

PENGARUH GEMPA TERHADAP DINDING PENAHAN TANAH TIPE KANTILEVER

Elisabeth Somba Tjhan

Program Profesi Insinyur, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: mei_tjhan@yahoo.com

ABSTRAK

Tanah yang curam/lereng dapat runtuh karena adanya beban tambahan (efek gempa) yang bekerja secara tiba-tiba. Hal ini memungkinkan karena Sulawesi Utara termasuk pada zone dengan resiko gempa yang relatif besar. Upaya mencegah keruntuhan tanah dilakukan dengan membuat struktur penahan tanah (dinding penahan).

Analisis dinding penahan tanah tipe kantilever dilakukan dengan memperhitungkan tekanan yang bekerja berupa tekanan tanah statis (berat sendiri tanah, adanya muka air) dan tekanan tanah dinamis (gaya gempa), dimana permukaan tanah merupakan permukaan yang horizontal / rata. Tekanan tanah statis dianalisa berdasarkan teori tekanan tanah Coulomb untuk mendapatkan tekanan lateral pasif. Sedangkan tekanan tanah dinamis menggunakan prinsip massa terpusat (Lumped Mass). Tekanan lateral akibat gempa didapat dengan mengalikan berat massa runtuh tiap lapisan dengan koefisien gempa (didapat dari prinsip massa terpusat) pada lapisan tersebut. Tekanan lateral total yang bekerja pada dinding penahan merupakan superposisi dari tekanan-tekanan lateral. Dari tekanan total didapat suatu struktur dinding penahan yang harus memenuhi kriteria stabilitas.

Hasil analisa menunjukkan bahwa jika dibelakang dinding penahan terdapat muka air, semakin tinggi dinding (H) tekanan lateral akibat air menjadi semakin besar. Efek gempa memberikan tambahan tekanan yang cukup besar, dan kurva tekanan lateral total berbentuk lengkung. Jika drainase dinding dibuat maka akan menghemat material karena tekanan lateral menjadi lebih kecil.

Kata kunci: Pengaruh gempa, dinding penahan kantilever

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah yang curam atau lereng banyak dijumpai disekitar kita, apakah itu terbentuk secara alamiah seperti lereng pada daerah yang berbukit, maupun yang dibuat oleh manusia seperti sisi dari galian ataupun lereng yang terjadi dari timbunan tanah.

Suatu lereng yang mulanya aman, dapat terjadi pergeseran tanah atau keruntuhan tanah pada lereng itu. Kondisi ini disebabkan pada lereng tersebut bekerja gaya luar secara tiba-tiba, misalnya gaya gempa dimana lereng menjadi tidak stabil sehingga dapat terjadi keruntuhan tanah. Untuk mencegah agar tidak terjadi keruntuhan tanah maka dibuat dinding penahan tanah.

Dalam mendisain struktur penahan tanah, yang harus kita perhatikan adalah masalah tekanan tanah yang bekerja di belakang dinding. Tekanan tanah ini akan bertambah besar jika terjadi gempa. Oleh sebab itu dalam merencanakan struktur dinding penahan tanah

sudah sepantasnya efek gempa dimasukkan dalam perhitungan mengingat Indonesia termasuk dalam zone rawan gempa.

Pembatasan Masalah

Menyangkut masalah diatas, penulis mencoba memasukkan pengaruh gempa dalam menganalisis dinding penahan, dimana permukaan tanah dibelakang dinding penahan diambil horizontal. Efek gempa untuk tanah dibelakang dinding dianalisa dengan menggunakan prinsip massa terpusat (Lumped Mass) sedangkan efek gempa terhadap struktur dinding penahan itu sendiri menggunakan koefisien gempa rata-rata.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

- Mendapatkan hubungan antara tekanan tanah dengan tinggi dinding penahan akibat beban statis dan beban gempa.
- Menghitung perbandingan dimensi dinding penahan untuk keadaan :

- a. Tidak ada muka air tanah dibelakang dinding.
- b. Adanya muka air tanah dibelakang dinding
- c. Memasukkan pengaruh gempa.

diganti dengan gaya inerti yang besarnya sama dengan :

$$F = \alpha r \cdot W$$

dimana:

F = gaya inerti

αr = koefisien gempa

LANDASAN TEORI

Sifat-sifat Tanah untuk Analisis Dinding Penahan

Sifat-sifat tanah yang ada hubungannya dengan merencanakan suatu struktur penahan tanah:

1. Berat Isi tanah (γ)
 - $\gamma = ((Gs + Sr \cdot e)/(1 + e)) \gamma^w$
untuk tanah jenuh sempurna ($Sr = 1$)
 - $\gamma = ((Gs + e)/(1 + e)) \gamma^w$
untuk tanah kering sempurna ($Sr = 0$)
 - $\gamma = (Gs / (1 + e)) \gamma^w$

2. Tegangan Efektif dan Tegangan Air Pori.

Jika gaya luar bekerja pada tanah yang jenuh mula-mula tekanan (gaya luar) akan ditahan oleh air yang terdapat diantara pori-pori tanah. Setelah air pori keluar (mengalir) maka tekanan itu berangsur-angsur ditahan oleh butir-butir tanah. Tekanan yang dipikul oleh air pori disebut tegangan air pori, sedang yang dipikul oleh butir tanah disebut tegangan efektif. Jumlah tegangan efektif dan tegangan air pori disebut tegangan total.

$$\sigma = \sigma' - \mu$$

3. Kekuatan Geser.

Kekuatan geser tanah ditentukan oleh interaksi antar partikel-partikel tanah yang dapat menahan gaya normal dan gaya geser. Bila gaya geser bekerja pada suatu massa tanah dimana bekerja pula gaya normal maka tegangan geser (τ) akan membesar akibat deformasi dan mencapai nilai batas (kritis).

