

Studi Alternatif Desain Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali Dengan Menggunakan Frame Beton Bertulang
Alternative Study of Retaining Wall Design of River Rock Masonry Using Reinforced Concrete Frame

Baihaqi Diva Ananda¹⁾, Pujo Priyono²⁾, Arief Alihudien³⁾

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: : Baihaqida2@gmail.com

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: pujopriyono@unmuhjember.ac.id

³Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Dinding penahan tanah berperan penting dalam mencegah kelongsoran , khususnya di kawasan relokasi bencana Gunung Semeru di Kabupaten Lumajang memiliki lereng curam yang dekat dengan jalur utama, sehingga memerlukan perencanaan konstruksi dinding penahan tanah yang aman dan efisien. Penelitian ini bertujuan menentukan jenis dan dimensi optimal dinding penahan tanah berdasarkan kondisi lapangan serta pertimbangan teknis dan ekonomis. Metode penelitian meliputi studi literatur, survei lapangan, analisis geoteknik berdasarkan data tanah, serta perhitungan struktur sesuai standar. Analisis perencanaan menunjukkan bahwa dinding beton bertulang mutu K-300 dengan tipe kantilever dilengkapi counterfort merupakan pilihan yang paling sesuai. Counterfort berfungsi mengurangi gaya geser yang bekerja pada dinding, sehingga meningkatkan stabilitas struktur. Dimensi counterfort yang direncanakan memiliki tinggi efektif (d_{eff}) 250,2 cm, tebal 40 cm, dan jarak antar counterfort 4 m. Tulangan memanjang menggunakan baja mutu $f_y = 240$ MPa, sebanyak 5 batang berdiameter 25 mm (5D25), dipasang pada ketinggian 3,7 m dari puncak dinding. Hasil ini diharapkan menjadi acuan teknis dalam pembangunan dinding penahan tanah di kawasan rawan bencana, guna memastikan keamanan jangka panjang dan mendukung kelancaran infrastruktur.

Kata Kunci: Beton Bertulang, Batu Kali, Desain, Dinding Penahan Tanah

Abstract

Retaining walls play an important role in preventing landslides, especially in the disaster relocation area of Mount Semeru in Lumajang Regency which has steep slopes close to the main route, thus requiring safe and efficient retaining wall construction planning. This study aims to determine the optimal type and dimensions of retaining walls based on field conditions as well as technical and economic considerations. Research methods include literature studies, field surveys, geotechnical analysis based on soil data, and structural calculations according to standards. Planning analysis shows that a K-300 grade reinforced concrete wall with a cantilever type equipped with a counterfort is the most suitable choice. The counterfort functions to reduce the shear force acting on the wall, thereby increasing the stability of the structure. The planned counterfort dimensions have an effective height (d_{eff}) of 250.2 cm, a thickness of 40 cm, and a distance between counterforts of 4 m. Longitudinal reinforcement uses steel grade $f_y = 240$ MPa, as many as 5 bars with a diameter of 25 mm (5D25), installed at a height of 3.7 m from the top of the wall. These results are expected to serve as a technical reference in the construction of retaining walls in disaster-prone areas, to ensure long-term safety and support the smooth operation of infrastructure.

Keywords: Reinforced Concrete, River Stone, Design, Retaining Wall

1. PENDAHULUAN

Relokasi penduduk penyintas semeru, akibat letusan gunung semeru, telah disepakati dan dianggarkan di APBN tahun anggaran 2022, melalui proyek Pekerjaan Pembangunan Jalan Lingkungan, Drainase, Jembatan dan Dinding Penahan Tanah pada Kawasan Relokasi Bencana Semeru. Pemahaman terhadap karakteristik tanah sangat penting dalam perencanaan fondasi.

Tanah terdiri dari campuran mineral, bahan organik, dan partikel-partikel endapan yang memiliki struktur cukup longgar dan berada di atas lapisan batuan dasar (bedrock) (Hardiyatmo, 2024). Kelemahan ikatan antar partikel tanah yang disebabkan oleh zat seperti karbonat, bahan organik, atau oksida berdampak pada kestabilan serta kemampuan tanah menahan beban. Pemahaman mengenai kondisi ini sangat penting untuk memilih teknik perbaikan tanah yang sesuai dalam proses pembangunan konstruksi. Terhadap salah satu item pekerjaan pada proyek ini adalah pekerjaan Dinding Penahan Tanah yang berfungsi untuk menahan tanah agar stabil untuk pembangunan hunian atau rumah tinggal tetap.

