas 7 meter.



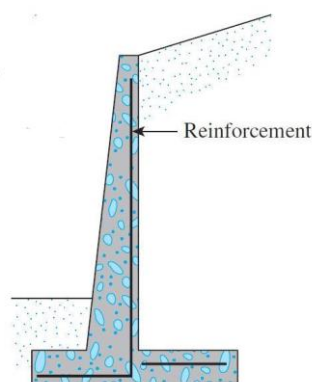
Gambar 1 Dinding Penahan Tanah
 Sumber: Earth Retaining Structures Manual, 2010

C. Dinding Penahan Tanah Kantilever

Dinding penahan tanah kantilever biasanya terbuat dari beton yang diperkuat dengan menggunakan tulangan dan tersusun oleh dinding vertikal (*stem*) dan pelat lantai (*base slab*). Tulangan yang tertanam dalam struktur dinding penahan tanah kantilever membantu menahan gaya horizontal dan momen yang bekerja pada dinding struktur.

Tulangan lentur pada dinding penahan tanah kantilever dapat direncanakan jika tebal pelat (h), mutu beton ($f'c$), mutu baja (f_y) dan momen rencana (MR) sudah ditentukan.

Contoh sederhana dinding penahan tanah kantilever ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Contoh Sederhana Dinding Penahan Tanah Kantilever

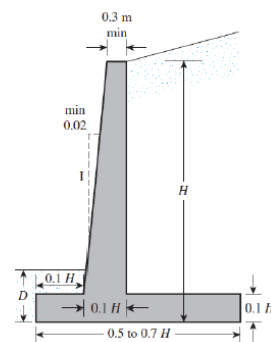
Sumber: Braja M. Das, 2011

D. Dimensi Dinding Kantilever

Dimensi awal ini digunakan sebagai referensi pada awal perhitungan, macam-macam

variasi ukuran dapat digunakan selama memenuhi persyaratan stabilitas, kelayakan dan kekuatan menurut syarat-syarat ketentuan yang telah ditetapkan.

Perlu diperhatikan bahwa dimensi bagian atas dinding vertikal minimal 0,3 meter dan ketebalan telapak minimal 0,6 meter (Braja, 2011). Dimensi awal yang didapat digunakan sebagai referensi dan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3 Dimensi Pendahuluan Dinding Penahan Tanah Kantilever.

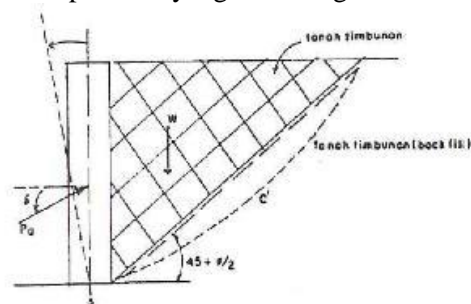
Sumber: Braja M. Das, 2011

E. Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral merupakan parameter perencanaan yang penting di dalam sejumlah masalah teknik pondasi, dinding penahan dan struktur bawah tanah lainnya.

1. Tekanan Tanah Aktif

Seperti ditunjukkan pada gambar 4, saat dinding penahan berotasi kekiri terhadap titik A, maka tekanan tanah yang bekerja pada dinding penahan akan berkurang secara perlahan hingga mencapai nilai yang seimbang.



Gambar 4 Dinding yang berotasi akibat tekanan aktif tanah

Sumber: Braja M. Das, 1993

Menurut teori Rankine, dalam kasus tanah berpasir tidak kohesif, besarnya gaya lateral pada satuan lebar dinding akibat tekanan

tanah aktif pada dinding setinggi H dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (1)$$

Dimana:

- K_a = Koefisien tanah aktif
 $= \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$
 γ = Berat isi tanah (kN/m^3)
 H = Tinggi dinding (m)
 Φ = Sudut geser tanah ($^\circ$)

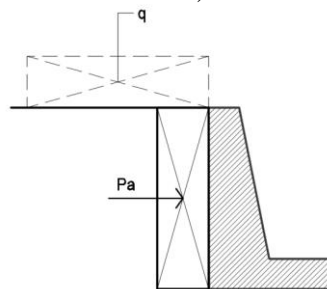
Untuk beban gaya horizontal yang umumnya bekerja pada dinding penahan tanah beban tanah yang didukung dan beban strukturalnya. Untuk beban tanah aktif dan pasif, perhitungan akan digunakan jika memungkinkan. Beban merata dalam perhitungan diasumsikan sebagai tekanan tanah aktif dan diagram beban persegi panjang diasumsikan beban merata. Beban merata dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P_a = K_a \times \gamma \times H \times h_s \quad (2)$$

$$h_s = q/\gamma \quad (3)$$

Dimana:

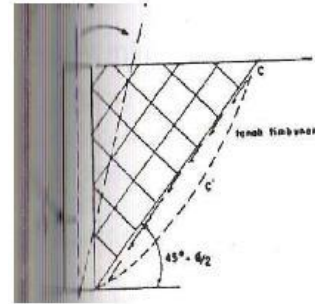
- P_a = tekanan tanah
 q = beban konstruksi di atas dinding penahan tanah (kN/m^2)
 γ = berat isi tanah (kN/m^3)
 H = tinggi dinding penahan tanah (m)
 K_a = koefisien tekanan tanah (beban konstruksi aktif)



Gambar 5 Beban Di Atas Dinding Penahan Tanah

Sumber: Ahmad, 2012

2. Tekanan Tanah Pasif



Gambar 6 Dinding Yang Berotasi Melawan Tekanan Aktif

Sumber: Sumber: Braja M. Das, 1991

Menurut teori Rankine, dalam kasus tanah pasir tidak kohesif, besarnya gaya lateral pada dinding akibat tekanan tanah pasif setinggi H dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (4)$$

Dimana:

- K_p = Koefisien tanah pasif
 $= \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$
 γ = Berat isi tanah (g/cm^3)
 H = Tinggi dinding (m)
 Φ = Sudut geser tanah ($^\circ$)

A. Stabilitas dinding Penahan Tanah

Dalam merencanakan dinding penahan tanah salah satu faktor utama yang harus dipertimbangkan adalah tekanan tanah lateral maka dibutuhkan pengetahuan mengenai tekanan tanah lateral. Tekanan tanah lateral adalah gaya yang disebabkan oleh tekanan tanah di belakang struktur dinding penahan tanah. Hal ini mempengaruhi stabilitas internal dinding penahan tanah, sehingga ada beberapa hal yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan dinding penahan tanah antara lain stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser serta kapasitas daya dukung tanah.

1. Stabilitas terhadap Guling

Hardiyatmo (2002) mengungkapkan bahwa stabilitas terhadap guling adalah stabilitas yang diperiksa berdasarkan tekanan tanah lateral yang disebabkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan tanah. Momen yang dihasilkan akibat gaya yang bekerja ini cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi dengan titik tumpu pada kaki di depan pelat pondasi.



