

ANALISIS PERHITUNGAN KESTABILAN DINDING PENAHAN TANAH STUDI KASUS PROYEK *INTERCHANGE* MANADO

Donald Donny Supit

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas Katolik De La Salle Manado; Kombos – Kairagi I Manado, Telp:(0431) 871957

e-mail: supitdonald3@gmail.com

Abstrak— Perhitungan struktur dinding penahan tanah pada lokasi ini adalah pada Proyek Pembangunan *Interchange* (Simpang Susun) manado, dengan metode dinding penahan tanah (*retaining wall*) tipe *Kantilever*. Proyek pembangunan *Interchange* (Simpang Susun) Manado merupakan persimpangan tak sebidang juga pertemuan antara Jalan *Ring road*, Jalan *by Pass* antar kota dalam propinsi menuju Kota Bitung dan jalan dalam Kota Manado, jalan menuju Bandara dan *Fly Over* Manado Ringroad yang daerah di sekitar ruas jalan ini mempunyai keadaan topografi dengan perbedaan Kountur yang besar dan terdapat tebing-tebing yang tinggi, karena hal ini pada daerah ini banyak terjadi tanah longsor. Salah satu cara penanggulangan longsor pada ruas jalan adalah dengan membuat konstruksi dinding penahan (*retaining wall*), perencanaan konstruksi itu melalui tahapan-tahapan seperti, pengumpulan data aktual lapangan (topografi dan data penyelidikan tanah) sampai pada analisa bentuk, dimensi dan stabilitas konstruksi. Konstruksi ini yang nantinya menahan tanah yang longsor. Stabilitas dinding penahan tanah dapat dinyatakan dengan nilai F_s (faktor keamanan). Nilai faktor keamanan yang ditinjau adalah F_s *Overtuning* yaitu faktor keamanan terhadap gaya guling, F_s *Sliding* adalah faktor keamanan terhadap geser pada dasar dinding penahan tanah, F_s *bearing capacity* adalah faktor keamanan terhadap keruntuhan daya dukung. Tujuan dari studi ini adalah untuk menganalisa stabilitas dinding kantilever dan untuk mengetahui penyebab ketidakstabilan dinding kantilever tersebut dan mendisain dimensi baru yang aman terhadap beban-beban (gaya dan momen) yang bekerja pada struktur dinding penahan tanah. Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa dinding kantilever yang terpasang tersebut, dengan dimensi $H=7,0$ meter, $B=4,9$ meter, aman karena nilai stabilitasnya sesuai dengan yang disyaratkan, yaitu sebesar F_s guling= 6,912, F_s Geser= 5,356, F_s daya dukung = 25,302 dengan nilai e lebih kecil dari $B/6$ yaitu : $0,011 < 0,82$.

Kata Kunci— Stabilitas, kontrol gaya-gaya, dinding penahan tanah

I. PENDAHULUAN

Bangunan dinding penahan tanah (*retaining wall*) biasanya digunakan untuk menahan tekanan lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang tidak stabil. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh terutama dari berat sendiri struktur dan berat tanah yang berada di atas pelat pondasi.

Dinding penahan tanah merupakan salah satu konsep perkuatan tanah yang banyak digunakan dalam pekerjaan rekayasa sipil. Dinding penahan tanah merupakan dinding yang digunakan untuk menahan beban tanah secara vertikal ataupun terhadap kemiringan tertentu. Dinding-dinding penahan adalah konstruksi yang digunakan untuk memberikan

stabilitas tanah atau bahan lain yang kondisi massa bahannya tidak memiliki kemiringan alami, dan juga digunakan untuk menahan atau menopang timbunan tanah atau ongkongan material lainnya (Bowles, 1999: 49).

Dalam perencanaan sebuah dinding penahan tanah, perlu diambil dimensi tertentu sehingga dinding yang direncanakan mungkin untuk dikerjakan, cukup stabil dan kuat. Pengambilan dimensi awal dinding penahan tanah juga sangat ditentukan dengan bentuk lereng dan tanah yang akan ditahannya. Selain itu pengambilan dimensi dari segi keterbatasan ruang pekerjaan, kepatutan bentuk dan juga keindahan harus diperhatikan dalam perencanaan dinding penahan tanah.

Dalam mendesain dinding penahan tanah sering digunakan metode manual. Metode ini kurang efisien karena memerlukan waktu dan tenaga, sehingga diperlukan program bantu untuk mempermudah kontrol terhadap perhitungan manual dan penggunaan program bantu ini memiliki keakurasian yang tinggi. Hal ini tidak dapat dilepaskan dari peran perancang dan pembuat dinding penahan tanah di sepanjang tebing dan lainnya untuk memperhitungkan kekuatan dinding penahan tanah tersebut. Pembangunan dinding penahan tanah harus benar-benar berdasarkan perhitungan kestabilan dan faktor keselamatan karena kesalahan yang terjadi dalam pembangunan dinding penahan tanah dapat berakibat fatal yaitu kerugian harta benda dan hilangnya korban jiwa. Dinding penahan dapat dikatakan aman apabila dinding penahan tersebut telah diperhitungkan faktor keamanannya, baik terhadap bahaya pergeseran, bahaya penggulingan, penurunan daya dukung tanah, dan patahan. Pada dinding penahan, perhitungan stabilitas merupakan salah satu aspek yang tidak boleh diabaikan maupun dikesampingkan, karena stabilitas dinding penahan sangat mempengaruhi usia desain dinding penahan itu sendiri, keamanan bangunan, serta kondisi tanah di sekitar bangunan tersebut. Untuk kepentingan analisis dinding penahan tanah ini digunakan perhitungan manual dan program bantu model *SAP2000*, model ini terpilih karena mempunyai akurasi yang tinggi.