Pengaruh Gempa pada Dinding Penahan.

Getaran yang diakibatkan oleh percepatan gempa dapat menyebabkan deformasi pada suatu konstruksi dinding penahan sampai terjadi keruntuhan struktur. Hal ini selain disebabkan pengaruh gempa pada dinding penahan, juga diakibatkan bertambahnya tekanan di belakang dinding penahan.

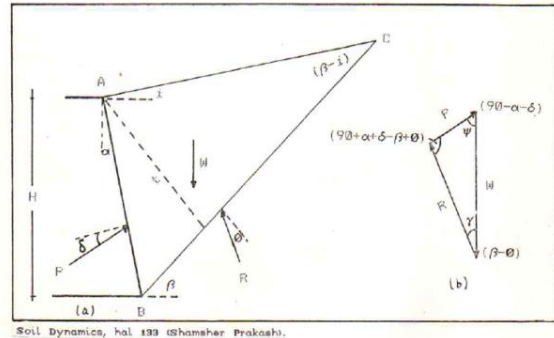
Besarnya deformasi yang timbul pada suatu dinding penahan selama terjadinya gempa bumi tergantung dari "time history" gaya inertianya. Dalam menganalisa pengaruh gempa pada dinding penahan maka efek dinamis dari gempa

Tekanan Tanah

1. Kesetimbangan Tanah
 - Tekanan tanah aktif
 $P_a = \gamma \cdot h \cdot K_a - 2C \cdot \sqrt{K_a}$
 - Tekanan tanah pasif
 $P_p = \gamma \cdot h \cdot K_p + 2C \cdot \sqrt{K_p}$
2. Tekanan Tanah Statis.

Untuk menentukan besarnya tekanan tanah, digunakan Teori Tekanan Tanah Coulomb (Shamsher, 1981).

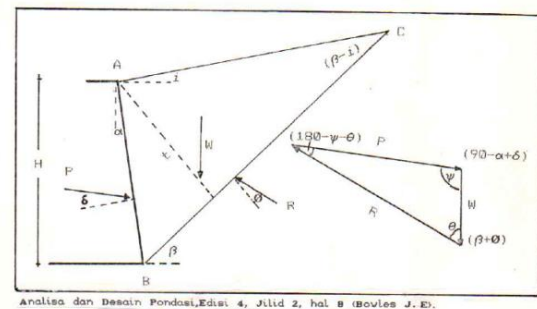
Tekanan Tanah Aktif



Tekanan total pada tembok :

$$P_a = \int_0^H [((\gamma \cdot h) / N_\phi) - (2C / \sqrt{N_\phi})] dh$$

Tekanan Tanah Pasif



Tekanan total pada tembok:

$$P_p = \int_0^H [((\gamma \cdot h \cdot N_\phi) + (2C / \sqrt{N_\phi})]$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot N_\phi + 2C \cdot H \cdot \sqrt{N_\phi}$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p + 2C \cdot H \cdot \sqrt{K_p}$$

3. Tekanan Tanah Akibat Beban Gempa.

Gempa bumi yang terjadi dapat menyebabkan tekanan tanah pada dinding penahan bertambah, efek dari gempa terhadap dinding diganti dengan gaya statis yang besarnya :

$$\Delta P_{AE} = \alpha_r \cdot W$$

Dimana:

ΔP_{AE} = tekanan tanah pada dinding penahan akibat gempa

α_r = koefisien gempa dalam arah lateral

W = berat massa runtuh.

Garis kerja dari tekanan lateral akibat efek gempa (ΔP_{AE}) tegal lurus dinding penahan.

4. Pengaruh Beban Luar dan Air.

a. Beban Luar

- 1) Beban merata
- 2) Beban garis
- 3) Beban titik

b. Pengaruh Air

Jika sebagian atau seluruh tanah dibelakang dinding berada di bawah permukaan air maka tekanan pada dinding menjadi:

$$P_1 = K\alpha \cdot (\gamma \cdot h + \gamma' (y - h))$$

$$P_2 = \gamma_w (y - h)$$

dimana : $\gamma' = (\gamma_{sat} - \gamma_w)$

$$\gamma' = \gamma_{sub}$$

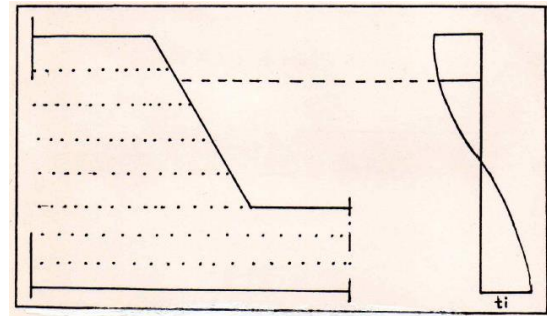
Pengaruh gempa terhadap tanah dibelakang dinding penahan yang terdapat muka air tidak dihitung secara terpisah tetapi dihitung sebagai tanah jenuh air (γ_{sat})

Koefisien Gempa

Ada dua cara analisa yang dapat digunakan dalam menghitung koefisien gempa yaitu dengan analisa statis dan analisa dinamis. Dalam Analisa Statis ini efek dinamis dari gempa diganti dengan gaya statis. Sedang pada Analisa Dinamis, percepatan tanah akibat gempa menyebabkan setiap lapisan tanah mengalami percepatan yang berbeda pada setiap waktu.

Respon dinamis dari lereng dapat dianalisa dengan menggunakan prinsip massa terpusat (lumped mass), lereng dibagi atas beberapa potongan melintang (vertical cross section) dan tiap potongan melintang dibagi lagi atas beberapa lapisan horizontal dengan massa tertentu. Dengan demikian dapat diperoleh respon dinamis dari lereng.