Gambar 7 Stabilitas Terhadap Gaya Guling

Sumber: Sumber: Braja M. Das, 2007

Faktor aman terhadap stabilitas guling (*Fgl*) dapat didefinisikan pada Persamaan sebagai berikut:

$$Fgl = \frac{\sum Mw}{\sum Mgl} \quad (5)$$

Dimana:

$\sum Mw$ = momen yang melawan penggulingan (kN.m)

$\sum Mgl$ = momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

$$\sum Mgl = \sum P_{ah}h1 + \sum P_{av}B$$

Syarat faktor aman minimum terhadap stabilitas guling (*Fgl*) bergantung pada jenis tanah, nilai angka aman untuk bagi masing-masing jenis tanah adalah sebagai berikut:

$Fgl \geq 1,5$ untuk tanah dasar granular

$Fgl \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif

2. Stabilitas Terhadap Geser

Gaya-gaya yang menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh:

- ✓ Gesekan antara tanah dan dasar pondasi
- ✓ Tekanan tanah pasif didepan dinding penahan

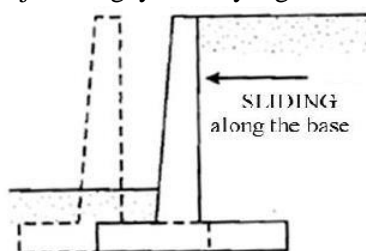
Faktor aman terhadap stabilitas geser (*Fgs*) dapat didefinisikan pada Persamaan sebagai berikut.

$$Fgs = \frac{\sum FR}{\sum Fd} < F_s \text{ ijin} \quad (6)$$

Dimana:

$\sum F_R$ = jumlah gaya total yang menahan gaya horizontal

$\sum F_d$ = jumlah gaya total yang mendorong



Gambar 8 Stabilitas Terhadap Gaya Geser

Sumber: Das, 2007

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa P_p juga merupakan gaya horizontal, sehingga:

$$\sum F_R = \sum V \tan \delta + Bc_a + P_p$$

Serta,

$$F_d = P_h$$

$$FS_{geser} = \frac{\sum V \tan \delta + Bc_a + P_p}{P_h} < F_s \text{ ijin} \quad (7)$$

Dimana :

FS = faktor akibat penggulingan

$\sum V$ = jumlah gaya vertikal (kg)

$\sum H$ = jumlah gaya horisontal (kg)

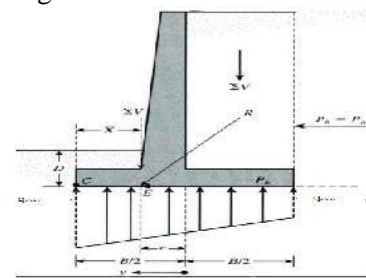
$\tan \delta$ = koefisien gesek

FS ijin= faktor aman akibat pergeseran, dengan ketentuan :

(FS ijin ≥ 1.5) untuk tanah granular

(FS ijin ≥ 2.0) untuk tanah kohesif

3. Stabilitas Terhadap keruntuhan Daya Dukung Tanah



Gambar 9 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Sumber: Das, 2007

Momen pada titik C.

$M_{net} = \sum MR - \sum Mo$ ($\sum MR$ dan $\sum Mo$ diperoleh dari stabilitas penggulingan).

Jika resultan pada dasar dinding berada pada titik E

$$\overline{CE} = \bar{X} = \frac{M_{net}}{\sum V} \quad (8)$$

✓ Eksentrisitas dapat diperoleh dari

$$e = \frac{B}{2} - \overline{CE} \quad (9)$$

Atau

$$e = \frac{B}{2} = \frac{\sum Mr - \sum Mo}{\sum V} \quad (10)$$

Distribusi tekanan pada dasar dinding penahan dapat dihitung sebagai berikut :

$$q = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{M_{net} y}{I} \quad (11)$$

Dimana:

$$M_{net} = (\sum V)e$$

$$I = \frac{1}{12}(1)(B^3)$$

✓ Untuk nilai maksimum dan minimum, $y = B/2$

$$q_{max} = \frac{\sum V}{B} \left[1 + \frac{6e}{B} \right] \quad (12)$$

$$q_{min} = \frac{\sum V}{B} \left[1 - \frac{6e}{B} \right] \quad (13)$$

✓ Kapasitas dukung tanah dihitung dengan menggunakan persamaan Terzaghi (1943) dalam Hardiyatmo (2014), dirumuskan sebagai berikut :

$$q_u = c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (14)$$

dimana:

c = Kohesi tanah (kN/m²)

D_f = Kedalaman pondasi (m)

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

B = Lebar pondasi dpt (m)

Tabel 1 Nilai-nilai faktor kapasitas dukung

ϕ	Keruntuhan Geser Umum		
	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	12,7	7,4	5,0
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	35,0
34	52,6	36,5	42,4
35	57,8	41,4	100,4
40	95,7	82,1	297,5
45	172,3	173,3	780,1
48	258,3	287,9	1153,2
50	347,6	415,1	

Sumber : Terzaghi, 1943

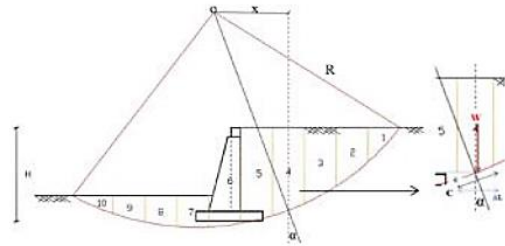
Catatan :

N_c , N_q , N_γ = Faktor kapasitas dukung Terzaghi

B. Analisa Kestabilan Lereng

Menggunakan metode irisan untuk melakukan perhitungan kontrol terhadap kelongsoran yang terjadi. Metode irisan sendiri membagi bidang kelongsoran menjadi bagian-bagian yang lebih kecil secara vertikal dan keseimbangan tiap irisan.

Untuk itu Hardiyatmo, C.H merekomendasikan angka aman (SF) ≥ 1 sehingga kondisi lereng kritis tidak terjadi.