Berkaitan dengan pendahuluan di atas, penulis mencoba melakukan suatu studi Analisis Perhitungan Kestabilan Dinding Penahan Tanah untuk Proyek *Interchange* Manado.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk menstabilkan kondisi tanah tertentu pada

umumnya dipasang pada daerah tebing yang labil. Jenis konstruksi antara lain pasangan batu dengan mortar, pasangan batu kosong, beton, kayu dan sebagainya. Fungsi utama dari konstruksi penahan tanah adalah menahan tanah yang berada di belakangnya dari bahaya longsor akibat :

- Benda-benda yang ada diatas tanah (perkerasan & konstruksi jalan, jembatan, kendaraan, dll)
- Berat tanah
- Berat air (tanah)

Dinding penahan tanah merupakan komponen struktur bangunan penting utama untuk jalan raya dan bangunan lingkungan lainnya yang berhubungan tanah berkontur atau tanah yang memiliki elevasi berbeda. Secara singkat dinding penahan merupakan dinding yang dibangun untuk menahan massa tanah di atas struktur atau bangunan yang dibuat. Jenis konstruksi dapat di konstrusikan jenis klasik yang merupakan konstruksi dengan mengandalkan berat konstruksi untuk melawan gaya-gaya yang bekerja. Berdasarkan cara untuk mencapai stabilitasnya, maka dinding penahan tanah digolongkan sebagai berikut (Sudarmanto, 1992) :

- Dinding gravitasi (*gravity wall*)
- Dinding penahan tanah tipe Kantilever (*Kantilever retaining wall*)
- Dinding penahan tanah tipe *Counterfort* (*counterfort wall*)
- Dinding penahan tanah tipe *Buttress* (*butters wall*)
- Abutment jembatan (*bridge abutment*)

B. Tekanan Tanah Lateral

Untuk merencanakan bangunan penahan tanah, sering didasarkan atas keadaan yang meyakinkan keruntuhan total tidak akan terjadi. Gerakan beberapa sentimeter sering tidak begitu penting sepanjang ada jaminan bahwa gerakan-gerakan yang lebih besar lagi tidak akan terjadi. Dalam perencanaan dinding penahan, biasanya dilakukan dengan cara menganalisis kondisi-kondisi yang akan terjadi pada keadaan runtuh, kemudian memberikan faktor aman yang cukup yang dipertimbangkan terhadap keruntuhan tersebut. Analisis tekanan tanah lateral ditinjau pada kondisi keseimbangan plastis, yaitu pada saat massa tanah pada kondisi tepat akan runtuh (Rankine,1857). Kedudukan keseimbangan plastis ini hanya dapat dicapai bila terjadi diformasi yang cukup pada massa tanahnya.

Besar dan distribusi tekanan tanah adalah fungsi dari perubahan letak (*displacement*) dan regangan (*strain*) (Hardiyatmo, 2007).

Untuk mempelajari kondisi keseimbangan plastis, ditinjau kondisi tegangan yang ditunjukkan oleh lingkaran-lingkaran Mohr. Dalam gambar setiap lingkaran yang digambar lewat titik *P* mewakili kedudukan keseimbangan dan memenuhi persyaratan keseimbangan elastis dengan satu dari tegangan utamanya (σ_1 atau σ_3) sama dengan *OP*. Di sini hanya terdapat 2 lingkaran Mohr melalui *P* yang menyinggung garis selubung kegagalan. Kedua lingkaran ini mewakili kondisi keseimbangan plastis tanah. (hardiyatmo, 2007).

Kondisi-kondisi plastis bekerja pada suatu elemen tanah diperlihatkan dalam. Elemen tanah mula-mula di pengaruhi oleh tegangan-tegangan utama $\sigma_1 = OP$ dan $\sigma_3 = OR$. Jika tekanan vertikal *OP* di tahan tetap dan tekanan lateral

ditambah sampai bahan mengalami keruntuhan pada kedudukan *OS* tegangan utama menjadi berotasi sehingga tegangan utama mayor menjadi *OS*. Pada kondisi ini lingkaran Mohr akan lewat *P* dan *S* dan bidang kegagalan dalam membuat sudut $45^\circ - \phi/2$ dengan bidang horisontal. kondisi permukaan bidang longsor akibat geser pada teori tekanan tanah pasif. Jika pada kondisi tekanan arah lateral dikurangi sampai mencapai *OQ*, maka keruntuhan tanah akan terjadi, karena lingkaran *QP* menyinggung garis selubung kegagalan. Tegangan *OP* adalah tegangan mayor dan bidang keruntuhan akan membentuk sudut $45^\circ + \phi/2$ terhadap bidang horisontal Kondisi ini menunjukkan kondisi permukaan longsor akibat geser pada teori tekanan tanah aktif. (hary Christday Hardiyatmo, 2007).