Dinding penahan tanah merupakan struktur yang dirancang untuk menahan tekanan lateral tanah pada area dengan kemiringan tidak stabil atau permukaan vertikal (Das, 1993). Telah disepakati, block grand anggaran, setelah melalui studi kelayakan, bahwa jenis dinding penahan tanah yang dibangun merupakan jenis dinding penahan tanah berbahan pasangan batu kali. Berlatar belakang ketersediaan anggaran yang diperlukan untuk dinding penahan tanah.

Menurut Marufah et al. (2023), salah satu tipe dinding penahan tanah adalah dinding gravity yang mengandalkan berat struktur sebagai penahan. Pada penelitian ini, fokus akan diberikan pada tipe dinding gravity karena dianggap paling relevan dengan kondisi tanah dan kebutuhan konstruksi di lokasi studi. Dinding penahan tanah tipe gravitasi dengan berbahan pasangan batu

kali, dikarenakan terdapat suatu kelemahan akan kemampuan tarik pasangan yang rendah, maka dipersyaratkan bahwa ketinggiannya tidak melebihi dari 3 (tiga) meter. Sesuai tampak hasil survey eksisting di dusun mamuju terdapat suatu area dengan ketinggian kondisi lereng eksisting yang ketinggiannya melebihi 3 (tiga) meter. Beberapa literatur (Bowles, 1997), menyatakan bahwa untuk lereng yang akan dibangun dinding penahan tanah dengan ketinggian lebih dari 3 (tiga) meter, umumnya menggunakan dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever.

Beton bertulang adalah kombinasi beton dan tulangan baja yang bekerja sama menahan beban. Beton kuat menahan tekan, sedangkan baja kuat menahan tarik, sehingga struktur menjadi lebih kuat dan tahan lama (Priyono, 2019). Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan suatu studi yang berjudul Studi alternatif desain dinding penahan tanah pasangan batu kali dengan menggunakan frame beton bertulang bertujuan untuk memperoleh desain dinding penahan tanah yang sesuai dengan kondisi eksisting serta menentukan ukuran dimensi yang optimal guna meningkatkan ketahanan lentur dinding penahan tanah.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana desain dinding penahan tanah yang sesuai dengan kondisi eksisting, serta bagaimana penerapan metode perencanaan dimensi dan penulangan dinding frame counterfort beton bertulang.

Tujuan penelitian ini adalah memperoleh desain dinding penahan tanah yang sesuai dengan kondisi eksisting, serta menentukan ukuran dimensi dinding penahan tanah untuk optimasi ketahanan lentur dinding penahan tanah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Struktur Bangunan

Struktur bangunan merupakan sistem konstruksi yang berfungsi untuk menyalurkan beban ke tanah secara aman

dan efisien. Menurut Marufah et al. (2023), struktur terdiri dari elemen-elemen seperti balok, kolom, pelat, pondasi, dan dinding penahan tanah yang bekerja secara terpadu menjaga kestabilan serta kekakuan bangunan. Dinding penahan tanah sendiri merupakan elemen struktur yang dirancang untuk menahan tekanan lateral tanah, terutama pada area dengan perbedaan elevasi permukaan. Struktur dinding penahan tanah umumnya terdiri dari bagian utama dinding, pondasi bawah, serta sistem drainase di belakang dinding untuk mengurangi tekanan air tanah. Dinding ini harus memiliki stabilitas terhadap gaya geser, momen guling, dan daya dukung tanah, serta dirancang agar tidak mengalami tegangan tarik yang berlebihan.

1. Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah merupakan salah satu elemen penting dalam rekayasa geoteknik yang berfungsi menahan tekanan lateral tanah, khususnya pada area dengan kemiringan curam atau perbedaan tinggi permukaan tanah yang signifikan. Struktur ini dirancang untuk menjaga kestabilan tanah guna mencegah terjadinya pergeseran maupun keruntuhan massa tanah. Oleh karena itu, dinding penahan tanah banyak diterapkan dalam berbagai proyek infrastruktur, seperti pembangunan jalan, jembatan, terasering, dan konstruksi lainnya yang berada pada kondisi medan tidak stabil. Menurut Marufah et al. (2023), dinding penahan tanah adalah struktur yang dirancang untuk menahan tekanan lateral tanah agar tidak terjadi pergeseran atau keruntuhan lereng.

2. Jenis Dinding Penahan Tanah

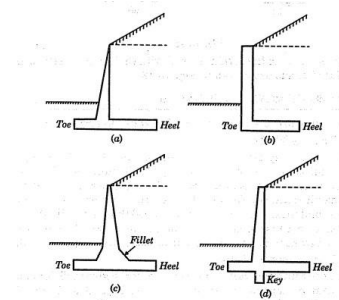
a) Gravity Wall

Gravity wall adalah dinding penahan tanah yang menahan tekanan lateral dengan bobot materialnya sendiri (Das, 2010). Desainnya memperhatikan stabilitas terhadap geser, lentur, dan overturning, serta bagian bawah dibuat

lebih tebal untuk kestabilan. Analisis gravity wall melibatkan karakteristik tanah, beban, dan drainase agar berfungsi optimal.

b) Tipe Kantilever

Dinding penahan tanah tipe ini terdiri atas tiga balok kantilver, yakni badan ("stem") vertikal, tapak ("toe") dan tumit ("heel"). Pada beberapa kasus, "toe" bisa seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.1(c). Tipe dinding penahan tanah kantilever yang umum digunakan tipe (a) dan (b) cocok untuk ketinggian dinding yang rendah. Untuk dinding yang lebih tinggi lagi, dipergunakan tipe(c). Gambar Dinding Penahan Tanah Kantilever Sumber: ((Hardiyatmo, 2020)



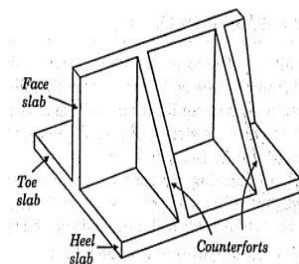
Gambar 1 Tipe Kantilever
[Sumber: Hardiyatmo, 2020]

Suatu tahanan terhadap geser dari suatu tipe dinding penahan tanah kantilever terhadang ditingkatkan oleh suatu tambahan bagian vertikal pada dasar yang disebut "key" Gambar 2.2(d), yang biasanya diletakkan mendekati "toe", mendekati "heel" atau di tengah bagian dasar.

c) Tipe Counterfort

Dinding penahan tanah tipe kantilever mempunyai nilai ekonomis hanya bila tinggi dinding berkisar antara 6 sampai 8 m. Untuk dinding penahan tanah yang lebih tinggi lagi, perencanaan pelat kantilever, stem dan heel akan mendapatkan suatu dimensi yang tidak ekonomis.. Untuk mengatasi masalah

ini, dipasang penyangga counterfort belakang dinding. Bagian stem dan heel tidak terkantilever akan tetapi menjadi suatu pelat menerus dengan titik tumpunya adalah “counterfort” tersebut dan sehingga mereduksi momen lentur dan ekonomis. Akan tetapi tipe ini membutuhkan suatu tambahan dinding beton, tulangan dan begisting untuk pelaksanaan “counterfort”. Gambar Dinding penahann counterfort wall. [Sumber: Hardiyatmo, 2020]



Gambar 2 Tipe Counterfort
[Sumber: Hardiyatmo, 2020]

3. Mekanika Tanah

Besarnya tekanan tanah bergantung pada keadaan kesetimbangan dalam tanah, dua keadaan kesetimbangan yang terjadi pada tanah adalah kesetimbangan elastis dan keseimbangan plastis. Kesetimbangan elastis, terjadi jika tegangan geser di dalam tanah lebih kecil daripada kekuatan geser tanah tersebut, sedangkan kesetimbangan plastis adalah bila tegangan geser di dalam tanah sama dengan kekuatan geser tanah tersebut.