Gambar berikut ini memperlihatkan distribusi percepatan pada waktu i.



Gambar 1. Distribusi percepatan pada waktu i

Maka gaya inerti untuk setiap elemen dengan berat ΔW dapat dinyatakan dengan:

$$\Delta P_{AE} = (\Delta W_i / g) \ddot{U}_i \max$$

$$\Delta P_{AE} = \Delta m_i \ddot{U}_i \max$$

Bila ΔP_{AE} dinyatakan dengan koefisien gempa, maka persamaan menjadi :

$$\Delta P_{AE} = \Delta W \cdot \alpha_r (y)_{\max}$$

$$\alpha_r (y)_{\max} = (1/g) \ddot{U}_i \max$$

Harga koefisien gempa pada setiap kedalaman ini ($\alpha_r (y)_{\max}$) digunakan untuk menghitung tekanan akibat gempa yang bekerja di belakang dinding penahan pada setiap lapisan tanah. Sedangkan untuk menghitung kestabilan dinding penahan, digunakan koefisien gempa rata-rata.

Dinding Penahan

Dinding penahan adalah suatu bangunan yang dibangun untuk mencegah keruntuhan tanah yang curam atau lereng, dimana kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng itu sendiri. Dinding penahan terdiri dari beberapa jenis dimana penggunaannya disesuaikan dengan ketinggian serta kegunaannya.

Pemilihan macam dinding penahan diperlihatkan pada Tabel 1. berikut

Tabel 1. Pemilihan Tipe Dinding Penahan

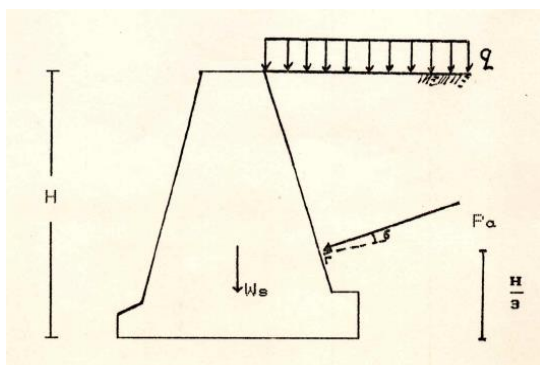
Tipe	Tinggi	5	10	15 (m)
Tembok penahan batu/pasangan		-----		
Tembok penahan tipe gravitasi		-----		
Tembok penahan tipe balok kanti-lever		-----	-----	
Tembok penahan dgn dinding penopang		-----	-----	-----

Sumber: Sosrodarsono, 1984

Analisa Dinding Penahan

Beban yang bekerja

- Beban statis – gaya-gaya yang dipakai dalam merencanakan struktur penahan tanah akibat beban statis:
 - a. Berat sendiri dinding penahan (W_s).
 - b. Tekanan tanah (P_a)
 - c. Beban Luar
 - d. Tekanan Air
- Beban dinamis – gaya-gaya yang dipakai dalam perencanaan dinding penahan jika terjadi gempa:
 - a. Berat sendiri tembok penahan (W_s)
 - b. Pengaruh gempa pada tembok penahan ($\alpha \cdot W_s$)
 - c. Tekanan tanah (P_a)
 - d. Tekanan tambahan akibat gempa pada tanah ΔP_{AE} .
 - e. Beban luar
 - f. Tekanan air



Gambar 2. Beban yang bekerja

Stabilitas Dinding Penahan.

Stabilitas Dinding Penahan yang perlu ditinjau adalah:

1. Stabilitas terhadap guling.
2. Stabilitas terhadap geser.
3. Stabilitas terhadap eksentrisitas.
4. Stabilitas terhadap daya dukung.

Drainase

Sistem drainase sangat penting untuk konstruksi dinding penahan. Kadar air tanah isian seringkali meningkat karena penyusupan air hujan. Peningkatan kadar air ini mengakibatkan penambahan berat isi tanah dibelakang dinding penahan. Akibat dari air yang tertahan menyebabkan tekanan tanah bertambah besar. Untuk menanggulangi agar tidak terjadi kerusakan struktur maka dibuat suatu lobang pengeluaran (weep hole) pada tembok penahan tersebut. Weep hole adalah suatu pipa dengan

diameter min 3", jarak antara weep hole 1 – 2 m dalam arah vertikal maupun horizontal.

METODOLOGI

Memasukkan pengaruh gempa pada perhitungan suatu konstruksi dinding penahan memerlukan proses yang cukup panjang. Dalam perhitungan ini pengaruh gempa terhadap tanah dibelakang dinding penahan yang akan bekerja sebagai tekanan tanah tambahan, yang kedua dimana pengaruh gempa terhadap konstruksi dinding penahan itu sendiri yang digunakan untuk menghitung stabilitas konstruksi.

Sistematika Perhitungan

Langkah-langkah perhitungan

1. Tentukan tekanan tanah statis (P_a)
2. Tentukan tekanan tanah akibat adanya gempa (ΔP_{AE}). ΔP_{AE} ini dihitung dengan bantuan program
3. Tentukan tekanan tanah total

$$P_{AE} = P_a + \Delta P_{AE}$$
4. Dimensi dinding penahan akibat P_a serta akibat ΔP_{AE} kemudian dikontrol terhadap stabilitas, jika salah satu dari stabilitas tidak memenuhi maka dimensi dirobah sampai stabilitasnya tercapai.