C. Metoda Perhitungan Dinding Penahan Tanah

- a) Perhitungan gaya vertikal dan momen terhadap kaki depan $W=A \times \gamma_{beton}$pers (1)
 $M=W \times l$ pers (2)

Dengan
 W : Berat (kN)
 A : Luas Penampang (m²)
 γ_{beton} : Berat isi beton (kN/m³)
 M : Momen (kNm)
 l : Jarak (m)

- b) Tekanan Tanah (*Earth Pressure*)
 Besar tekanan tanah aktif merupakan luas diagram tegangan gaya yang terjadi akibat pembebanan, perbedaan tinggi muka air maupun akibat sifat-sifat tanah.

Diagram tegangan gaya tersebut adalah :

- 1) Akibat beban merata, berbentuk segi empat tegangan gaya.
- 2) Akibat perbedaan tinggi muka air, pada mulanya berupa segi tiga tegangan gaya kemudian segi tiga tegangan gaya ini menjadi gaya, sehingga bentuk selanjutnya menjadi segi empat tegangan gaya.
- 3) Akibat Sifat-sifat tanah, dapat berbentuk segi empat dan segi tiga, dibedakan akibat harga kohesi tanah (c) dan akibat berat isi tanahnya (γ_m).

Yang perlu diperhatikan di dalam mencari total tekanan tanah adalah :

- a) Akibat sifat-sifat tanah, khususnya akibat kohesi tanah memberikan pengurangan terhadap seluruh tekanan tanah aktif yang bekerja. Sedangkan untuk tekanan tanah pasif, kohesi tanah akan menambah besar seluruh tekanan tanah pasif yang bekerja.
- b) Akibat beban garis (*line load*), beban titik (*point load*), dan beban strip (*strip load*), bentuk diagram dapat didekati dalam bentuk trapesium, atau segitiga.

Menurut teori Rankine, untuk tanah berpasir tidak kohesif, besarnya gaya lateral pada satuan lebar dinding akibat tekanan tanah aktif pada dinding setinggi H dapat dinyatakan dengan :

$$\Sigma p_a = 0,5 \times H^2 \times \gamma \times K_a \dots\dots\dots (3)$$

Dengan
 K_a : Koefisien tekanan tanah aktif
 q : Beban terbagi rata (kN/m)
 H : Tinggi dinding penahan (m)
 γ_b : Berat isi tanah (kN/m³)

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan
 ϕ : Sudut geser dalam
 β : Sudut tanah timbunan
 Untuk tanah timbunan datar ($\beta=0^\circ$), besarnya koefisien tekanan tanah aktif menjadi :

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} : tg^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) \dots\dots\dots (5)$$

c) Stabilitas Terhadap Penggeseran
 Akibat gaya-gaya lateral seperti tekanan tanah aktif Pa yang bekerja, maka dinding penahan tanah dapat bergeser. Gaya-gaya lateral Pa tersebut akan mendapatkan perlawanan dari tekanan tanah Pasif Pp dan gaya gesek antara dasar dinding dan tanah, τ .

Faktor aman terhadap penggeseran (Fgs), didefinisikan sebagai:
 $Fgs = \frac{\sum V \times \tan \delta}{\sum H} \dots\dots\dots (6)$

Dengan
 Fgs : Faktor aman terhadap penggeseran
 $\sum V$: Total gaya vertikal (kN)
 $\sum H$: Total gaya horizontal (kN)
 $\tan \delta$: Koefisien gesek
 $Fgs \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler
 $Fgs \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif

Tabel 1.
 Koefisien gesek ($\tan \delta$) antara dasar pondasi dan tanah dasar (AREA, 1958)

No	Jenis tanah dasar pondasi	$\tan \delta$
1	Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
2	Tanah granuler kasar mengandung lanau	0,45
3	Tanah lanau tak berkohesi	0,35
4	Batu keras permukaan kasar	0,60

(sumber : Hardiyanto, 2014)

d) Stabilitas Terhadap Penggulingan
 Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan, cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pelat fondasi. Momen penggulingan ini, dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah di atas pelat fondasi.

