ANALISA PERKUATAN DINDING PENAHAN TANAH (STUDI KASUS : AREA BENDUNGAN WAMPU KECAMATAN KUTA BULUH KABUPATEN KARO)

Oleh:
Indra Kurniawan
Universitas Darma Agung, Medan
E-mail:
indra.kurniawan.29@gmail.com

ABSTRACT

In terms of seismicity, Wampu Dam, Kuta Buluh District, Karo Regency, lies in zone 2. This area is prone to earthquakes and Mount Sinabung's periodic eruptions. This dam is located in a mountainous location prone to landslides, hence slope strengthening with the building of retaining walls will be provided in sections with soft soil conditions. The calculation of the retaining wall's stability in a static condition reveals that the construction is stable overturning, shearing, and bearing capacity. The retaining wall's stability overturning, shearing, and bearing capacity offers a safe value, which is SF > 1.5, SF(overturning) = 2.331; SF(sliding) = 2.779; and SF(bearing capacity) = 4.839. The calculation of the retaining wall's stability in dynamic conditions reveals that the structure is stable overturning and bearing capacity, but not shear. The retaining wall's stability overturning and bearing capacity provide a safe value of SF > 1.5. SF(sliding) = 1.028 < 1.5; SF(overturning) = 1.849; SF(bearing capacity) = 1,779. After the structure is subjected to seismic loads, the value of SF decreases.

Keywords: Retaining Wall, Earthquake Force, Retaining Wall Stability

ABSTRAK

Bendungan Wampu Kecamatan Kuta Buluh Kabupaten Karo ditinjau dari tingkat kegempaan berada pada zona 2. Daerah ini rentan terhadap gempa dan sering terjadinya aktifitas erupsi Gunung Sinabung. Bendungan ini berada di daerah perbukitan yang rawan terhadap longsor, sehingga pada daerah dengan kondisi tanah lunak akan diberi perkuatan lereng dengan konstruksi dinding penahan tanah. Dari hasil perhitungan stabilitas dinding penahan tanah dalam keadaan statis didapatkan hasil bahwa struktur stabil terhadap guling, geser dan daya dukung. Stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling, geser, dan daya dukung memberikan nilai aman yaitu SF > 1,5, Nilai $SF_{(over\ turning)}$ = 2,331; $SF_{(Sliding)}$ = 2,779; $SF_{(bearingcapacity)}$ = 4,839. Dari hasil perhitungan stabilitas dinding penahan tanah dalam keadaan dinamis didapatkan hasil bahwa struktur stabil terhadap guling dan daya dukung, tetapi tidak stabil terhadap geser. Stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling dan daya dukung memberikan nilai aman yaitu SF > 1,5. Nilai $SF_{(Sliding)}$ 1,028 < 1,5; Nilai $SF_{(over\ turning)}$ = 1,849; $SF_{(bearingcapacity)}$ = 1,779. Nilai SF menjadi lebih kecil setelah konstruksi memikul beban gempa.

Kata Kunci : Dinding Penahan Tanah, Gaya Gempa, Stabilitas Dinding Penahan Tanah

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Daerah Kuta Buluh Kabupaten Karo berada pada zona gempa 2 yang rawan terhadap gempa, sehingga dalam perencanaan dinding penahan tanah pada area Bendungan Wampu harus memasukkan parameter koefisien tekanan tanah aktif yang disebabkan oleh gaya gempa.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pada dinding penahan tanah yang rentan terhadap gaya gempa, maka harus diperhitungkan faktor keamanan terhadap guling (*overturning*), geser (*sliding*), dan faktor keamanan terhadap daya dukung *(bearing capacity)*, dan perhitungan kapasitas daya dukung. Sehingga dinding penahan tanah tidak rubuh akibat beban dan gaya yang terjadi.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. mengetahui besarnya gaya-gaya yang terjadi pada dinding penahan tanah.
2. mengetahui besarnya gaya aktif pada dinding penahan tanah akibat percepatan gempa.
3. mengetahui faktor keamanan terhadap guling, geser, dan kapasitas daya dukung dinding penahan tanah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Definisi dinding penahan tanah (*retaining wall*)

Dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan tanah lepas atau alami dan mencegah keruntuhan tanah yang miring atau lereng yang kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri. Tanah yang tertahan memberikan dorongan secara aktif pada struktur dinding sehingga struktur akan cenderung terguling atau tergeser. Bangunan ini biasa digunakan untuk menopang tanah, timbunan dan lain sebagainya. Jenis-jenis dinding penahan tanah yaitu :

a. Dinding Gravitasi (*Gravity Wall*) :
   Dinding ini biasanya dibuat dari beton murni (tanpa tulangan) atau dari pasangan batu kali. Stabilitas konstruksi diperoleh hanya dengan mengandalkan berat sendiri.
b. Dinding *Kantilever* (*Cantilever Wall*)
   Dinding *Kantilever* dibuat dari beton bertulang yang tersusun dari suatu dinding vertikal dan tapak lantai. Masing-masing berperan sebagai balok atau pelat *Kantilever*. Stabilitas konstruksi diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan berat tanah di atas tumit tapak (*hell*). Terdapat 3 bagian struktur yang berfungsi sebagai *Kantilever*, yaitu bagian dinding vertikal (*steem*), tumit tapak dan ujung kaki tapak (*toe*).
c. Dinding *Kontrafort* (*Counterfort Wall*)
   Apabila tekanan tanah aktif pada dinding vertikal cukup besar, maka bagian dinding vertikal dan tumit perlu disatukan (*counterfort*). *Kontrafort* berfungsi sebagai pengikat tarik dinding vertikal dan di tempatkan pada bagian timbunan dengan interval jarak tertentu.
d. Dinding *Butters* (*Buttrers Wall*)
   Dinding ini hampir sama dengan dinding *kontrafort*, hanya bedanya bagian *kontrafort* diletakkan di depan dinding. Dalam hal ini, struktur *kontrafort* berfungsi memikul tegangan tekan. Pada dinding ini, bagian tumit lebih pendek daripada bagian kaki. Stabilitas konstruksinya diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan berat tanah di atas tumit tapak.
e. Abutment Jembatan (*Bridge Abutment*)
   Struktur ini berfungsi seperti dinding penahan tanah yang memberikan tahanan horisontal dari tanah timbunan di belakangnya. Pada perencanaannya, struktur dianggap sebagai balok yang dijepit pada dasar dan ditumpu bebas pada bagian atasnya.

f. Dinding Turap
   Berdasarkan material yang digunakan dikenal beberapa macam dinding turap sesuai dengan material yang digunakan yaitu dinding turap baja, kayu, dan beton.
g. *Box culvert*
   Box culvert dapat dibuat dengan satu atau dua lubang, dan berfungsi sebagai portal kaku tertutup yang dapat menahan tekanan tanah lateral dan beban vertikal.

Tanah dan Agregat

Tanah dan Agregat merupakan campuran sebagian atau seluruh jenis berangkal *(boulders)*, kerakal *(cobbles)*, kerikil *(Gravels)*, pasir *(Sands)*, lanau *(Silts)* dan lempung *(Clays)* serta koloid *(Colloids)*. Menurut ASTM, pembagian atau pendistribusian ukuran butir adalah sebagai berikut :

Tabel 1. **Ukuran Butir Dari Berbagai Jenis Material**

No	Material	Ukuran Butir (mm)
1.	Kerikil (*Gravels*)	4.75 – 75
2.	Pasir (*Sand*) Kasar (*Coarse*) Sedang (*Median*) Halus (*Fine*)	0.075 – 4.75 2.000 – 4.75 1.425 – 2.00 0.075 – 1.425
3.	Lanau (*Silts*)	0.005 – 0.075
4.	Lempung (*Clays*)	0.001 – 0.005
5.	Koloid (*Colloids*)	< 0.001

(Mekanika Tanah, Braja M. Das, 1993)

Teori Analisa Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring disebut analisis stabilitas lereng. Konsep dinding penahan tanah adalah perkuatan tanah yang digunakan untuk menahan beban tanah secara vertikal ataupun terhadap kemiringan tertentu.