STUDI KASUS

Direncanakan konstruksi dinding penahan tipe kantilever dengan tinggi (H) = 6 m, untuk kondisi:

- a. Tanah dibelakang dinding penahan tidak terdapat muka air tanah.
- b. Tanah dibelakang dinding penahan dengan muka air (h_1) = 2 m dari permukaan tanah.
- c. Tanah dibelakang dinding penahan dengan muka air (h_1) = 2 m dari permukaan tanah yang dipengaruhi beban gempa (gempa El-Centro)

Data-data sebagai berikut:

- Dinding penahan kantilever :
 - $\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$,
 - $\delta = 0$,
 - tegangan geser ($\bar{\tau}_b$) = 8 kg/m^2 .
- Tanah dibelakang dinding penahan:
 - $\gamma = 1710 \text{ kg/m}^3$
 - $C = 900 \text{ kg/m}^2$
 - $\phi = 14^\circ$
 - $G = 1,2 \cdot 10^5 \text{ kg/m}^2$

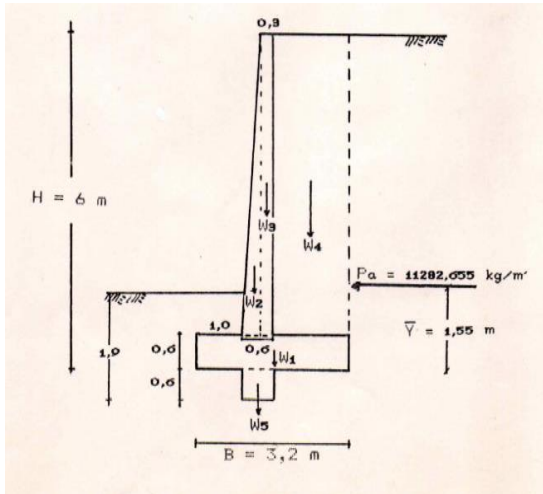
- Tanah dibawah pondasi :
 - $\gamma = 1620 \text{ kg/m}^3$
 - $C = 600 \text{ kg/m}^2$
 - $\phi = 23^\circ$
 - $G = 1,2 \cdot 10^5 \text{ kg/m}^2$
- $\sigma_{bk} = 225 \text{ kg/cm}^2$
- $\sigma_{au} = 2080 \text{ kg/cm}^2$
- Koefisien gesekan antara tanah dan pondasi (μ) = 0,42
- Redaman (D) = 0.18

Dari kondisi tanah yang ada, diperoleh

$K_a = 0.610$
 $K_p = 2.30$
 $H_c = 1.35 \text{ m}$

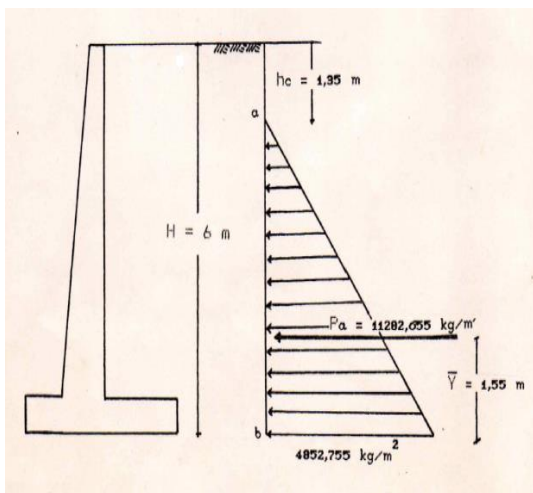
A. Tanpa muka air tanah.

Hitung tekanan tanah



Letak titik tangkap $P_a = 1.55 \text{ m}$ dari bawah

Dimensi Struktur :



No.	Luas m^2	Komponen Gaya (kg/m)		Titik berat		Momen	
		Vertikal	Horizontal	X	Y	Mr	Mo
W1.	1,920	4608,000	-	1,600	-	7372,800	-
W2.	0,810	1944,000	-	1,200	-	2332,800	-
W3.	1,620	3888,000	-	1,450	-	5637,600	-
W4.	8,640	14774,400	-	2,400	-	35458,560	-
W5.	0,360	864,000	-	1,300	-	1123,200	-
Pa.			11282,655		1,550		17488,116
Σ		26078,400	11282,655			51924,960	17488,116

$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p + 2C \cdot H \cdot \sqrt{K_p}$
 $P_p = 10183,221 \text{ kg/m}$

Kontrol Stabilitas

1. Kontrol terhadap guling :

$F_r = R \cdot \mu + P_p$
 $F_k = (F_r / P_a) \gg 1.5$
 $F_k = 1,789 > 1.5 \quad \text{OK!}$

2. Kontrol terhadap daya dukung

$q_a = (q_{ult} / 3) > \sigma_{max}$
 $\sigma_{max} = 12411,688 \text{ kg/m}^2$
 $\sigma_{min} = 3887,312 \text{ kg/m}^2$

$q_{ult} = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \gamma D N_q + C N_c$

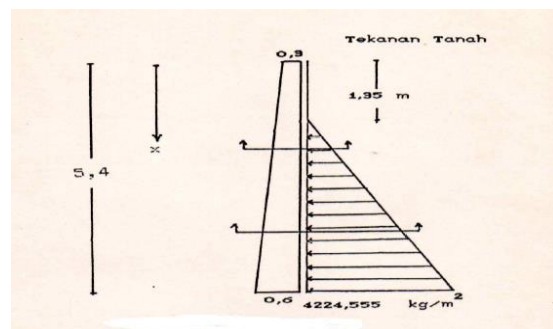
untuk mendapatkan nilai dari N_γ , N_c , dan N_q dapat dilihat pada grafik daya dukung kapasitas, yang didasarkan pada ϕ dan e/B .