Gambar 10 Analisa kestabilan lereng

Sumber: Hardiyatmo H.C, 2010

Faktor aman didefinisikan sebagai berikut :

$$FK = \frac{\text{jumlah momen penahan}}{\text{jumlah momen penggerak}}$$

$$FK = \frac{\sum MR}{\sum MD} \quad (15)$$

$$FK = \frac{\sum[(c\Delta L)] + [(W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi) \cdot R]}{\sum(W \cdot \sin \alpha) \cdot R} \quad (16)$$

Dimana:

$$\Delta L = \frac{\Delta x}{\cos u}$$

$$FK > SF$$

Keterangan:

FK = Faktor Aman

SF = > 1 (Hardiyatmo, H.C, 010)

C = Kohesi tanah (kN/m²)

ΔL = Panjang bagian lingkaran pada irisan ke-i (m)

Δx = Lebar per pias (m)

A = Besar sudut per pias ($^\circ$)

ϕ = Sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)

R = Jari-jari lingkaran bidang longsor (m)

W = Berat massa (kN)

C. Penulangan Struktur Beton Kantilever

Perancangan tulangan pondasi mengacu pada atura "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bangunan Gedung" (SNI 03-2847-2002) menurut pasal yang sesuai.

1. Diameter tulangan

Jenis dari penulangan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2 Ukuran Diameter Tulangan Polos Dan Ulir

Mutu Baja (fy)(Mpa)	Diameter (d) (mm)
BJTP-24 (polos) (240 Mpa)	8
	6
	12
BJTD-40 (ulir) (400 Mpa)	8
	10
	12
	13
	16
	19
	22
	25
	29
	32
36	

Sumber : Kusuma, 1994

2. Tebal selimut beton

Menurut SNI 03-2847-2002 tebal minimum selimut beton yang harus disediakan untuk tulangan harus memenuhi ketentuan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Tebal Selimut Beton

	Tabel selimut beton
a) Beton yang dicor langsung diatas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca: Batang D-19 hingga D-56 Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 yang lebih kecil	50
	40
c) Beton yang tidak langsung berhuungan dengan cuaca atau beton tidak langsung berhubungan dengan tanah: <u>Pelat, dinding, pelat berusuk:</u> Batang D-44 dan D-56 Batang D-38 dan yang lebih kecil <u>Balok kolom:</u> Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitasn spiral <u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat:</u> Batang D-10 dan yang lebih besar Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	40
	20
	40
	20
	15

Sumber : SNI 03-2847-2019

3. Reduksi

Gaya geser biasanya tidak bekerja sendiri, tetapi terjadi bersamaan dengan gaya lentur/momen, torsi atau normal/aksial. Dari percobaan yang telah dilakukan diketahui bahwa keruntuhan akibat gaya geser bersifat getas/brittle atau tidak bersifat daktail/liat, sehingga secara tiba-tiba terjadi keruntuhan.

Tabel 4 Reduksi

φ	Uraian
0,75	Reduksi struktur
0,55	Untuk struktur penahan gempa
0,80	Untuk bangunan balok kolom
0,65	Untuk tumpuan beton kecuali daerah pengangkutan pasca tarik
0,85	Untuk daerah pasca tarik

Sumber : SNI 03-2847-2019

4. Penulangan dinding vertikal

a. Hitungan gaya lintang dan gaya momen terfaktor momen :

Momen :

$$M_u = 0,5 \cdot \gamma \cdot y^2 \cdot K_a \cdot \left(\frac{y}{3}\right) \quad (17)$$

Gaya lintang terfaktor

$$V_u = 0,5 \cdot \gamma \cdot y^2 \cdot (1,6) \quad (18)$$

b. Hitungan kebutuhan tulangan geser

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'}\right) \cdot b_w \cdot d \quad (19)$$

$$V_n = \phi \cdot V_c > V_u$$

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

c. Hitungan kebutuhan tulangan geser

$$\left(-\frac{1}{2} \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot b\right) \cdot a_2 + 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \cdot a$$

$$M_u \cdot 10^6 / \phi = 0 \quad (20)$$

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

Luas penampang

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_s} \quad (21)$$

Rasio tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad (22)$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi D^2} \quad (23)$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{\text{jarak perimeter}}{n-1} \quad (25)$$

5. Penulangan plat kaki

a. Hitungan gaya lintang dan gaya momen terfaktor momen

Momen :

$$M_u = 0,5 \cdot \gamma \cdot y^2 \cdot K_a \cdot \left(\frac{y}{3}\right) \cdot (1,6) \quad (26)$$

Gaya lintang terfaktor

$$V_u = 0,5 \cdot \gamma \cdot y^2 \cdot (1,6) \quad (27)$$

b. Hitungan kebutuhan tulangan geser

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'}\right) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_n = \phi \cdot V_c > V_u$$

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

c. Hitungan kebutuhan tulangan geser

$$\left(-\frac{1}{2} \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot b\right) \cdot a^2 + 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \cdot a -$$

$$\mu \cdot 10^6 / \phi = 0$$

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

Luas penampang

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_s}$$

Rasio tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi D^2}$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{\text{jarak permeter}}{n-1}$$

Keterangan :

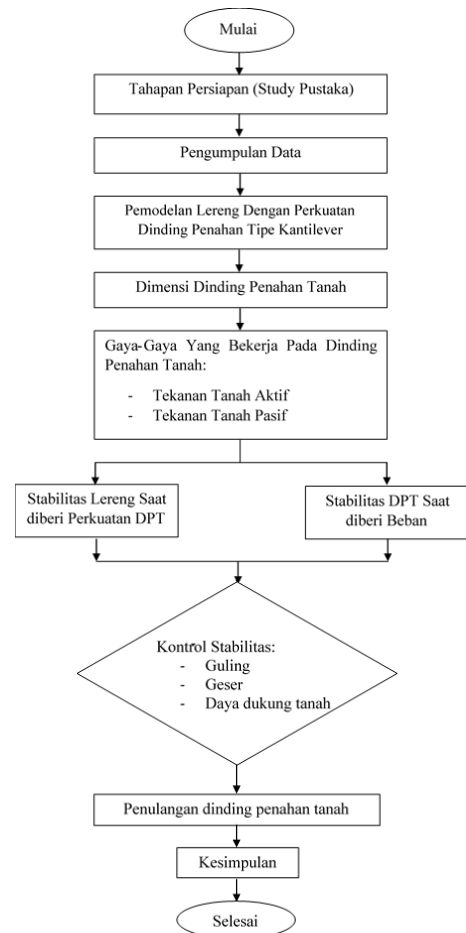
- Mu = Momen ultimate akibat beban terfaktor (kN.m)
- Vu = Gaya geser terfaktor (kN)
- fc' = Kuat tekan beton (MPa)
- fy = Kuat tarik baja (MPa)
- ρ = Prosentase tulangan
- Vc = Kuat geser yang diberikan untuk beton (kN)
- Vn = Kuat geser nominal (kN)
- As = Luasan tulangan (mm²)
- s = Jarak (mm)
- n = Jumlah tulangan
- b = Lebar penampang (mm)
- d = Tinggi efektif penampang (mm)

3. METODOLOGI

Pada Penelitian ini memakai data sebagai berikut:

1. Data Tanah
2. Data Geologi

Adapun Flow Chart Penelitian seperti pada gambar 11 :



Gambar 11 Diagram Alur Penelitian
 Sumber : Hasil penggambaran sendiri

4. ANALISA dan PEMBAHASAN

A. Data Tanah

Perencanaan dinding penahan tanah memerlukan data tanah di lapangan. Data yang diperlukan dalam penelitian ini menggunakan data tanah yang terletak di Sungai Indragiri Desa Kampung Baru Kecamatan Cerenti Kabupaten Kuantan Singingi. Pada lokasi yang akan direncanakan ulang ini, sebelumnya direncanakan dinding penahan tanah tipe sheet pile, maka dari itu data lapangan dan laboratorium dari tanah sudah ada dilokasi tersebut. Sehingga data yang digunakan untuk merancang dinding penahan tanah kantilever ini berdasarkan pada data yang sudah ada sebelumnya. Data yang diambil adalah data sekunder yang berupa data *Bore Hole*. Data

tanah tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini:.