Faktor aman akibat penggulingan (Fgl), didefinisikan sebagai :
 $Fgl = \frac{\sum Mt}{\sum Mg} \dots\dots\dots (7)$

Dengan
 Fgl : Faktor aman akibat penggulingan
 $\sum Mt$: Momen terhadap berat sendiri pondasi (kNm)
 $\sum Mg$: Momen terhadap tekanan tanah aktif (kNm)
 $Fgl \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler
 $Fgl \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif

e) Stabilitas Terhadap Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah
 Gaya-gaya horizontal dan vertikal pada dinding akan menimbulkan tegangan pada tanah. Apabila tegangan yang timbul melebihi tegangan ijin tanah, maka akan terjadi penurunan tanah. Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah didefinisikan sebagai
 $F = \frac{q_{ult}}{q_{max}} \geq 2.5 \dots\dots\dots (8)$

Dengan
 F : Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah
 q_{ult} : Kapasitas dukung ultimit (kN/m²)
 q_{max} : Tekanan akibat beban struktur (kN/m²)
 $X = \frac{\sum Mt - \sum Mtg}{\sum V} \dots\dots\dots (9)$

Dengan
 $\sum Mt$: Momen terhadap berat sendiri fondasi (kNm)
 $\sum Mtg$: Momen terhadap tekanan tanah aktif (kNm)
 $\sum V$: Total gaya vertikal (kN)
 $e = \frac{B}{2} - x \dots\dots\dots (10)$

Bila $e < B/6$, bentuk diagram tekanan kontak berupa trapezium
 Bila $e = B/6$, bentuk diagram tekanan kontak berupa segitiga
 Bila $e > B/6$, bentuk diagram tekanan kontak berupa dua segitiga

Tekanan struktur pada tanah dasar fondasi dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut :

- Bila dipakai cara lebar efektif fondasi (asumsi Meyerhoff)
 $q = \frac{V}{B'}$ (11)

Dengan
 V : Beban vertikal total (kN)
 B' : $B - 2e$

- Bila distribusi tekanan kontak antar tanah dasar fondasi dianggap linier
 $q = \frac{V}{B} - \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$ bila $e \leq \frac{B}{6}$ (12)
 $q = \frac{2\sum V}{3(B-2e)}$ bila $e > \frac{B}{6}$ (13)

Dalam perencanaan, lebar fondasi dinding penahan (B) sebaiknya dibuat sedemikian hingga $e < (B/6)$. Hal ini dimaksudkan agar efisiensi fondasi maksimum dan perbedaan tekanan fondasi pada ujung-ujung kaki dinding tidak besar (untuk mengurangi resiko keruntuhan dinding akibat penggulingan).

III. METODE PENELITIAN

A. Metode Pelaksanaan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan metode penelitian kuantitatif yang didahului dengan survey lokasi untuk memperoleh data-data yang sesuai dengan masalah yang diteliti atau akan dibahas, maka peneliti menggunakan teknik pengumpulan data sebagai berikut :

Penelitian pada lokasi ini adalah pada Proyek *Interchange* Manado. Untuk memperoleh data yang sesuai dengan masalah yang diteliti atau akan dibahas, maka peneliti menggunakan teknik pengumpulan data sebagai berikut :

1. Data Primer

Cara pengumpulan data yang digunakan adalah mengukur langsung ke lapangan, mendata, menganalisa dan merencanakan daerah mana saja yang harus dibenahi dan diperbaiki.

2. Data Sekunder

Data-data atau gambar yang didapat dari pihak kontraktor maupun instansi terkait yang menangani Proyek *Interchange* Manado. Maka peneliti mengumpulkan data sebagai berikut :

- a) Teknik kepustakaan yaitu dengan mendapatkan informasi dan data mengenai teori-teori yang berkaitan dengan pokok permasalahan yang diperoleh dari literatur-literatur, bahan kuliah, majalah konstruksi, media internet dan media cetak lainnya.
- b) Data dalam dokumen kontrak Perencanaan Teknis Pada Proyek *Interchange* Manado.

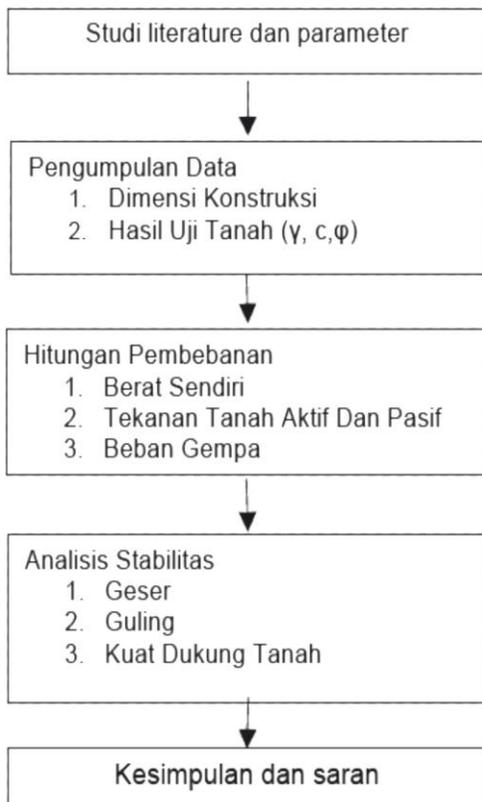
B. Metode Pengolahan dan Menganalisis Data

Setelah semua data terkumpul, maka dilakukan analisis dan pengolahan data dengan cara:

- Menganalisa dan menghitung kestabilan dinding penahan tanah terhadap daya dukung tanah.
- Menganalisa dan menghitung kestabilan dinding penahan tanah terhadap gaya pergeseran dan penggulingan.
- Menganalisa dan menghitung terhadap gaya-gaya dalam yang bekerja pada dinding penahan tanah dengan asumsi dinding penahan tanah yang terbuat dari beton.

C. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dapat dilihat pada bagan alir di bawah ini:



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Tanah

Untuk keperluan perencanaan dinding penahan, diperlukan data tanah di lapangan. Dalam penelitian ini digunakan data tanah yang terletak di lokasi Proyek *Interchange* Manado. Kondisi geologi tanah pada sekitar lokasi perencanaan dikategorikan sebagai tanah lempung/berkohesi. Parameter tanah yang perlu diketahui untuk melakukan perencanaan dinding penahan tanah adalah:

- Kohesi (c) dan sudut geser (ϕ) didapatkan dengan melakukan pengujian uji geser langsung (*direct shear test*) di laboratorium.
- Berat isi tanah (γ) juga diperoleh dengan pengujian di laboratorium.
- Perencanaan menggunakan berat isi beton 24 kN/m³.

Adapun data tanah yang didapatkan dari pengujian laboratorium adalah sebagai berikut :

Tabel 2.
Data tanah hasil pengujian laboratorium

γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ ($^{\circ}$)
17	20,03	18,34
18,3	12,1	24,156
17,2	7,09	15,27

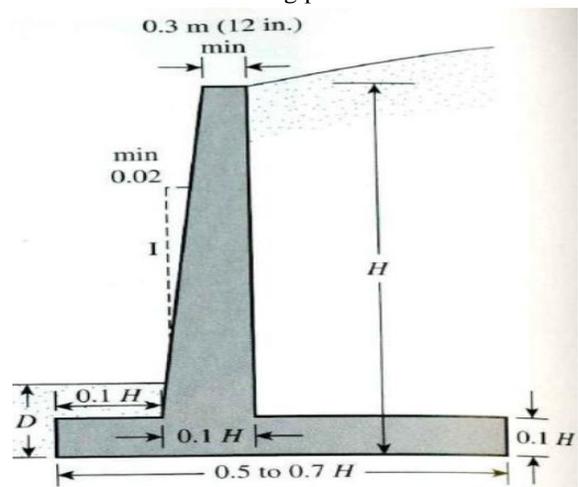
Sumber : Hasil pengujian

Data tanah yang digunakan dalam perhitungan adalah data yang terbesar yang terdapat pada tabel 2 sebagai berikut:

- Berat isi tanah (γ) = 18,3 kN/m³
- Sudut geser (ϕ) = 24,2 $^{\circ}$
- Kohesi (c) = 12 kN/m²
- Berat vol. Air (γ_w) = 9,81 kN/m²

B. Perencanaan Dinding Penahan Tanah

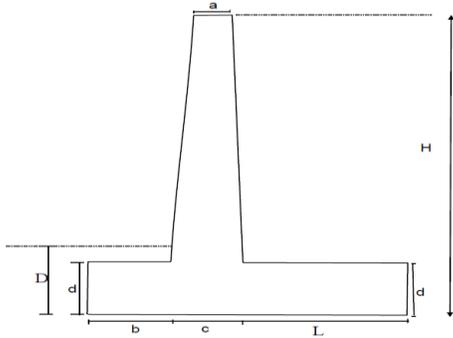
a) Menentukan dimensi dinding penahan tanah



Gambar 1. Komposisi ukuran minimal dinding penahan tanah kantilever (Braja M Das, 1990)

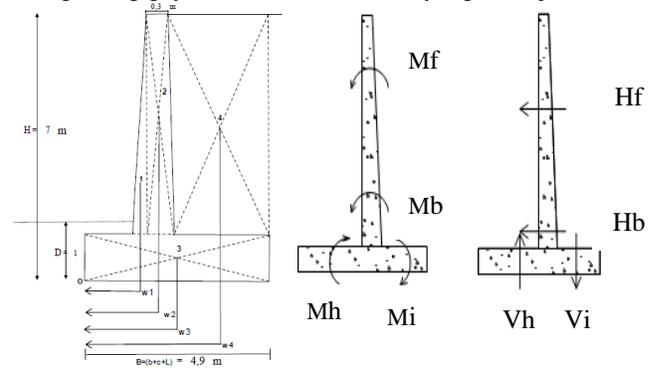
Berdasarkan standar ukuran pada gambar 1 diatas, maka dilakukanlah perencanaan dinding penahan tanah dengan memasukkan nilai lebar alas sampai mendapatkan lebar

alas yang paling efisien. Adapun perhitungannya sebagai berikut: Percobaan dengan mengambil nilai L = 3,5 meter



Gambar 2. ukuran minimal L= 3,5 meter, dinding penahan tanah kantilever

Menghitung gaya vertikal dan momen yang bekerja



Gambar 4. Gaya dan momen yang bekerja pada dinding penahan tanah

Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever Tipe 1 dengan dimensi :