Kestabilan suatu lereng dinyatakan dengan faktor keamanan. Faktor keamanan adalah perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak pada lereng (Hariyadi dan Wahyudhi, 2016). Di bawah ini merupakan persamaan faktor keamanan lereng :

Mekanisme Keruntuhan Tanah

Pola keruntuhan tanah dapat terjadi secara alami maupun akibat konstruksi/bangunan yang ada di atas tanah. Keruntuhan tanah yang terjadi secara alami dapat dilihat pada suatu lereng, dimana keruntuhan lereng tersebut merupakan suatu bidang ketika tegangan geser sepanjang bidang geser lebih besar dari kekuatan tanah. Jika permukaan runtuh memotong lereng pada kaki atau di atas kaki lereng disebut "*slope cirlce*", jika permukaan runtuh melalui kaki lereng disebut "*toe circle*", dan jika permukaan runtuh berada di bawah kaki lereng keruntuhan dan di bawah permukaan disebut " *mid point circle*". Untuk Meningkatkan stabilitas lereng dari keruntuhan yakni akibat tegangan geser sepanjang bidang geser tanah maka dibuat dinding penahan tanah.

Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan akibat dorongan tanah di belakang struktur penahan tanah. Besarnya tekanan lateral sangat dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan dan sifat-sifat tanahnya.

Analisis tekanan tanah lateral ditinjau pada kondisi keseimbangan plastis, yaitu saat massa tanah pada kondisi tepat akan runtuh (Rankine,1857). Besarnya tekanan tanah ditentukan oleh :

a. Koefisien tekanan tanah aktif, pasif dan tekanan tanah aktif pada saat gempa;
b. Kohesi tanah;
c. Beban yang bekerja pada permukaan tanah timbunan.

Analisis tekanan tanah lateral ditinjau pada kondisi keseimbangan elastis, yaitu teori yang digunakan untuk menghitung profil tekanan lateral pada dinding penahan tanah dari pembebanan muatan tambahan permukaan (titik, garis, lajur). Jenis-jenis pembebanan pada dinding penahan yang dapat menaikkan tekanan tanah dapat dibagi atas :

1. Beban titik atau beban terpusat *Q* diletakkan pada permukaan tanah urugan dibelakang dinding.
2. Beban garis yaitu beban yang diletakkan sejajar dengan puncak (bagian atas) dinding penahan.
3. Beban lajur sebesar *q* persatuan luas dapat berbentuk beban merata persegi panjang, beban merata segi tiga, dengan beban merata trapesium.

Tabel 3. **Koefisien Geser Dasar Gempa**

Daerah Gempa (Zona)	***C***		
	Tanah Keras	**Tanah Sedang**	**Tanah Lunak**
1	0,20	0,23	0,23
2	0,17	0,21	0,21
3	0,14	0,18	0,18
4	0,10	0,15	0,15
5	0,07	0,12	0,12
6	0,06	0,06	0,07

Sehingga gaya akibat gempa adalah :

$$P_{ae} = \frac{\gamma H^2}{2}(1-K_v)K_{AE}'$$

Perencanaan dinding penahan tanah

Jenis atau tipe dinding penahan tanah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dinding penahan tanah tipe gravitasi. Perencanaan dinding penahan tanah ini digunakan untuk menganalisa stabilitas dari setiap struktur. Bentuk dan ukuran bagian dari dinding penahan tanah tipe gravitasi di bawah kondisi normal, sebagai berikut :

a. Lebar pelat lantai (B) dengan ukuran 0,5H-0,7H
b. Lebar puncak dengan ukuran =0,3H-H/12
c. Tebal kaki dan tumit dengan ukuran H/8–H/6
d. Lebar kaki dan tumit dengan ukuran (0,5 –1)d

Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Analisa stabilitas dinding penahan tanah harus memperhatikan hal-hal berikut ini :

1. Berat sendiri dari dinding penahan tanah
2. Gaya tekan tanah aktif
3. Gaya tekan tanah pasif
4. Tekanan air
5. Reaksi tanah dasar

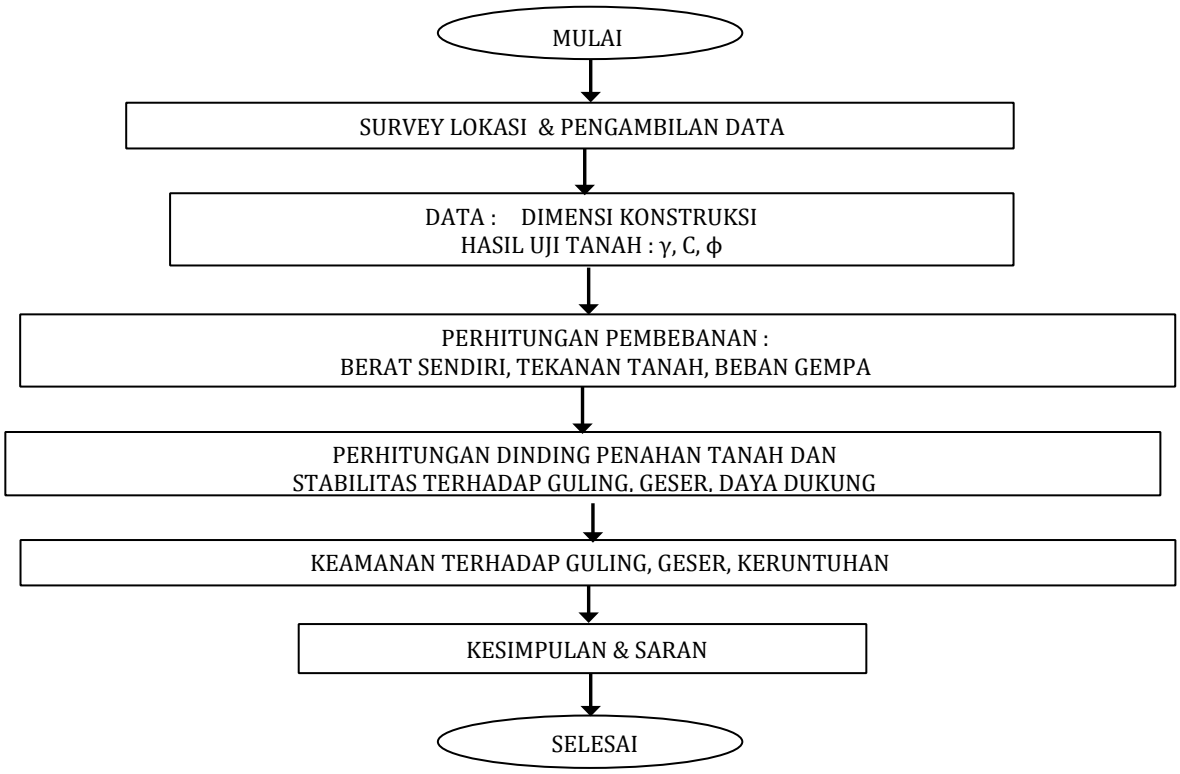
Penggunaan bahan dalam konstruksi dinding penahan tanah memberikan perkuatan pada massa tanah, memperbesar timbunan di belakang dinding penahan tanah. Perkuatan juga mengurangi potensi gaya lateral yang dapat menimbulkan perpindahan kearah horizontal dari dinding penahan tanah akibat adanya beban *vertical* yang dipindahkan menjadi tekanan tanah aktif (Suryolelono, 1994). Adapun analisis yang diperlukan untuk konstruksi dinding penahan tanah, antara lain:

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Dinding penahan tanah berada pada lokasi Bendungan Wampu Kecamatan Kuta Buluh Kabupaten Karo, Tinggi dinding penahan tanah tipe grafitasi adalah 9 meter dibagi menjadi 2 trap, hal ini dilakukan karena dinding penahan tanah berada pada lereng yang curam dengan kemiringan lereng 58°.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. **Bagan Alir Metodologi Penelitian**

Pengambilan Data

Untuk memperoleh data yang sesuai dengan masalah yang diteliti atau akan dibahas, maka peneliti menggunakan teknik pengumpulan data sebagai berikut :

1. Data Primer : data ini diperoleh secara langsung dari lapangan antara lain :
   a. Data yang diperoleh secara langsung di lapangan baik dengan pengamatan/ pengukuran sendiri.
   b. Pengambilan sampel tanah asli di lokasi.
   c. Data-data pendukung lainnya yang di dapat dari pengujian laboratorium.
2. Data Sekunder : data yang diperoleh dari buku-buku referensi yang berhubungan dengan permasalahan.

Metode Analisis

Metode pengolahan dan menganalisis data setelah semua data terkumpul, maka dilakukan analisis dan pengolahan data dengan cara :

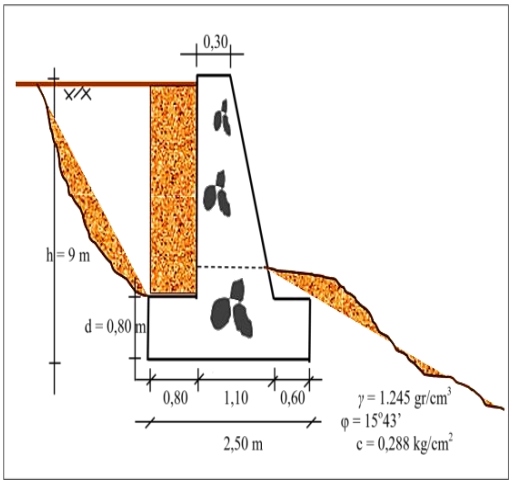
a. Menganalisa dan menghitung kestabilan dinding penahan tanah terhadap daya dukung tanah.
b. Menganalisa dan menghitung kestabilan dinding penahan tanah terhadap gaya pergeseran dan penggulingan.
c. Menganalisa dan menghitung terhadap gaya-gaya dalam yang bekerja pada dinding penahan tanah tipe grafitasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

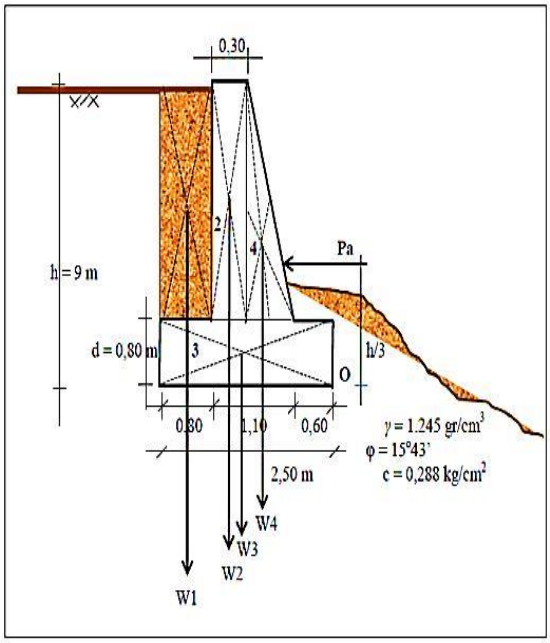
Perhitungan Dinding Penahan Tanah Kondisi Statis