Tabel 5 Data Tanah

c (kN/m ²)	φ (°)	γ (kN/m ³)
2.65	0.843	16.87
0	25	17.65

Sumber: DED PT Fasade Kobetama

Data beton:

Berat volume (γ) = 2400 kg/cm³ = 2,4 ton/m³

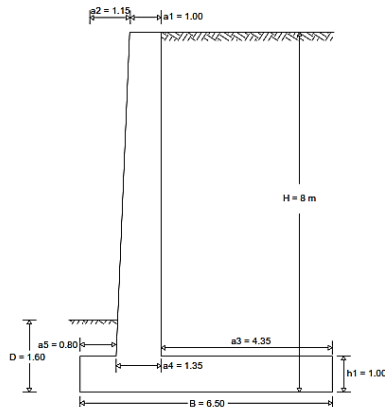
Mutu beton (f'c) = 24,9 Mpa (K-300)

Mutu baja (fy) = 400 Mpa

B. Perencanaan dinding penahan tanah

a. Menentukan Dimensi Awal Dinding Penahan Tanah

Perhitungan dimensi dinding penahan tanah adalah sebagai berikut:



Gambar 12 Dimensi Dinding Penahan Tanah Kantilever

Sumber: Hasil perhitungan, 2022

- Tinggi tembok penahan tanah (H) = 8,00 m
- Tinggi h₁ = 1,00 m
- Tinggi D = 1,60 m
- Lebar B = 6,50 m
- Untuk lebar a₁ (Min. 0,3 m) = 1,00 m
- Untuk lebar a₂ = 1,15 m
- Untuk lebar a₃ = 4,35 m
- Untuk lebar a₄ = 1,35 m
- Untuk lebar a₅ = 0,80 m

b. Menghitung tekanan tanah

Diketahui data tanah sebagai berikut:

- Berat isi tanah (γ) = 17,65 kN/m³
- Sudut geser (φ) = 25 °
- Kohesi (c) = 0 Kpa
- Berat isi beton (γ_b) = 24 kN/m³
- Beban merata (q) = 10 kN/m²

Dari data yang diketahui diatas, maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

Koefisien Tekanan Tanah

Koefisien Tekanan Tanah Aktif:

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{25}{2} \right) \\ = \tan^2 32,50 = 0,41$$

Koefisien Tekanan Tanah Pasif:

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 + \frac{25}{2} \right) \\ = \tan^2 57,50 = 2,46$$

Tekanan Tanah Aktif

$$P_a = 0,5 \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2 \\ = 0,5 \times 0,241 \times 17,65 \times 8^2 \\ = 229,23 \text{ kN/m}$$

Tekanan Tanah Akibat Beban Merata

q = 10 kN/m² (jalan lokal dengan lalu-lintas harian rata-rata < 500 kendaraan)

$$h_s = q / \gamma = 0,57 \text{ m}$$

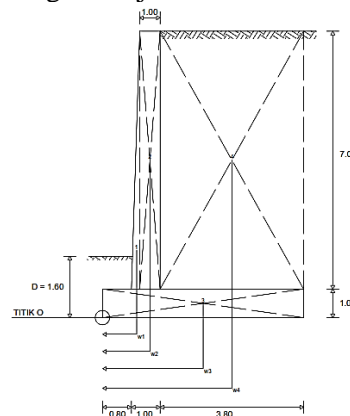
$$P_a = K_a \cdot \gamma \cdot H \cdot h_s \\ = 0,241 \times 17,65 \times 8 \times 0,57 = 32,47 \text{ kN/m}$$

Tekanan Tanah Pasif

$$P_p = 0,5 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot D^2 \\ = 0,5 \times 2,46 \times 17,65 \times 1,6^2 = 55,66 \text{ kN/m}$$

C. Stabilitas dinding penahan tanah

Menghitung Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja



Gambar 13 Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Tabel 6 Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja

Bagian	Luas	Berat/satuan panjang	Jarak momen dari titik O	Momen terhadap titik O
[1]	[2]	[3 = 2 x γ]	[4]	[5 = 3 x 4]
1	1.225	29.4	0.975	28.67
2	6.65	159.6	1.65	263.34
3	6.5	156	3.25	507
4	30.45	537.44	4.33	2324.44
	ΣV	882.44	ΣMR	3132.44

Sumber: Perhitungan, 2022

a. Menghitung Stabilitas Terhadap Guling

Karena permukaan tanah datar ($\alpha=0$), maka
 $Ph = Pa = 229,23 \text{ kN/m}$

$$Mo = Ph \times H/3 = 229,23 \times 2,67 = 611,28 \text{ kN/m}$$

$$FS_{guling} = \frac{\sum MR}{Mo} = \frac{3123,44}{611,28} = 5,11 > 2 \text{ (aman)}$$

b. Menghitung Stabilitas Terhadap Geser

$$FS_{geser} = \frac{(\sum V) \cdot \tan\left(\frac{2}{3}\phi\right) + \left(B \cdot \frac{2}{3}c\right) + Pp}{Pa} = \frac{(882,44) \cdot \tan\left(\frac{2}{3} \cdot 36,21\right) + \left(6,5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2,65\right) + 55,66}{229,23} = \frac{462,62}{229,23} = 2,02 > 2 \text{ (aman)}$$

c. Menghitung Stabilitas Terhadap Keruntuhan Daya Dukung Tanah

Eksentrisitas (e):

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum Mr - Mo}{\sum V} = \frac{6,5}{2} - \frac{3123,44 - 611,28}{882,44} = 0,4032 \leq \frac{B}{6} = \frac{6,5}{6} = 1,08 \text{ (oke)}$$

q_{max} dan q_{min} :

$$q_{max} = q_{kaki} = \frac{\sum V}{B} \times \frac{1 + 6e}{B} = \frac{882,44}{6,5} \times \frac{1 + 6 \cdot 0,4032}{6,5} = 186,28 \text{ kN/m}$$

$$q_{min} = q_{tumpit} = \frac{\sum V}{B} \times \frac{1 - 6e}{B} = \frac{882,44}{6,5} \times \frac{1 - 6 \cdot 0,4032}{6,5} = 85,24 \text{ kN/m}$$