Tekanan tanah dibagi atas 3 kategori, tergantung pada deformasi lateral tanah: tekanan tanah dalam keadaan diam, tekanan tanah dalam keadaan aktif, tekanan tanah dalam keadaan pasif. [Sumber: Hardiyatmo, 2020]

4. Beton dan Beton Bertulang

Beton adalah suatu campuran pasir, batu pecah yang Bersatu dan bekerjasama dalam suatu massa yang keras dengan pasta semen dan air. Terkadang satu atau beberapa “admixture” ditambahkan untuk merubah karakteristik beton seperti kemudahan untuk dikerjakan (“workability”), “durability” dan mempercepat waktu untuk mengeras (“time of hardening”). Seperti kebanyakan bebatuan,

beton mempunyai kekuatan tekan yang tinggi dan sangat rendah kekuatan tariknya. Beton bertulang adalah suatu kombinasi beton dan baja yang diletakkan dimana diperlukan tulangan baja untuk menahan tarik. Tulangan baja juga bisa dengan baik untuk menahan gaya tekan dan sehingga bisa digunakan untuk kolom. [Sumber: Hardiyatmo, 2020]

5. Jenis dan Mutu Tulangan Baja

Berdasarkan bentuknya, tulangan baja terdiri dari tulangan baja polos dan tulangan baja ulir (deform), kawat dan jarring kawat las yang seluruhnya dirakit sesuai dengan standar ASTM. Ukuran diameter tulangan baja tersedia dari diameter 6 mm, 8, 10, 12, 14, 16, 19, 22, 25, 29, 32 hingga 50 mm. [Sumber: Hardiyatmo, 2020]

6. Spasi Tulangan dan Selimut Beton

Persyaratan jarak antar tulangan diatur di SNI 2847:2019 pasal 25.2: Tulangan baja pada suatu penampang balok beton harus diletakkan sedemikian hingga spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar adalah sebesar d_b , 25 mm atau $(4/3)d_{agg}$ mana aja yang lebih besar (SNI 2847:2019, pasal 25.2.1). Bila tulangan disusun berlapis, maka tulangan lapis yang atas harus diletakkan tepat diatas lapis bawahnya, dengan spasi bersih minimum 25 mm (SNI 2847:2019, pasal 25.2.2). Sedangkan untuk tulangan longitudinal pada kolom, pedestal, strut dan elemen batas pada dinding, spasi bersih antara tulangan harus tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari 40 mm, $1,5d_b$ dan $(4/3)d_{agg}$ (Pasal 25.2.3)

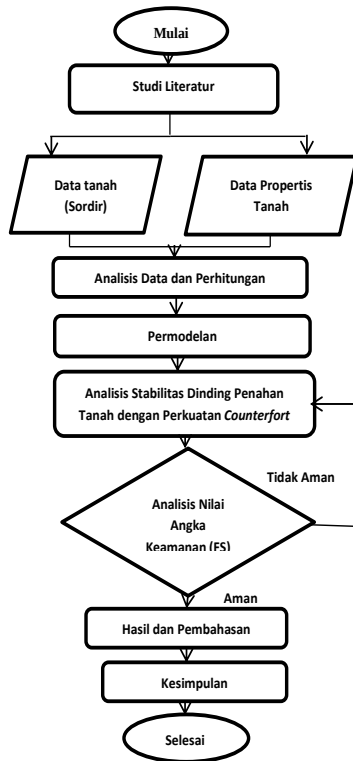
Berkaitan hal di atas, maka diperlukan suatu pengaturan lebar balok yang bisa mencukupi dari kebutuhan tulangan hasil desain serta mengikuti aturan tersebut. Lebar balok juga harus dirancang sedemikian hingga aturan selimut beton bisa tercapai, selain diameter tulangan geser. [Sumber: Hardiyatmo, 2020]

3. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi yang ditinjau berada di area relokasi Dusun Mamuju Desa Sumber Mujur, Kecamatan Candipuro, Kabupaten Lumajang.

B. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian
[Sumber: Hasil Penelitian,2024]

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Tanah dan Pondasi

Data tanah dan pondasi sangat penting dalam perencanaan dinding penahan tanah, karena berpengaruh langsung terhadap kestabilan struktur. Berdasarkan hasil pengujian di lapangan, diperoleh data sifat fisik tanah sebagai berikut:

1. Berat volume tanah (γ') sebesar 1,6 ton/m³
2. Sudut gesek dalam (ϕ) sebesar 30°
3. Kemiringan lereng (α) sebesar 15° = $\cos \alpha = 0,97$.
4. Nilai kohesi tanah (c) tercatat sebesar 1,6 kg/cm².
5. Material struktur, digunakan beton dengan mutu K-350 yang memiliki kuat

tekan sebesar 24,9 N/mm², serta baja tulangan tipe U-24 dengan kuat leleh sebesar 240 N/mm².

Data ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan perencanaan dinding penahan tanah dan pondasi agar bangunan yang dibangun dapat berdiri dengan aman dan stabil.

B. Koefisien Tanah

Koefisien tanah digunakan untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada dinding penahan. Dua koefisien penting adalah **Ka** (tekanan tanah aktif) dan **Kp** (tekanan tanah pasif). Nilai **Ka** dihitung saat tanah bergerak menjauh dari dinding, sedangkan **Kp** saat tanah menekan ke arah dinding. Kedua nilai ini dapat dihitung dengan rumus Rankine:

$$k'_A = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}$$

$$k'_A = \cos 15^\circ \frac{\cos 15^\circ - \sqrt{\cos^2 15^\circ - \cos^2 30^\circ}}{\cos 15^\circ + \sqrt{\cos^2 15^\circ - \cos^2 30^\circ}} = 0,373$$

$$k'_p = \cos \alpha \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} = 2,502$$

Nilai Ka dan Kp digunakan oleh perancang untuk menghitung tekanan lateral tanah yang bekerja pada dinding, sehingga dimensi dan kekuatan struktur dapat dirancang secara tepat guna menjaga kestabilan dan keamanan.

Menentukan ukuran dinding:

Tebal plat dasar = $\frac{1}{4} \times (800) = 57.1 \text{ cm} \sim 60 \text{ cm}$

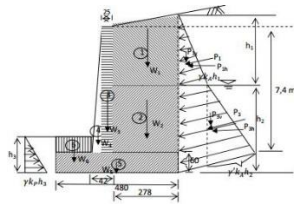
Lebar plat dasar (B) di coba = $0,6h = 480 \text{ cm}$

Jarak counterfort satu sama lain diambil = $0,5(800) = 400 \text{ cm}$

Tebal counterfort ambil = 25 cm
Tebal badan sebelah bawah = $25 + 74(1/48)26.542 = 40,4 \text{ cm} \sim 42 \text{ cm}$

(kemiringan dinding = 1/48)

Berikut merupakan gambar distribusi tegangan:



Gambar 4 Diagram Tegangan
[Sumber: Hasil Analisis,2024]

Stabilitas dinding untuk panjang dinding = 1 m
Diagram tekanan tanah :

$$P1 = \frac{1}{2} \gamma \cdot K_A \cdot h_1^2$$

$$= 0.5 \cdot 1.6 \cdot 0.373 \cdot (3+0.72)^2$$

$$= 4.13 \text{ ton}$$

$$P2 = \gamma \cdot K_A \cdot h_1^2$$

$$= 1.6 \cdot 0.373 \cdot 3.72(4.4+0.6)$$

$$= 11.10 \text{ ton}$$

$$P3 = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot K_A \cdot h_2^2 = 0.5 \cdot 1.4 \cdot 0.373 \cdot (4.4+0.6)^2$$

$$= 6.53 \text{ ton}$$

$$P1.h = 3.989 \text{ ton} \quad P1.v = 1.068 \text{ ton}$$

$$P2.h = 10.72 \text{ ton} \quad P2.V = 2.873 \text{ ton}$$

$$P3.h = 6.305 \text{ ton} \quad P3.V = 1.689 \text{ ton}$$

Terhadap titik A : untuk panjang = 1 meter
Ybeton = 2.4 t/m³ Ytanah = 1.6 t/m³ y'tanah = 1.4 t/m³