- Tinggi tembok penahan (H) = 7 m
- Untuk lebar a (min 0,3m) = 0,3 m
- Untuk lebar b (0,1H) = 0,7 m
- Untuk lebar c (0,1H) = 0,7 m
- Untuk Lebar L = 3,5 m
- Untuk tinggi d (0,1H) = 0,7 m
- Untuk tinggi D = 1,0 m

Menghitung Tekanan Tanah

Diketahui data tanah sebagai berikut:

- Berat isi tanah (γ) = 18,3 kN/m³
- Sudut geser (φ) = 24,2 °
- Kohesi (c) = 12 kN/m²
- Berat vol. Air (γ_w) = 9,81 kN/m²

Koefisien tekanan tanah :

- Koefisien tanah aktif

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{24.2}{2} \right) = \tan^2 32.9 = 0.4$$

- Koefisien tanah pasif

$$K_a = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 + \frac{24.2}{2} \right) = \tan^2 57.1 = 2.4$$

- Tekanan tanah aktif

$$P_a = 0.5 K_a \gamma' H^2 + 0.5 \gamma_w H^2 - 2c \sqrt{K_a} H$$

$$P_a = 0.5 * 0.4 * 8.5 * (7^2) + 0.5 * 9.8 * (7^2) - 2 * \sqrt{12} * 7$$

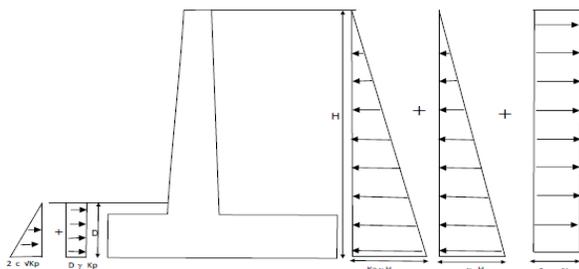
$$P_a = 21.25 \text{ kN/m}$$

- Tekanan tanah Pasif

$$P_p = 0.5 D^2 \gamma K_p + 2cD \sqrt{K_p}$$

$$P_p = 0.5 * 1^2 * 18.3 * 2.4 + 2 * 12 * 1 * \sqrt{2.4}$$

$$P_p = 59.14 \text{ kN/m}$$



Gambar 3. Diagram tekanan tanah aktif dan pasif

Tabel 3.

Gaya vertikal dan momen yang bekerja

Segmen	luas (m ²)	Berat/ satuan panjang (KN/m)	Lengan momen thdp titik O (m)	Momen terhadap titik O (KNm)	
[1]	[2]	[3 = 2 x γ beton]	[4]	[5 = 3 x 4]	
1	1,2	28,80	30,24	0,97	27,94
2	1,89	45,36	1,30	58,97	
3	3,43	82,32	2,45	201,68	
4	22,05	529,20	3,15	1666,98	
	ΣV	685,68	ΣMR	1955,57	

Sumber : Hasil olahan

Catatan: γ tanah : 18,3 kN/m³; γ beton : 24 kN/m³

Menghitung stabilitas terhadap penggulingan

Momen yang menghasilkan guling, Mo

Karena permukaan tanah adalah datar (α = 0) maka Ph = Pa = 121,25 kN/m

Mo = Ph · H/3 = 121,25 × (7/3) = 282,9 kN/m

$$FS_{guling} = \frac{\Sigma M_R}{M_o} = \frac{1955.57}{282.9} = 6.912 \geq 2 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung stabilitas terhadap penggeseran

$$FS_{Geser} = \frac{(\Sigma V) \tan(\frac{2}{3}\phi) + (B^2/3C) + P_p}{P_a}$$

$$FS_{Geser} = \frac{685.68 * \tan(2/3 * 24.2) + (4.9 * (\frac{2}{3}) * 12) + 59.14}{121.25}$$

$$FS_{Geser} = \frac{685.68 * 0.289 + 392 + 59.14}{121.25}$$

$$FS_{Geser} = 5.356 \geq 2 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah eksentrisitas (e) :

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_R - M_o}{\Sigma V} = \frac{4.9}{2} - \frac{1955.57 - 282.9}{685.68}$$

$$= 0.011 \leq \frac{B}{6} = 0.82 \dots\dots\dots \text{OK}$$

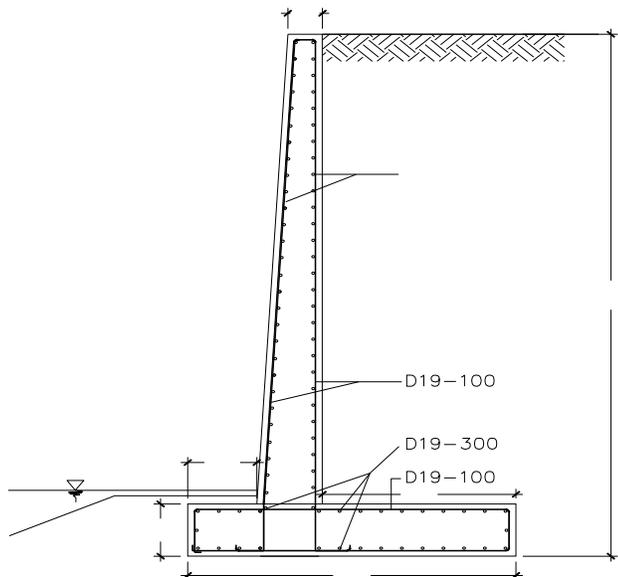
qmax dan qmin :