Kapasitas daya dukung tanah

$$qu = c \cdot Nc + Df \cdot \gamma \cdot Nq + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N\gamma$$

Berdasarkan tabel dibawah dengan nilai $\phi = 25$

Tabel 7 Nilai-Nilai Faktor Kapasitas Dukung

ϕ	Keruntuhan Geser Umum		
	Nc	Nq	$N\gamma$
0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	12,7	7,4	5,0
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	35,0
34	52,6	36,5	42,4
35	57,8	41,4	100,4
40	95,7	82,1	297,5
45	172,3	173,3	780,1
48	258,3	287,9	1153,2
50	347,6	415,1	

Sumber : Terzaghi, 1943

Didapatkan nilai:

$$Nc = 25,1$$

$$Nq = 12,7$$

$$N\gamma = 9,7$$

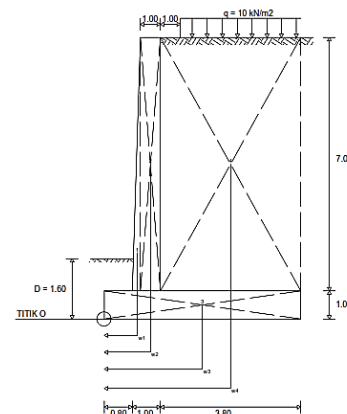
Sehingga,

$$qu = c \cdot Nc + Df \cdot \gamma_{urug} \cdot Nq + 0,5 \cdot B \cdot \gamma_{asli} \cdot N\gamma = 2,65 \times 25,1 + 1,6 \times 17,65 \times 12,7 + 0,5 \times 6,5 \times 16,87 \times 9,7 = 66,52 + 358,65 + 531,83 = 956,99$$

$$FS_{daya \text{ dukung}} = \frac{qu}{q_{max}} = \frac{956,99}{186,28} = 5,14 > 3 \text{ (aman)}$$

D. Stabilitas Dinding Penahan Tanah Saat Diberi Beban Eksternal

Menghitung Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja



Gambar 14 Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Tabel 8 Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja

Bagian	Luas	Berat/satuan panjang	Jarak momen dari titik O	Momen terhadap titik O
[1]	[2]	[3 = 2 x γ]	[4]	[5 = 3 x 4]
1	1.225	29.4	0.975	28.67
2	6.65	159.6	1.65	263.34
3	6.5	156	3.25	507
4	30.45	537.44	4.33	2324.44
5	33.5	591.28	3.825	2261.63
	ΣV	1473.72	ΣMR	5385.07

Sumber: Perhitungan, 2022

a. Menghitung Stabilitas Terhadap Guling

Karena permukaan tanah datar ($\alpha=0$), maka

$$Ph_{1,2} = Pa_{1,2}$$

$$\begin{aligned} Mo &= Ph_1 \left[\frac{H}{3} \right] + Ph_2 \left[\frac{H}{2} \right] \\ &= 229,23 \left[\frac{8}{3} \right] + 32,47 \left[\frac{8}{2} \right] \\ &= 611,28 + 129,87 \\ &= 741,15 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$FS_{\text{guling}} = \frac{\sum MR}{Mo} = \frac{5385,07}{741,15} = 7,27 > 2 \text{ (aman)}$$

b. Menghitung Stabilitas Terhadap Geser

$$\begin{aligned} FS_{\text{geser}} &= \frac{(\sum V) \cdot \tan\left(\frac{2}{3}\phi\right) + \left(B \cdot \frac{2}{3}c\right) + Pp}{Pa_1 + Pa_2} \\ &= \frac{(1473,72) \cdot \tan\left(\frac{2}{3} \cdot 36,21\right) + \left(6,5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2,65\right) + 55,66}{229,23 + 32,47} \\ &= \frac{727,61}{261,70} = 2,78 < 2 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

c. Menghitung Stabilitas Terhadap Keruntuhan Daya Dukung Tanah

Eksentrisitas (e):

$$\begin{aligned} e &= \frac{B}{2} - \frac{\sum Mr - Mo}{\sum V} \\ &= \frac{6,5}{2} - \frac{5385,07 - 741,15}{1473,72} \\ &= 0,10 \leq \frac{B}{6} = \frac{6,5}{6} = 1,08 \text{ (oke)} \end{aligned}$$

qmax dan qmin:

$$\begin{aligned} q_{\text{max}} &= q_{\text{kaki}} = \frac{\sum V}{B} \times \frac{1+6e}{B} \\ &= \frac{1473,72}{6,5} \times \frac{1+6 \cdot 0,10}{6,5} \\ &= 247,41 \text{ kN/m} \\ q_{\text{min}} &= q_{\text{tumpit}} = \frac{\sum V}{B} \times \frac{1-6e}{B} \\ &= \frac{1473,72}{6,5} \times \frac{1-6 \cdot 0,10}{6,5} \\ &= 206,04 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung tanah

$$qu = c \cdot Nc + Df \cdot \gamma \cdot Nq + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N\gamma$$

Berdasarkan tabel dibawah dengan nilai $\phi = 25$

Tabel 9 Nilai-Nilai Faktor Kapasitas Dukung

ϕ	Keruntuhan Geser Umum		
	Nc	Nq	N γ
0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	12,7	7,4	5,0
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	35,0
34	52,6	36,5	42,4
35	57,8	41,4	100,4
40	95,7	82,1	297,5
45	172,3	173,3	780,1
48	258,3	287,9	1153,2
50	347,6	415,1	

Sumber : Terzaghi, 1943

Didapatkan nilai:

$$Nc = 25,1$$

$$Nq = 12,7$$

$$N\gamma = 9,7$$

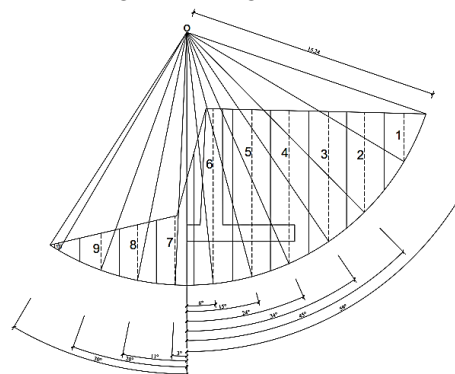
Sehingga,

$$\begin{aligned} qu &= c \cdot Nc + Df \cdot \gamma_{\text{urug}} \cdot Nq + 0,5 \cdot B \cdot \gamma_{\text{asli}} \cdot N\gamma \\ &= 2,65 \times 25,1 + 1,6 \times 17,65 \times 12,7 + 0,5 \times 6,5 \\ &\quad \times 16,87 \times 9,7 \\ &= 66,52 + 358,65 + 531,83 \\ &= 956,99 \end{aligned}$$

$$FS_{\text{daya dukung}} = \frac{qu}{q_{\text{max}}} = \frac{956,99}{247,41} = 3,87 > 3 \text{ (aman)}$$