$e/B = 0,087 \quad \left. \begin{array}{l} N_\gamma = 5,0 \\ N_c = 15,0 \end{array} \right\}$
 $\phi = 23^\circ$

$q_{ult} = 40492,80 \text{ kg/m}^2$
 $q_a = 13497,60 \text{ kg/m}^2 > 12411,688 \text{ kg/m}^2 \quad \text{OK!}$

Kontrol Bagian Penampang

1. Tembok Longitudinal



$F_k = M_r / M_o$
 $F_k = 2.636 > 2.0 \quad \text{OK!}$

2. Kontrol terhadap eksentrisitas

$$\bar{X} = (M_r - M_o) / \sum W$$

$$e = (B / 2) - \bar{X} < B/6$$

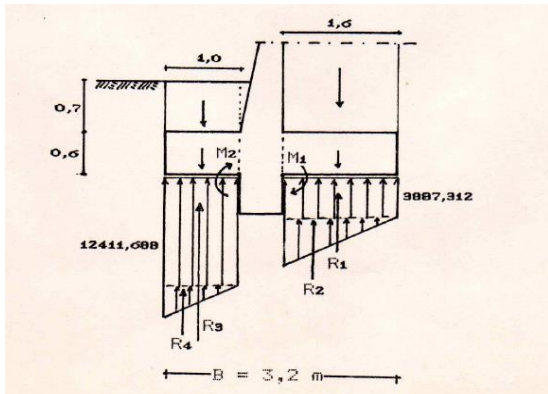
$$e = 0,279 \text{ m} < 0,533 \text{ m} \quad \text{OK!}$$

3. Kontrol terhadap geser

$$\tau = \frac{S_x}{b.z} < \bar{\tau}_b \quad \longrightarrow \rightarrow = 100 \text{ cm}, z = 0,9 \text{ h}$$

x	h (cm)	z (cm)	S _x (kg)	τ (kg/cm ²)
2	37,10	33,39	220,355	0,066
4	48,20	43,38	3662,585	0,844
5,4	56,00	50,4	8554,724	1,697

4. Pondasi.



- Plat Tumit

	W (kg)	x (m)	M ₁ (kg.m)
Berat tanah	14774,400	0,800	11819,520
Berat plat tumit	2304,000	0,800	1843,200
Reaksi tanah : R ₁	- 6219,699	0,800	- 4975,759
R ₂	- 3409,750	0,533	- 1818,534
Σ	7448,950		6868,427

- Plat ujung

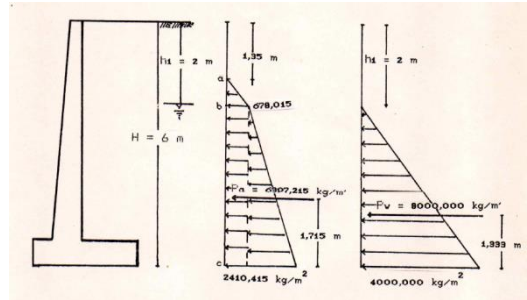
	W (kg)	x (m)	M ₂ (kg.m)
Berat tanah	1134,000	0,500	567,000
Berat plat ujung	1440,000	0,500	720,000
Reaksi tanah : R ₃	- 9747,820	0,500	- 4873,910
R ₄	- 1331,934	0,667	- 888,400
Σ	- 8505,754		- 4475,310

$$\tau_1 = 1,478 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b$$

$$\tau_2 = 1,688 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b$$

B. Muka air tanah pada kedalaman 2 m dari permukaan tanah.

Hitung tekanan tanah :



$$\sigma_a = 0 \quad \longrightarrow \rightarrow h = 1,35 \text{ m}$$

$$\sigma_b = 678,015 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_c = 2410,415 \text{ kg/m}^2$$

$$P_1 = 220,355 \text{ kg/m}$$

$$P_2 = 2712,060 \text{ kg/m}$$

$$P_3 = 3464,800 \text{ kg/m}$$

$$P_a = P_1 + P_2 + P_3 = 6397,215 \text{ kg/m}$$

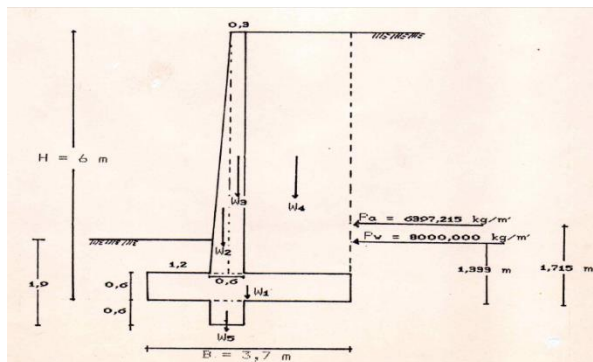
Letak titik tangkap P_a = 1,715 m

Hitung tekanan air P_w = 8000 kg/m

Letak titik tangkap P_w = 1,333 m

Dimensi struktur :

No.	Luas m ²	Komponen Gaya (kg/m)		Titik berat		Momen	
		Vertikal	Horizontal	X	Y	M _r	M _o
W ₁	2,220	5328,000	-	1,850	-	9856,800	-
W ₂	0,810	1944,000	-	1,400	-	2721,600	-
W ₃	1,620	3888,000	-	1,650	-	6415,200	-
W ₄	10,260	17544,600	-	2,750	-	48247,650	-
W ₅	0,360	864,000	-	1,500	-	1296,000	-
P _a			6397,215	-	1,715	-	10971,224
P _w			8000,000	-	1,333	-	10664,000
Σ		29568,600	14397,215			68537,250	21635,224



$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p + 2C \cdot H \cdot \sqrt{K_p}$$