Perhitungan dinding penahan tanah kondisi statis, yaitu kondisi dimana tanpa memperhitungkan beban gempa. Perencanaan dinding penahan tanah (*Retaining Wall*) sebagai berikut (gambar 3) :

Gambar 3. **Perencanaan dinding penahan tanah**



Gambar 4. **Titik Berat Pada Dinding Penahan Tanah**



Tabel 5. **Berat Dinding Penahan Tanah dan Momen Tahanan terhadap titik O**

No	Uraian Perhitungan Berat Dinding	Berat Dinding (ton)	Lengan Momen (m)	Momen Tahanan (ton.m)
1	W_1 = 1,245 × (8,2 x 0,80)	8,167	2,100	17,151
2	W_2 = 2,40 × (8,2 x 0,30)	5,904	1,550	9,150
3	W_3 = 2,40 × (2,5 × 0,80)	4,800	1,250	6,000
4	W_4 = 2,40 × (½ ×(8,2 x 0,80)	7,872	1,000	7,872
	Total	**26,743**		**40,173**

Tabel 6. **Beban dan Gaya-Gaya yang Bekerja pada Dinding Penahan Tanah**

No	Beban	Nilai Beban (ton)	Lengan Momen (m)	Mo (ton. m)	M_R (ton. m)
1	W1	8,167	2,100	-	17,15
2	W_2	5,904	1,550	-	9,150
3	W3	4,800	1,250	-	6,000
4	W_4	7,872	1,000	-	7,872
5	P_a	5,745	3,000	17,23	40,17

Faktor Keamanan untuk Dinding Penahan Tanah :

a) Faktor Keamanan terhadap Guling (*Overturning*)

$$SF_{(over\ turning)} = 2,331$$

b) Faktor Keamanan terhadap Geser (*Sliding*)

$$SF(Sliding) = 2,779$$

c) Faktor Keamanan terhadap Daya Dukung (*Bearing capacity*)

$$SF_{(bearing\ capacity)} = 4,839$$

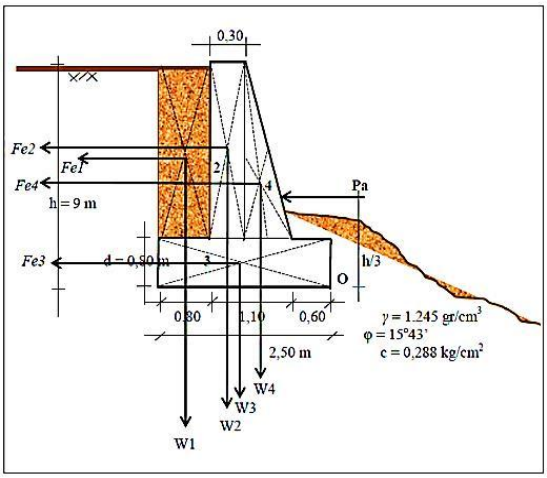
Tabel 7. **Tinjauan Terhadap Guling, Geser, Daya Dukung Kondisi Statis**

	SF	***Hasil***	***Rujukan***	***Kondisi***
SF Terhadap Guling	$SF_{(over\ turning)}$	2.331	1,5	Aman
SF Terhadap Geser	$SF_{(Sliding)}$	2.779	1,5	Aman
SF Terhadap Daya Dukung	$SF_{(bearingcapacity)}$	4,839	1,5	Aman

Perhitungan Dinding Penahan Tanah Kondisi Dinamis

Perhitungan dinding penahan tanah kondisi dinamis, yaitu kondisi dimana dengan memperhitungkan beban gempa.