E. Menghitung Stabilitas Terhadap Kelongsoran

Setelah melakukan perhitungan stabilitas terhadap geser, guling dan daya dukung tanah maka selanjutnya dilakukan analisa stabilitas kelongsoran untuk melihat FK kelongsoran setelah dipasang dinding penahan tanah. berikut analisa kelongsoran dengan metode irisan:



Gambar 15 Analisa Longsoran Dengan Metode Irisan

Sumber: hasil perhitungan, 2022
 Potongan 1

Luas tanah 1= 6,68 m² (dihitung menggunakan aplikasi autocad)

$$\gamma_{\text{tanah}} = 17,65 \text{ kN/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tanah (Wt)} &= \text{Luas tanah 1} \times \gamma_{\text{tanah}} \\ &= 6,68 \times 17,65 \\ &= 117,90 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Sudut longsoran } (\alpha) = 59^\circ \text{ (dihitung menggunakan aplikasi autocad)}$$

$$\text{Lebar per pias } (\Delta x) = 2,24 \text{ m}$$

$$\text{Jari-jari lingkaran bidang longsor (R)} = 15,24 \text{ m}$$

Tinjau momen terhadap titik O

$$\begin{aligned} M_D &= (W \times \sin \alpha) \times R \\ &= 117,90 \times \sin 59^\circ \times 15,24 \\ &= 1540,18 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta L &= \frac{\Delta x}{\cos \alpha} \\ &= \frac{2,24}{\cos 59} \\ &= 4,35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_R &= [(c \times \Delta L) \times R] + [(W \times \cos \alpha \times \tan \phi) \times R] \\ &= [(0 \times 4,35) \times 15,24] + [(117,90 \times \cos 59^\circ \times \tan 25^\circ) \times 15,24] \\ &= 0 + 431,54 \\ &= 431,54 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan:

$$FK = \frac{\sum MR}{\sum MD} = \frac{12893,38}{9561,78} = 1,35 > 1,00 \text{ (aman)}$$

F. Penulangan dinding penahan tanah

dilakukan penulangan dinding tipe kantilever dengan data dibawah:

$$\gamma_{\text{tanah urug}} = 17,65 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{beton}} = 24,00 \text{ kN/m}^3$$

$$\varnothing \text{ tulangan utama} = 19 \text{ mm}$$

$$\varnothing \text{ tulangan bagi} = 14 \text{ mm}$$

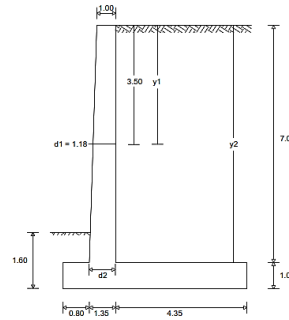
$$\text{Mutu beton (f'c)} = 25 \text{ Mpa (K-300)}$$

$$\text{Mutu baja (fy)} = 400 \text{ Mpa}$$

$$e_{cu} = 0,003 \text{ (SNI 03-2847-2002)}$$

$$b_w = 1000 \text{ mm (SNI 03-2847-2002)}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa (SNI 03-2847-2002)}$$



Gambar 15 Potongan Penulangan Dinding Penahan Tanah

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Dari gambar tersebut diketahui:

$$y_1 = 3,50 \text{ m} \quad d_1 = 1,18 \text{ m}$$

$$y_2 = 7,00 \text{ m} \quad d_2 = 1,35 \text{ m}$$

Adapun proses perhitungan penulangan dinding penahan tanah ada 2 macam, yaitu:

a. Perhitungan penulangan dinding vertikal

Tabel 10 Faktor Beban (Beban Mati: 1,2 Serta Beban Mati: 1,6)

No	Berat W (kN)	Jarak dari (m)	Momen tanah ke O (kN/m)
1	W1= 24.9	1.2	35.28
2	W2= 159.6	1.2	191.52
3	W3= 156	1.2	187.20
4	W4= 537.44	1.2	644.93
ΣW			1058.93
			ΣMt
			3748.13

Sumber: hasil perhitungan

Eksentrisitas pada dasar pondasi oleh beban-beban terfaktor:

$$\begin{aligned} X_e &= \frac{\sum MT - \sum Mgl}{\sum W} \\ &= \frac{3748,13 - 611,28}{1058,93} \\ &= 2,85 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= \frac{B}{2} - X_e \leq \frac{B}{6} \\ &= \frac{6,5}{2} - 2,85 \leq \frac{6,5}{6} \\ &= 0,40 \text{ m} \leq 1,08 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan tanah pada pondasi, karena $e \leq B/6$, maka:

$$q = \frac{W}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

dimana:

$$\Sigma W = 1058,93 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{maks}} &= \frac{W}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{1058,93}{6,5} \left(1 + \frac{6,0,40}{6,5} \right) \\ &= 222,39 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$q_{\text{min}} = \frac{W}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{1058,93}{6,5} \left(1 - \frac{6,0,40}{6,5}\right)$$

$$= 103,43 \text{ kN/m}^2$$

momen terfaktor yang bekerja pada dinding vertikal:

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= 0,5 \times \gamma_{\text{urug}} \times \text{Ka} \times (y/2) \times 1,6 \\ &= 0,5 \times 17,65 \times y^2 \times 0,41 \times (y/2) \times 1,6 \\ &= 5,73/2 \times y^3 \\ &= 2,87 y^3 \\ \text{Vu} &= 0,5 \times \gamma_{\text{urug}} \times \text{Ka} \times 1,6 \\ &= 0,5 \times 17,65 \times y^2 \times 0,41 \times 1,6 \\ &= 5,731 y^2 \end{aligned}$$

Potongan 1-1

a) Kebutuhan tulangan geser
 d = tebal dinding-selimut beton-diameter tulangan
 $= 1180 - 75 - 19$
 $= 1086 \text{ mm}$

Beban geser terfaktor

$$\begin{aligned} \text{Vu} &= 5,731 y^2 \\ &= 5,731 \times 3,50^2 \\ &= 70,20 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser beton

$$\begin{aligned} \text{Vc} &= \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d\right) \\ &= \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{25 \times 1000 \times 1086}\right) \\ &= 905000 \text{ N} = 905 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vn} &= \emptyset \times \text{Vc} > \text{Vu} \\ &= 0,75 \times 905 > 70,20 \\ &= 678,75 > 70,20 \text{ (tidak memerlukan tulangan geser)} \end{aligned}$$

b) Kebutuhan tulangan momen (lentur)