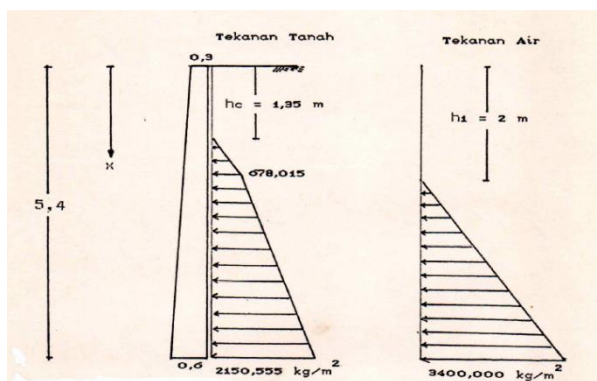
$$P_p = 10183,221 \text{ kg/m}$$

Kontrol Stabilitas :

1. Stabilitas terhadap guling
 $Fk = Mr / Mo$
 $Fk = 3,17 > 2.0$ OK!
2. Stabilitas terhadap exentrisitas
 $\bar{X} = (Mr - Mo) / \sum W$
 $e = (B / 2) - \bar{X} < B/6$
 $e = 0,264 \text{ m} < 0,617 \text{ m}$ OK!
3. Stabilitas terhadap geser
 $Fr = R \cdot \mu + Pp$
 $Fk = (Fr / Pa) \gg 1.5$
 $Fk = 1,538 > 1,5$ OK!
4. Kontrol terhadap daya dukung
 $q_a = (q_{ult} / 3) > \sigma_{max}$
 $\sigma_{max} = 11411,881 \text{ kg/m}^2$
 $\sigma_{min} = 4571,146 \text{ kg/m}^2$
 $q_{ult} = \frac{1}{2} \gamma B N\gamma \cdot \Delta\gamma + \gamma D Nq \Delta q + C Nc \Delta c$
 $\Delta q = 1,0 \rightarrow$ dinding penahan
menerus
 $\Delta c = 1,0 \rightarrow$ dinding penahan
menerus ($L/B > 8$)
 $\Delta\gamma = 0,786$
Nilai dari $N\gamma$, Nc , dan Nq dapat dilihat pada grafik daya dukung kapasitas, yang didasarkan pada ϕ dan e/B .
 $e/B = 0,071$ } didapat $N\gamma = 5,0$
 $\phi = 23^\circ$ } $Nq = 8,5$
 $Nc = 15,5$
 $q_{ult} = 37119,210 \text{ kg/m}^2$
 $q_a = 12373,07 \text{ kg/m}^2 > 11411,881 \text{ kg/m}^2$ OK!

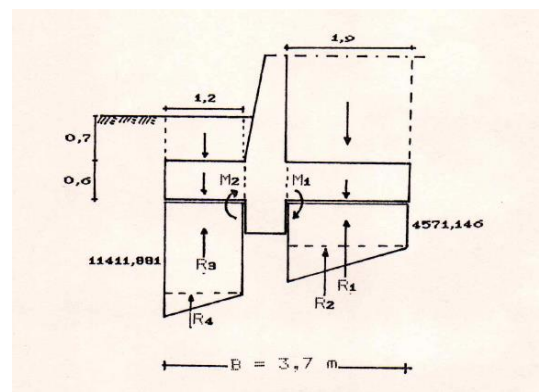
Kontrol Bagian Penampang :

1. Tembok Longitudinal



x	h (cm)	z (xm)	Sx (kg)	τ (kg/cm ²)
2	37,10	33,39	220,355	0,066
4	48,20	43,38	4442,585	1,024
5,4	56,00	50,40	10808,924	2,145

2. Pondasi.



- Plat tumit

	W (kg)	x (m)	Mx (kg.m)
Berat tanah	17544,600	0,950	16667,370
Berat plat tumit	2736,000	0,950	2599,200
Reaksi tanah : R1	- 8685,177	0,950	- 8250,919
R2	- 3337,170	0,633	- 2113,541
Σ	8258,253		8902,111

- Plat ujung

	W (kg)	x (m)	Mz (kg.m)
Berat tanah	1360,800	0,600	816,480
Berat plat ujung	1728,000	0,600	1036,800
Reaksi tanah : R3	- 11031,917	0,600	- 6619,150
R4	- 1331,170	0,800	- 1064,936
Σ	- 9274,287		- 5630,806

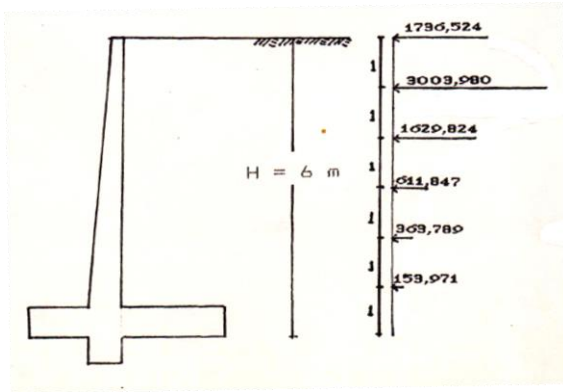
C. Beban Gempa

Pengaruh gempa pada tanah dapat dihitung sebagai tekanan tanah dinamis, dimana untuk menghitung tekanan tanah ini digunakan bantuan program.