$$q_{max} = q_{kaki} = \frac{\Sigma V}{B} * \frac{1+6e}{B} = \frac{685.68}{4.9} * \frac{1+(6*0.011)}{4.9}$$

$$= 30.443 \text{ kN/m}$$

$$q_{min} = q_{tunit} = \frac{\Sigma V}{B} * \frac{1-6e}{B} = \frac{685.68}{4.9} * \frac{1-(6*0.011)}{4.9}$$

$$= 26.673 \text{ kN/m}$$



Gambar 5. Kebutuhan tulangan tarik terhadap momen lentur per meter untuk mutu beton k-250 s/d k-300

Kapasitas daya dukung tanah

$$q_u = c * N_c * F_{cd} * F_{ci} + q * N_q * F_{qd} * F_{qi} + 0,5 * \gamma * B' * N_\gamma * F_{d\gamma} * F_{\gamma i}$$

dimana :

$$q = \gamma * D = 18,3 * 1 = 18,3 \text{ kN/m}^2$$

$$B' = B - 2e = 4,9 - 2 * 0,011 = 4,878 \text{ m}$$

$$F_{CD} = 1 + \frac{0,4D}{B} = 1 + \frac{0,4 * 1}{4,878} = 1,082$$

$$F_{QD} = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \frac{D}{B'}$$

$$= 1 + 2 \tan 24,2 (1 - \sin 24,2)^2 \frac{1}{4,878} = 1,064$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$\psi^o = \tan^{-1} \left(\frac{Pa}{\Sigma V} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{121,25}{685,68} \right) = 10,026^o$$

$$F_{ci} = F_{qi} = 1 - \frac{(\psi^o)^2}{90^o}$$

$$= 1 - \frac{(10,26^o)^2}{90^o} = 0,988$$

$$F_{\gamma i} = 1 - \frac{(\psi^o)^2}{\varphi^o}$$

$$= 1 - \frac{(10,26^o)^2}{24,2} = 0,828$$

Berdasarkan tabel daya dukung tanah (terzaghi) dengan

$$\psi^o = 10,026$$

$$N_c = 19,32$$

$$N_q = 9,60$$

$$N_\gamma = 9,44$$

sehingga :

$$q_u = c * N_c * F_{cd} * F_{ci} + q * N_q * F_{qd} * F_{qi} + 0,5 * \gamma * B' * N_\gamma * F_{d\gamma} * F_{\gamma i}$$

$$(12 * 19,32 * 1,082 * 0,988) + (18,3 * 9,60 * 1,064 * 0,988) + (0,5 * 18,3 * 4,878 * 9,44 * 1 * 0,828)$$

$$= 878,948 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{SDaya \text{ Dukung}} = \frac{q_u}{q_{max}} = \frac{770,284}{30,443} = 25,302 \geq 3 \dots \text{OK}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh angka keamanan dinding penahan tanah terhadap guling, geser dan daya dukung pada tabel berikut ini:

Nilai resume faktor keamanan pada dinding kantilever dengan dimensi yang ada beserta gaya yang bekerja pada dinding kantilever dimensi baru dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4.

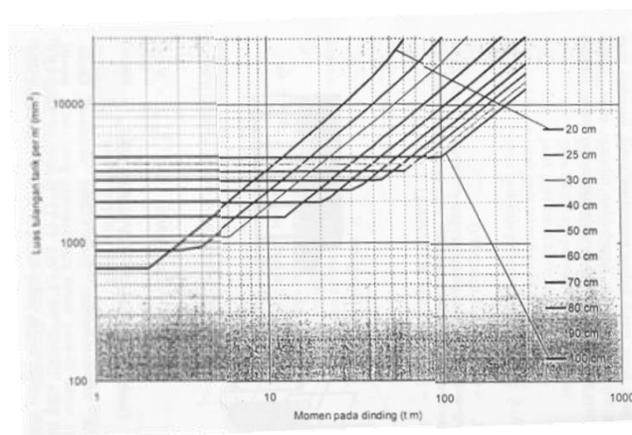
Resume faktor keamanan pada dinding kantilever

Tinjauan Stabilitas Dinding Kantilever	Hasil Perhitungan	Kontrol terhadap Faktor Keamanan
Fs Guling (Fs Overtuning)	6,912	> 2, ok
Fs Geser (Fs Sliding) eksentrisitas (e)	5,356	> 2, ok
Fs Kapasitas daya dukung	25,302	> 3, ok

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa dengan dimensi dinding penahan tanah aman terhadap Faktor Guling, Geser, dan daya dukung.

Menentukan perkuatan/tulangan akibat momen

Untuk menentukan perkuatan ini digunakan grafik kebutuhan tulangan tarik terhadap momen lentur per meter untuk mutu beton K-250 s/d K-300.