Gaya momen terfaktor:

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= 2,865 y^3 = 2,865 \times 3,50^3 \\ &= 122,85 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$d = 1086 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

Penulangan per meter panjang dinding:

$$(-0,5 \times 0,85 \times f_c' \times b) a^2 + (0,85 \times f_c' \times b \times d) a - (\text{Mu} \times 10^6 / \emptyset) = 0$$

$$(-0,5 \times 0,85 \times 25 \times 1000) a^2 + (0,85 \times 25 \times 1000 \times 1086) a - (122,85 \times 10^6 / 0,75) = 0$$

$$(-10625) a^2 + (23077500) a - (163803144,7) = 0$$

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

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{-23077500 + \sqrt{23077500^2 - 4 \times (-10625) \times 163803144,7}}{2 \times (-10625)} \\ &= \frac{-23077500 + 22932244,5}{-21250} \\ &= 6,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{-23077500 - 22932244,5}{-21250} \\ &= 2165,16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a/\beta \\ &= 6,84/0,85 = 8,04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times \epsilon_{cu} \\ &= \frac{1086-8,04}{8,04} \times 0,003 \\ &= 0,40 \text{ (pengerasan regangan/strain hardening yang terjadi pada saat hampir putus)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s \times E_s > f_y \\ &= 0,40 \times 200000 > 400 \text{ Mpa} \\ &= 80426,4 > 400 \text{ Mpa (oke)} \end{aligned}$$

Karena $f_s > f_y$, maka diambil $f_y = 400 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_s} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 6,84 \times 1000}{400} \\ &= 363,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rasio penulangan (ρ)

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{363,14}{1000 \times 1086} = 0,00033$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{min}} &< \rho \\ 0,0035 &> 0,00033 \end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho_{\text{min}} = 0,0035$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{min}} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 1086 \\ &= 3801 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan diameter 19 mm

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times d^2} \\ &= \frac{3801}{0,25 \times 3,14 \times 19^2} = 13,41 \approx 14 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan

$$\begin{aligned} s &= \frac{b}{n-1} \\ &= \frac{1000}{14-1} = 76,92 \approx 77 = 7,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka digunakan D19-77

Selain penulangan terhadap momen digunakan juga tulangan memanjang yang berfungsi sebagai perangkai untuk menambah cadangan

kuat lentur arah memanjang pondasi dan juga sebagai tulangan susut dan suhu minimum. Jarak tulangan maksimum adalah 250 mm menurut SNI03-2847-2002.

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 800 \\ &= 2800,00 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan diameter 14 mm

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times d^2} \\ &= \frac{2800,00}{0,25 \times 3,14 \times 14^2} = 18,20 \approx 19 \text{ buah} \end{aligned}$$

jarak tulangan

$$s = \frac{B}{n-1} = \frac{5000}{19-1} = 277,78 \approx 300 \approx 30 \text{ cm}$$

maka digunakan $\emptyset 14-300$

b. Penulangan plat kaki

Perhitungan gaya lintang dan gaya momen terfaktor

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan:

$$q_{\max} = 222,39 \text{ kN/m}$$

$$q_{\min} = 103,43 \text{ kN/m}$$

$$\text{Untuk: } x_4 = x_2 + x_3 = 1,35 + 4,35 = 5,7 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_4 &= q_{\min} + \frac{x_4}{5} \cdot (q_{\max} - q_{\min}) \\ &= 103,43 + \frac{5,7}{5} \cdot (222,39 - 103,43) \\ &= 239,05 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{untuk } x_3 = 4,35 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_3 &= q_{\min} + \frac{x_3}{5} \cdot (q_{\max} - q_{\min}) \\ &= 103,43 + \frac{4,35}{5} \cdot (222,39 - 103,43) \\ &= 206,93 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Potongan 3-3 (kaki depan)

a) Kebutuhan tulangan geser

Gaya geser, V_u

$$\begin{aligned} &+(q_{\max} - q_4) \cdot 0,5 \cdot x_1 \\ &(222,39 - 239,05) \times 0,5 \times 0,8 \\ &= -6,66 \text{ (reaksi tanah)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+(q_4 \cdot x_1) \cdot 1 \\ &(239,05 \times 0,8) \times 1 \\ &= 167,33 \text{ (reaksi tanah)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &-(x_1 \cdot t \cdot K \cdot 1,2) \cdot 1 \\ &-(0,8 \times 1,00 \times 24 \times 1,2) \times 1 \\ &= -20,16 \text{ (berat pelat terfaktor)} \end{aligned}$$

$$\text{Gaya Geser, } V_u = 140,51 \text{ kN}$$

d = tebal dinding - selimut beton - diameter tulangan

$$= 1000 - 75 - 19 = 906 \text{ mm}$$

kuat geser beton

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d\right)$$

$$= \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 1000 \times 906\right)$$

$$= 755000,0 \text{ N} = 755,00 \text{ kN}$$

$$V_n = \emptyset \cdot V_c > V_u$$

$$= 0,75 \times 755,00 > 140,51$$

$$= 566,25 > 140,51 \text{ (tidak memerlukan tulangan geser)}$$

b) Kebutuhan tulangan Momen (lentur)

$$+(2/3 \cdot x_1 \cdot -6,66)$$

$$(2/3 \times 0,8 \times -6,66)$$

$$= -3,55 \text{ (reaksi tanah)}$$

$$+(167,33 \cdot 0,5 \cdot x_1)$$

$$(167,33 \times 0,5 \times 0,8)$$

$$= 58,57 \text{ (reaksi tanah)}$$

$$(-20,16 \cdot 0,5 \cdot x_1)$$

$$(-20,16 \times 0,5 \times 0,8)$$

$$= -7,06 \text{ (berat pelat terfaktor)}$$

$$\text{Momen, } M_u = 47,96 \text{ kN}$$

$$d = 906 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

Penulangan per meter panjang dinding:

$$(-0,5 \times 0,85 \times f_c' \times b) a^2 + (0,85 \times f_c' \times b \times d) a - (M_u \times 10^6 / \emptyset) = 0$$

$$(-0,5 \times 0,85 \times 25 \times 1000) a^2 + (0,85 \times 25 \times 1000 \times 906) a - (47,96 \times 10^6 / 0,75) = 0$$

$$(-10625) a^2 + (19252500) a - (63943885,85) = 0$$

$$a_1 = \frac{-19252500 + \sqrt{19252500^2 - 4 \times (-10625) \times 63943885,85}}{2 \times (-10625)}$$