Tekanan tanah akibat gempa (ΔPAE) adalah:

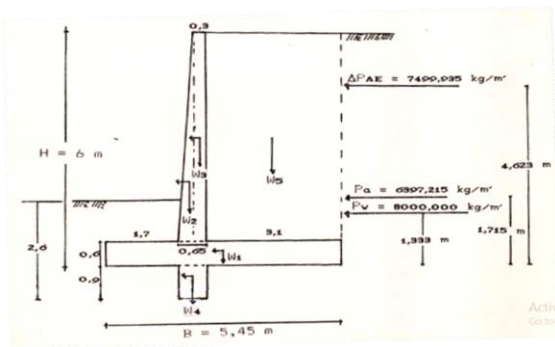
Tinggi Dinding Penahan	Tekanan tanah akibat gempa
0	1736,524 kg/m
1	3003,980 kg/m
2	1629,824 kg/m
3	611,847 kg/m
4	363,789 kg/m
5	153,971 kg/m
6	0,000

Koefisien gempa rata-rata $\alpha_r = 0,330$



Total Tekanan tanah dinamis (ΔP_{AE}):
 $\Delta P_{AE} = \sum \Delta P_{AEi} = 7499,935 \text{ kg/m}$
 Letak garis kerja ΔP_{AE} adalah:
 $\bar{Y} = 4,623 \text{ m}$

Dimensi struktur :



No.	Luas m ²	Komponen Gaya (kg/m)		Titik berat		Momen	
		Vertikal	Horisontal	X	Y	Mr	Mo
W1	3,270	7848,000	-	2,725	-	21385,800	-
W2	0,945	2268,000	-	1,933	-	4384,800	-
W3	1,620	3888,000	-	2,200	-	8553,600	-
W4	0,585	1404,000	-	2,025	-	2843,100	-
W5	16,740	28625,400	-	3,900	-	111639,068	-
Pa			6397,215	-	1,715	-	10971,224
Pv			8000,000	-	1,333	-	10664,000
Pengaruh Gempa :							
$\alpha_r \cdot W1$	-	2589,840	-	0,300	-	776,952	-
$\alpha_r \cdot W2$	-	748,440	-	2,400	-	1796,256	-
$\alpha_r \cdot W3$	-	1283,040	-	3,300	-	4234,032	-
$\alpha_r \cdot W4$	-	463,320	-	0,450	208,494	-	-
ΔP_{AE}	-	7499,935	-	4,623	-	34672,199	-
Σ total	44033,400	26981,798				148922,190	63114,663

Kontrol stabilitas

1. Stabilitas terhadap guling

$F_k = M_r / M_o$

$F_k = 2,36 > 1,5$

OK!

2 Stabilitas terhadap exentrisitas

$\bar{X} = (M_r - M_o) / \sum W$

$e = (B / 2) - \bar{X} < B/6$

$e = 0,776 \text{ m} < 0,908 \text{ m}$ OK!

3 Stabilitas terhadap geser

$F_r = R \cdot \mu + P_p$

$F_k = (F_r / P_a) \gg 1,2$

$F_k = 1,226 > 1,2$ OK!

4 Stabilitas terhadap daya dukung

$q_a = (q_{ult} / 3) > \sigma_{max}$

$\sigma_{max} = 14981,956 \text{ kg/m}^2$

$\sigma_{min} = 1177,09 \text{ kg/m}^2$

$q_{ult} = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \cdot \Delta\gamma + \gamma D N_q \Delta q + C N_c \Delta c$

$\Delta q = 1,0$

$\Delta c = 1,2$

$\Delta\gamma = 0,821$

Nilai dari N_γ , N_c , dan N_q dapat dilihat pada grafik daya dukung kapasitas, yang didasarkan pada ϕ dan e/B .

$e/B = 0,143$

$\phi = 23^\circ$

didapat $N_\gamma = 3,5$

$N_q = 7,5$

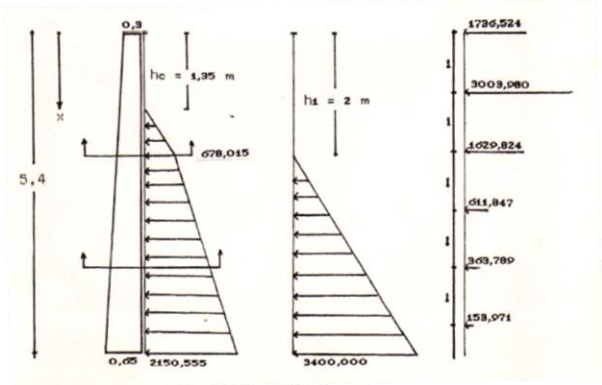
$N_c = 12,0$

$q_{ult} = 39115,516 \text{ kg/m}^2$

$q_a = 19557,758 \text{ kg/m}^2 > 14981,956 \text{ kg/m}^2$ OK!

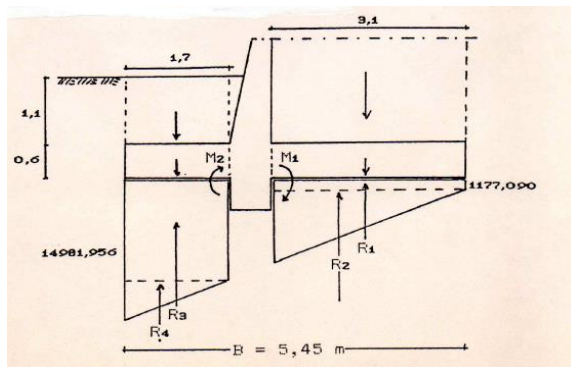
Kontrol Bagian Penampang :

1. Tembok Longitudinal



x	h(cm)	z(cm)	Sx (kg)	τ (kg/cm ²)
2	39,00	35,10	6590,683	1,878
4	52,00	46,80	11788,550	2,519
5,4	61,00	54,90	18308,860	3,335

2. Pondasi



- Plat tumit

	W (kg)	x (m)	M1 (kg.m)
Berat tanah	28625,400	1,550	44369,370
Berat plat tumit	4464,000	1,550	6919,200
Reaksi tanah : R1	- 3648,979	1,550	- 5655,917
R2	- 12171,079	1,033	- 12572,725
Σ	17269,342		33059,928