Gambar 5. **Gaya-Gaya yang bekerja akibat Beban Dinamis**



• Koef. gempa (K_h) = percepatan gempa (ag) = 0,257

• Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/dt²

$Fe_1 = W_1 \times K_h$= 8,167 x 0,257= 2,099 ton.
$Fe_2 = W_2 \times K_h$= 5,904 x 0,257= 1,517 ton
$Fe_3 = W_3 \times K_h$ = 4,800 x 0,257= 1,234 ton
$Fe_4 = W_4 \times K_h$ = 7,872 x 0,257= 2,023 ton

Tabel 8. **Gaya-Gaya Yang Bekerja Akibat Beban Dinamis**

No	**Beban**	**Nilai Beban (ton)**	**Lengan Momen (m)**	**Mo (ton. m)**	**MR (ton. m)**
1	Fe_1	2,099	4,90	-	10,285
2	Fe_2	1,517	4,95	-	7,509
3	Fe_3	1,234	0,40	-	0,494
4	Fe_4	2,023	3,53	-	7,141
5	T_{EX}	8,247	1,667	13,747	25,429
6	T_{EY}	8,247	3,000	24,743	

Faktor keamanan untuk dinding penahan tanah:

a) Faktor Keamanan terhadap Guling (*Overturning*)

$$SF_{(over\ turning)} = 1,849$$

b) Faktor Keamanan terhadap Geser (*Sliding*)

$$SF_{(Sliding)} = 1,028$$

c) Faktor Keamanan Terhadap Daya Dukung (*Bearing capacity)*

$$SF_{(Bearing\ capacity)} = 1,799$$

Tabel 9. **Tinjauan Terhadap Guling, Geser, Daya Dukung Kondisi Dinamis**

	SF	Hasil	Rujukan	Kondisi
SF Terhadap Guling	$SF_{(over\ turning)}$	1.849	1,5	Aman
SF Terhadap Geser	$SF_{(Sliding)}$	1.028	1,5	Tidak Aman
SF Terhadap Daya Dukung	$SF_{(bearingcapacity)}$	1,799	1,5	Aman

Dari perhitungan mencari nilai *Safety factor* (angka keamanan) pada dinding penahan tanah model gravitasi di daerah Bendungan Wampu Kecamatan Kuta Buluh Kabupaten Karo, memberikan hasil sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan stabilitas dinding penahan tanah dalam keadaan statis didapatkan hasil bahwa struktur stabil terhadap guling, geser dan daya dukung.
   a. Stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling, geser, dan daya dukung memberikan nilai aman yaitu SF > 1,5.
   b. Nilai $SF_{(over\ turning)}$ = 2,331 ; $SF_{(Sliding)}$ = 2,779 ; $SF_{(bearingcapacity)}$ = 4,839.
2. Pada perhitungan stabilitas dinamis dinding penahan tanah berdasarkan teori kesetimbangan gaya didapatkan hasil bahwa pada dinding penahan tanah stabil terhadap guling dan daya dukung, tetapi tidak stabil terhadap geser.
   a. Stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling dan daya dukung memberikan nilai aman yaitu SF > 1,5.
   b. Dinding penahan tanah tidak stabil terhadap gaya geser yaitu adanya beban dinamis gempa, dimana $SF_{(Sliding)}$ 1,028 < 1,5
   c. Nilai $SF_{(over\ turning)}$ = 1,849 ; $SF_{(Sliding)}$ = 1,028 ; $SF_{(bearingcapacity)}$ = 1, 779.

Nilai SF menjadi lebih kecil setelah konstruksi memikul beban gempa.