Berikut merupakan tabel perhitungan momen pada dinding penahan tanah :

Tabel 1 Perhitungan Momen

Bagian	Berat (Ton)	Lengan momen terhadap p A(M)	Momen (t-m)
1	$(3+3.72)/(2.78)(1.6)$ =14.945	$1.6+0.42+1/2(2.78)$ =3.41	50.963
2	$(4.4)(2.78)(1.4)$ =17.125	=3.41	58.396
3	$(0.25)(7.4)(1.4)=2.59$	$1.6+(0.42-0.25)+0.125$ =1.895	4.908
4	$\frac{1}{2}(0.42-0.25)(7.4)(2.4)=1.5096$	$1.6+2/3(0.42-0.25)$ =1.713	2.586
5	$0.6(4.8)(2.4)=6.912$	2.4	16.589
6	P1v= 1	4.8	5.126
7	P2v= 3	4.8	13.790
8	P3v= 2	4.8	8.107
9	P total =48.712	Σ Momen penahan	160.466

[Sumber: Hasil Penelitian,2024]

Momen guling

$$= 3,989$$

$$(5+1/3(3,72))+10,72(2,5)+6,305(1/3(5))$$

$$= 62.20 \text{ t-m}$$

Faktor keamanan untuk guling

$$= 160,47/62,2 = 2.58 > 2,2 \text{ OK}$$

$$Fr = R \tan \phi + 0,67 c_B + P_p$$

$$\text{Dimana } P_p = \frac{1}{2} \gamma' \tan^2 \alpha \cdot h^2 \cdot K_p$$

$$= \frac{1}{2} (1,4) (1)^2 (2,502) = 1.751 \text{ ton}$$

$$Fr = (48,71) \tan 30^\circ + 0 + 1,75 = 29.87 \text{ ton}$$

$$P_h = P1h + P2h + P3h = 3,989 + 10,72 + 6,305$$

$$= 21.014 \text{ ton}$$

Faktor keamanan geser

$$= 29,87/21,014 = 1.42 < 1,5 \text{ (NOT OK) Mengecek}$$

$$\bar{x} = \frac{M_p - M_g}{P_v} =$$

apakah pada pelat dasar bekerja tegangan sejenis (tekan):

Terhadap titik A:

$$e = \frac{1}{2}(4,8) - 2,017 = 0.383 \text{ m}$$

Timbul Tegangan yang bekerja pada pelat dasar

$$q_{mak} = \frac{P}{BL} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \text{ dimana } L=1\text{m}$$

$$= \frac{48.712}{4.8} + 1 \frac{2.296}{4.8}$$

$$= 15.003 \text{ t/m}^2$$

$$= 1.500 \text{ kg/m}^2 < q = 1.5 \text{ kg/m}^2 \text{ OK}$$

$$q_{min} = \frac{48.712}{4.8} - 1 \frac{2.296}{4.8}$$

$$= 5.294 \text{ t/m}^2$$

$$= 0,529 \text{ kg/m}^2$$

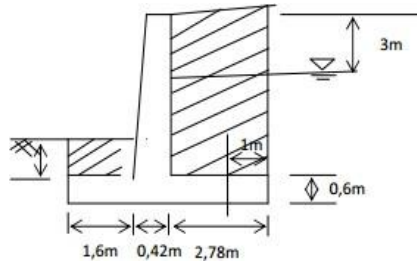
$$q1 = \frac{5.294(1.6) + 15.003(4.8 - 1.6)}{4.8} = 11.766 \text{ t/m}^2$$

$$q2 = \frac{5.294(2.02) + 15.003(2.8)}{4.8} = 10.92 \text{ t/m}^2$$

C. Penulangan Pelat Dasar

Analisa beban batas, dilakukan dengan mengalikan dengan faktor beban sebesar 1,6 untuk beban tekanan tanah, dan dengan

faktor beban 1,2 untuk beban akibat berat sendiri dinding yang diperlihatkan seperti pada gambar sketsa penampang berikut:



Gambar 5 Sketsa Penampang
[Sumber: Hasil Analisis,2024]