$$= \frac{-19252500 + 19184625,24}{-21250}$$

$$= 3,19$$

$$a_2 = \frac{-19252500 - 19184625,24}{-21250}$$

$$= 1808,8$$

$$c = a/\beta = 3,19/0,85 = 3,76 \quad \epsilon_s$$

$$= \frac{d-c}{c} \times \epsilon_{cu}$$

$$= \frac{906-3,76}{3,76} \times 0,003$$

$$= 0,72 \text{ (pengerasan regangan / strain hardening yang terjadi pada saat hampir putus)}$$

$$f_s = \epsilon_s \times E_s > f_y$$

$$= 0,72 \times 200000 > 400 \text{ Mpa}$$

$$= 144060 \text{ Mpa} > 400 \text{ Mpa (oke) karena } f_s > f_y, \text{ maka diambil } f_y = 400$$

$$\text{Mpa} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_s} \quad A_s$$

$$= \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 3,19 \cdot 1000}{400}$$

$$= 66,25 \text{ mm}^2$$

$$= 169,69 \text{ mm}^2$$

Rasio penulangan (ρ)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{169,69}{1000 \times 906} = 0,0002$$

$$\rho_{\min} < \rho$$

$$0,0035 > 0,0002$$

Maka digunakan $\rho_{\min} = 0,0035$

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \times 1000 \times 906$$

$$= 3171,00 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan diameter 19

$$n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times d^2}$$

$$= \frac{3171,00}{283,39}$$

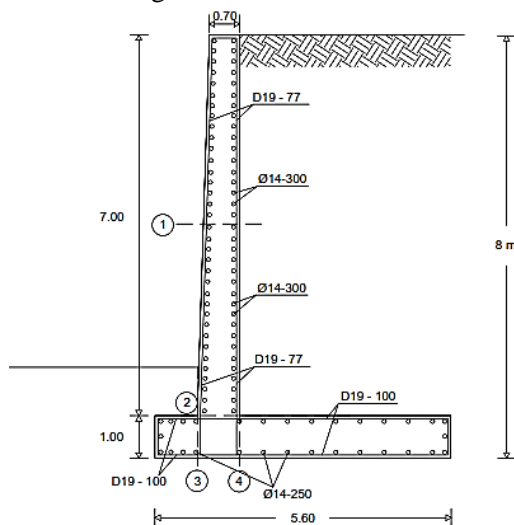
$$= 11,19 \approx 12 \text{ buah}$$

jarak tulangan

$$s = \frac{b}{n-1}$$

$$= \frac{1000}{11} = 90,91 \approx 100 \approx 10 \text{ cm}$$

maka digunakan D19-100



Gambar 16 Penulangan dinding penahan tanah
 Sumber: hasil perhitungan, 2022

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis perkuatan tebing sungai dengan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dinding penahan tanah tipe kantilever dengan dimensi:
 - Tinggi dinding penahan tanah = 8,00 m
 - Tebal plat atas dinding penahan tanah

- =1,00 m
 - Tebal plat dasar dinding penahan tanah = 0,80 m
 - Lebar plat dasar dinding penahan tanah = 5,60 m
2. Didapatkan angka keamanan kontrol stabilitas lereng saat diberi perkuatan dinding penahan tanah:
 - Guling (SF > 2) = 5,11 (aman)
 - Geser (SF > 2) = 2,02 (aman)
 - Daya dukung (SF > 3) = 5,14 (aman)
 3. Didapatkan angka keamanan kontrol stabilitas saat diberi beban eksternal:
 - Guling (SF > 2) = 7,27 (aman)
 - Geser (SF > 2) = 2,78 (aman)
 - Daya dukung (SF > 3) = 3,87 (aman)
 4. Didapatkan angka keamanan kontrol stabilitas lereng:
 - Kelongsoran (SF > 1) = 1,35 (aman)
 5. Perhitungan penulangan
 - Mutu beton f'_c = 25 Mpa (K-300)
 - Mutu baja f_y = 400 Mpa
 - Penulangan dinding vertikal

Pada potongan 1-1 didapatkan tulangan pokok D19 dengan jarak 77 mm, potongan 2-2 tulangan pokok D19 jarak 77 mm, serta tulangan bagi potongan 1-1 dan 2-2 didapatkan Ø14 jarak 300 mm.
 - Penulangan plat kaki

Pada potongan 3-3 didapatkan tulangan pokok D19 jarak 100 mm, potongan 4-4 tulangan pokok D19 jarak 100 mm, serta didapatkan tulangan bagi Ø14 jarak 250 mm.

B. Saran

1. Perencana perlu mengetahui atau memahami lokasi yang akan dibangun dinding penahan tanah, sehingga perencanaan dinding penahan tanah dapat diperhitungkan secara tetap menurut kondisi lapangan.
2. Data-data tanah harus lengkap dan akurat, agar mendapatkan hasil yang tepat.
3. Tipe dinding penahan tanah harus sesuai dengan kondisi lapangan.
4. Teliti dalam menghitung kontrol stabilitas terhadap geser, guling, daya dukung tanah dan analisa kelongsoran.

6. DAFTAR PUSTKA

Ikrimah, M. A., Sutanto, H., & Budiman, E. (2020). *Studi Penanganan Longsor*

- Dengan Beberapa Alternatif Dinding Penahan Tanah.*
- Rinanditya, R. F. (2016). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Dinding Penahan Tanah Kantilever Menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus Jalan Piyungan-Batas Gunung Kidul, Yogyakarta).*
- Sadat, B. A., Isya, M., & Rani, H. A. (2018). *Analisis Efisiensi Dinding Penahan Tanah Type Kantilever Di Kecamatan Babahrot Kabupaten Aceh Barat Daya.* Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan, 1(1), 18–26.
<https://doi.org/10.24815/jarsp.v1i1.10331>
- Endayanti, M. and Marpaung, K. (2019). *Analisis Perkuatan Lereng Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah di Skyland Jayapura Selatan.* Jurnal Teknik, VIII, pp. 1–14.
- Uyun, S. U. (n.d.). *Studi Komparasi Dinding Penahan Tanah Sheet Pile Dengan Geogrid Wall (Sebagai Alternatif) Pada Pekerjaan Perluasan IAIN Jember.*
- Sakinah, B. F. (2015). *Analisis Penyebab Keterlambatan Pada Pekerjaan Konstruksi Jalan Kabupaten Lombok Tengah Dengan Metode Analisa Faktor.* Jurnal Infrastruktur, 10(3), pp. 1–8.
- Artiani, G. P. et al. (2011). *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Dengan Metode Numerik.* Jurnal Kajian Teknik Sipil Volume 3 Nomor 1 39, 3, pp. 39–49.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03- 1729-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Baja Untuk Gedung*, PP18.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03- 2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Gedung*, PP41.
- Das, Braja M (1988), *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*, Jakarta : Erlangga.
- Das, Braja M (1993), *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*, Jakarta : Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C (2010), *Analisis dan Perancangan Fondasi 1*, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C (2010), *Analisis dan Perancangan Fondasi 2*, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press