5. SIMPULAN

Dari perhitungan mencari nilai *Safety factor* (angka keamanan) pada dinding penahan tanah model grafitasi di daerah Bendungan Wampu Kecamatan Kuta Buluh Kabupaten Karo, memberikan hasil sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan stabilitas dinding penahan tanah dalam keadaan statis didapatkan hasil bahwa struktur stabil terhadap guling, geser dan daya dukung.
2. Stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling, geser, dan daya dukung memberikan nilai aman yaitu SF > 1,5.
3. Nilai $SF_{(over\ turning)}$ = 2,331 ; $SF_{(Sliding)}$ = 2,779 ; $SF_{(bearingcapacity)}$ = 4,839.
4. Pada perhitungan stabilitas dinamis dinding penahan tanah berdasarkan teori kesetimbangan gaya didapatkan hasil bahwa pada dinding penahan tanah stabil terhadap guling dan daya dukung, tetapi tidak stabil terhadap geser.
5. Stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling dan daya dukung memberikan nilai aman yaitu SF > 1,5.
6. Dinding penahan tanah tidak stabil terhadap gaya geser yaitu adanya beban dinamis gempa, dimana $SF_{(Sliding)}$ 1,028 < 1,5
7. Nilai $SF_{(over\ turning)}$ = 1,849 ; $SF_{(Sliding)}$ = 1,028 ; $SF_{(bearingcapacity)}$ = 1,779.
8. Nilai SF menjadi lebih kecil setelah konstruksi memikul beban gempa.

Saran

1. Dalam menentukan alternatif desain dinding penahan tanah harus melihat kondisi lapangan agar tingkat kestabilan konstruksi dapat tercapai.

2. Dalam perencanaan dinding penahan tanah lebih baik digunakan struktur kolom (menggunakan tulangan) sebagai perkuatan terhadap gempa.

6. DAFTAR PUSTAKA

Bowles, Joseph (translated by Sinaban Pantur), (1999), "*Analisis dan Disain Pondasi"* edisi ketiga jilid 2. Jakarta. Penerbit Erlangga

Das, Braja M (translated by Mochtar. N. E and Mochtar I.B.), (1995), "*Mekanika Tanah (PrinsipprinsipRekayasa Geoteknis)"* Jilid 2, Jakarta, Penerbit Erlangga.

Das, Braja M, (1990), "*Principles Of Foundation Engineering*, second edition", Boston, Pws-kent Publishing Company.

Das, Braja M., (1984), *"Fundamentals of Soil Dynamics"*, Elsevier Science Publishing Co. Inc.,New York.

Guy Sangrelat, Gilbert Olivari dan Bernard Cambou (1989), Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, Bagian I & II, Airlangga.

James K.Mitc*hell* (2002), Fundamentals of Soil Behavior, University of California, Berkeley, Jhon Wiley & Sons, Inc.

Joseph E Bowles dan Johan K.Hainim (1989), Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah), Cetakan II, Erlangga.

Ir.G.Djatmiko Soedarno (1993), Mekanika Tanah 2 , Kanisius, Yokyakarta.

Ir. Sunggono Kh (1982), Mekanika Tanah, Penerbit Nova Bandung.

L.D. Wesley (1973), Mekanika Tanah terjemahan : Ir.A.M.Luthfi, Pekerjaan Umum, Jakarta

Mario Paz, „Dinamika Struktur, Teori dan Perhitungan", Penerbit Erlangga Jakarta, Edisi Kedua R.F.Craig (1989), Budi Susilo.S, Mekanika Tanah, Edisi IV, Erlangga.

Robert D.Holtz ande William D.Kovacs (2001), An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice Hall, Inc, Englewood Chiffs, Jersey.

Silitonga, P.H. dan Kastowo, 1995, "*Peta Geologi Sumatera*", Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.

Sukmono, S, M.T. Zein, W.G.A. Kadir, "*Geometry and Fractal Characteristic of Sumatera Active Fault*" , Proc. Indonesian Petrolium Association, 24 th, Oktober 1995.

Hardiyatmo, Christady. (2003), *Mekanika Tanah II Edisi 3*. Hal. 189-219, 359-371. Yogyakarta : Gadjah Mada Universitypress.

M.Das, Braja. (2014). *Principles of Foundation Engineering Eight Edition*. Hal. 653. Boston,USA.

Hadihardaja, Joetata. (1997). *Rekayasa Pondasi I Konstruksi Penahan Tanah*. Hal. 55-77. Gunadarma.