Gambar 6. Gambar tulangan dinding penahan tanah

Jika nilai momen yang bekerja pada dinding diplot pada grafik, maka akan diperoleh luas tulangan tarik per m' adalah (Tabel 5 dibawah)

1. Mf diperlukan luas tulangan minimum 2500 mm²
2. Mb diperlukan luas tulangan minimum 2500 mm²
3. Mh diperlukan luas tulangan minimum 2500 mm²

4. Mi diperlukan luas tulangan minimum 10500 mm²

Tabel 5.
Luas penampang vs jumlah tulangan lentur

Luas As (mm ²)	Jumlah Tulangan Lentur				
	D-12	D-16	D-19	D-22	D-25
600	6	3	3	2	2
650	6	4	3	2	2
700	7	4	3	2	2
800	8	4	3	3	2
900	8	5	4	3	2
1000	9	5	4	3	3
1200	11	6	5	4	3
1400	13	7	5	4	3
1600	15	8	6	5	4
1800	16	9	7	5	4
2000	18	10	8	6	5
2500	23	13	9	7	6
3000	27	15	11	8	7
3500	31	18	13	10	8
4000	36	20	15	11	9
5000	45	25	18	14	11
6000	54	30	22	16	13
7000	62	35	25	19	15
8000	71	40	29	22	17
9000	80	45	32	24	19
10000	89	50	36	27	21
15000	133	75	53	40	31
20000	177	100	71	53	41
25000	222	125	89	66	51
30000	266	150	106	79	62

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan pada dinding penahan tanah tipe kantilever dengan menggunakan data tanah hasil uji laboratorium untuk lokasi Proyek *Interchange* Manado maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Stabilitas guling (F_s guling) dinding penahan tanah memenuhi faktor keamanan dan penggerusan. Nilai stabilitas dinding penahan tanah dengan kondisi asli adalah F_s *Overtuning* 6,912, nilai F_s *Overtuning* ≥ 2 , Kecenderungan nilai F_s guling semakin bertambah seiring dengan bertambahnya lebar alas dinding penahan tanah tersebut.
- 2) Stabilitas geser (F_s geser) dinding penahan tanah memenuhi faktor keamanan dan penggerusan. Nilai F_s *sliding* 5,356 ≥ 2 , kecenderungan nilai F_s geser semakin bertambah seiring dengan bertambahnya lebar alas dinding penahan tanah tersebut.
- 3) Eksentrisitas (e) dinding penahan tanah untuk memperoleh nilai stabilitas keruntuhan daya dukung tanah (F_s *bearing capacity*) memenuhi faktor keamanan 0,011 $\leq B/6 = 0,82$.
- 4) Stabilitas keruntuhan daya dukung tanah (F_s daya dukung) dinding penahan tanah memenuhi faktor keamanan dan penggerusan. nilai F_s *bearing capacity* 25,302 ≥ 3 .
- 5) Nilai penggerusan (*scouring*) pada dasar dinding kantilever adalah 1,02 m.
- 6) Perencanaan tulangan diperoleh jumlah tulangan minimum dinding tegak 9 D 19 dan dasar dinding 36 D 19.

B. Saran

Untuk pengembangan penelitian sebaiknya dilakukan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Perlu dievaluasi terhadap kekuatan tanahnya maupun kekuatan dinding penahan tanahnya.
- 2) Supaya tercapainya angka keamanan (SF) terhadap pergeseran dengan memperbesar alas pondasi atau dibuat konstruksi pengunci.
- 3) Supaya tercapainya angka keamanan (SF) terhadap penggulingan dengan memperpanjang kaki atau tumit.
- 4) Untuk perhitungan dan analisa dinding penahan tanah sebaiknya menggunakan program bantu SAP2000 untuk mempermudah mendapatkan hasil perhitungan yang dianggap akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bowles, Joseph (translated by Sinaban Pantur), (1999), "*Analisis dan Disain Pondasi*" edisi ke tiga jilid 2. Jakarta. Penerbit Erlangga
- [2] Das, Braja M (translated by Mochtar. N. E and Mochtar I.B.), (1995), "*Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*" Jilid 2, Jakarta, Penerbit Erlangga.
- [3] Das, Braja M, (1990), "*Principles Of Foundation Engineering*, second edition", Boston, PWS- KENT Publishing Company.
- [4] Das, B. M., 2011, *Principles of Foundation Engineering*, 7th edition, Cengage Learning, Stamford USA.
- [5] Setiawan, Hendra, 2011, "*Perbandingan Penggunaan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Gravitasi dengan Variasi Ketinggian Lereng*", Infrastruktur Vol 1 No.2 Desember : 88-95, Universitas Tadulako: Palu.
- [6] Suryolelono, K. B, & Dip, H. E, 1994, "*teknik pondasi bagian I (pondasi telapak dan dinding penahan tanah)*", Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [7] Terzaghi, K, & peck, R. B, 1993, "*Mekanika Tanah dalam Praktik Rekayasa*", Penerbit Erlangga, Jakarta.