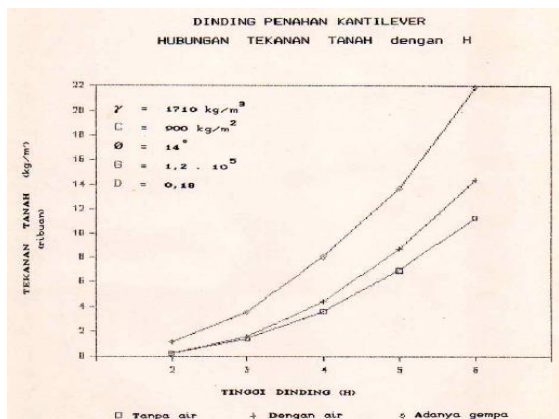
- Plat tumit

	W (kg)	x (m)	M2 (kg.m)
Berat tanah	3029,400	0,850	2574,990
Berat plat ujung	2448,000	0,850	2080,800
Reaksi tanah : Ra	- 18148,947	0,850	- 15426,605
R4	- 3660,189	1,133	- 4146,994
Σ	- 16331,736		- 14917,809

Data tanah

- $\gamma = 1710 \text{ kg/m}^3$
 $C = 900 \text{ kg/m}^2$
 $\theta = 14^\circ$
 $G = 1,2 \cdot 10^5$

Grafik hubungan tekanan tanah dengan H (tinggi)

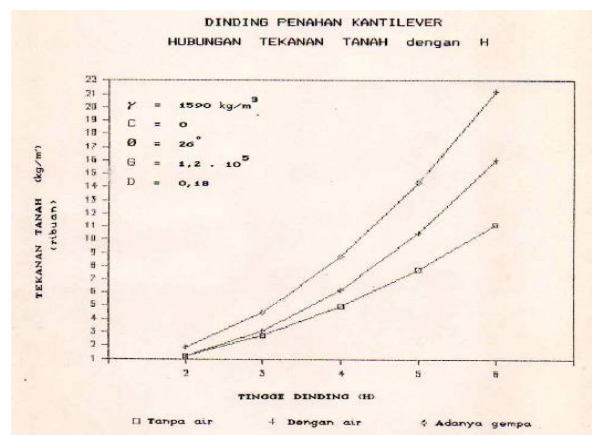


Hasil volume dinding penahan kantilever :

H	Tanpa air	Adanya air	Dengan gempa
2 m	0,810	0,810	0,960
4 m	2,120	2,200	2,760
6 m	4,710	5,010	6,420

- $\gamma = 1590 \text{ kg/m}^3$
 $C = 0 \text{ kg/m}^2$
 $\theta = 26^\circ$
 $G = 1,2 \cdot 10^5$

Grafik hubungan tekanan tanah dengan H (tinggi)



Hasil volume dinding penahan kantilever :

H	Tanpa Air	Adanya Air	Dengan Gempa
2 m	0,810	0,810	0,960
4 m	2,120	2,200	2,760
6 m	4,710	5,010	6,420

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil aplikasi dimana digunakan 2 data tanah yang berbeda didapat:

- Jika dibelakang dinding penahan terdapat muka air (2 m dari permukaan dinding), maka semakin tinggi dinding dimana kedalaman muka air tanah tetap, tekanan akibat air menjadi lebih besar. Dan kurva tekanan tanah terhadap H akan semakin melengkung.
- Tekanan akibat efek gempa memberikan tambahan tekanan yang cukup besar. Kurva tekanan total ($P_{AE} = P_a + \Delta P_{AE} + P_w$) pada dinding akan membentuk kurva lengkung.

3. Selisih volume material yang dibutuhkan jika terdapat muka air tanah dibandingkan tanpa muka air untuk $H = 6 \text{ m}$
 $\gamma = 1710 \text{ kg/m}^3$, selisih $0,30 \text{ m}^3 / \text{m}^3$
 $\gamma = 1590 \text{ kg/m}^3$, selisih $0,36 \text{ m}^3 / \text{m}^3$

akibat gempa pada dinding cukup besar apalagi untuk dinding yang tinggi.

Weep hole/ drainase pada dinding harus dibuat dan jangan sampai tersumbat sebab dengan adanya weep hole maka kita mendapat tekanan lateral yang lebih kecil sehingga menghemat penggunaan material.

Saran

Dalam mendisain dinding penahan, efek gempa perlu diperhitungkan karena tekanan

DAFTAR PUSTAKA

- Boen Teddy Ir., 1984, *Dasar-dasar Perencanaan Bendungan Tipe Urugan Tanah Gempa*, Yayasan LPMB.
- Bowles J. E., 1991, *Analisa dan Design Pondasi, Edisi 4 Jilid 2*, Erlangga
- Clough R. W & Penzien J., 1988, *Dinamika Struktural*, Erlangga.
- Craift R. F., 1991, *Mekanika Tanah, Edisi 4*, Erlangga.
- Das Braja M., 1941, *Fundamental Of Soil Dynamics*, Elsevier.
- Das Braja M., 1990, *Principles Of Geotechnical Engineering, Second Edition*, Boston
- Das Braja M., 1991, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid 1)*, Erlangga.
- Dirjen Pengairan Dept. PU., 1980, *Perencanaan Bendungan Tipe Urugan Tanah Gempa*, Dept PU.
- Paz M., 1987, *Dinamika Struktur, Teori dan Perhitungan, Edisi Kedua*, Erlangga
- Prakash Shamsher., 1981, *Soil Dynamics*, Mc Graw – Hill Book Company.
- Sosrodarsono Suyono Ir dan Nakasawa Kazuto., 1984, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT. Pradnya Paramita.
- Sunggono Kh Ir., 1984, *Mekanika Tanah*, Bandung.
- Terzaghi K & Peck R.B., 1987, *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa, Jilid 1*, Erlangga