Berat tanah yang menekan “heel” sejauh 1 meter (panjang pelat tegak lurus bidang gambar 1 m)

$$1,6 = \frac{w_1 + w_2}{2,78} = 1,6$$

$$\frac{14,945 + 17,125}{2,78} = 18,458 \text{ t/m}^2$$

Berat sendiri pelat (tebal 60 cm) = $1.2 \cdot 0.6 \cdot 2.4 = 1.728 \text{ t/m}^2$

Berat tanah yang menekan “toe” = $1.6 \cdot 0.3 \cdot 1.4 = 0.672 \text{ t/m}^2$

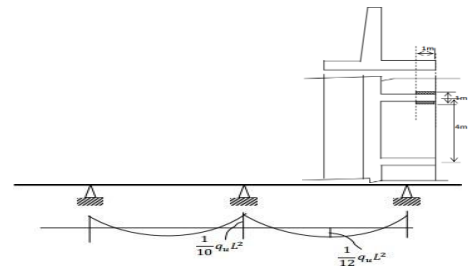
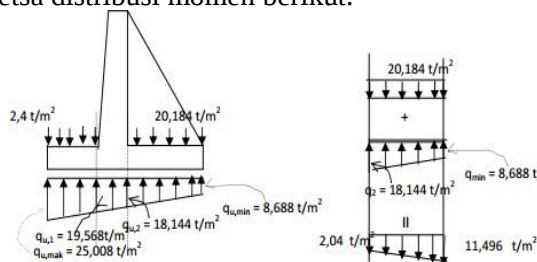
Berat pelat bagian dasar (bagian “toe”) = 1.728 t/m^2

Jadi: $q_{u,\text{total}}$ untuk bagian “toe” = $0.672 + 1.728 = 2.4 \text{ t/m}^2$

$q_{u,\text{total}}$ untuk bagian “heel” = $18.458 + 1.728 = 20.186 \text{ t/m}^2$

D. Penulangan Tumit

Bagian tumit (“heel”) ada counterfort maka perhitungan plat dasar tersebut, berdasarkan prinsip pelat dasar diatas perletakan. Ambil lebar pelat diujung = 1 m yang diperlihatkan seperti pada gambar sketsa distribusi momen berikut.



Gambar 6 Sketsa Distribusi Momen
[Sumber: Hasil Analisis,2024]

$$M_{\text{lapangan}} = \frac{1}{12} 11,49 (4^2) = 15,330 \text{ t - m}$$

$$M_{\text{tumpukan}} = \frac{1}{10} 11,49 (4^2) = 18,398 \text{ t - m}$$

(perhitungan tulangan lentur)

Catatan : Karena beban yang bekerja pada pelat “heel” tersebut makin kecil untuk potongan yang mendekati bagian pertemuan “heel” dan “stem” maka jarak tulangan diperlebar D12-10

Tulangan bagi = 20%, A=.....

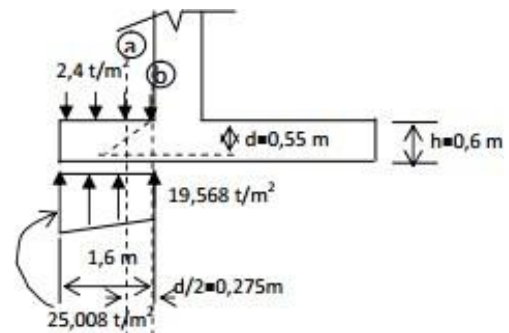
Check geser:

Ambil untuk selebar 1 m:

$$q_u' = \frac{11,49(1,78) + 2,40(1)}{2,78} = 8,096 \text{ t/m}$$

$$v_u = \frac{1}{2} (11,498 + 8,096) 4 = 39,186 \frac{\text{t}}{\text{m}}$$

(perhitungan tulangan geser) Penulangan bagian “toe” Karena tidak ada counterfort, maka direncanakan sebagai pelat kantilever pada gambar berikut:



Gambar 7 Pelat Kantilever
[Sumber: Hasil Analisis,2024]

$$M_{u,b-b} = \frac{1}{2} (19,568) (1,6)^2 + \left(\frac{25,008 - 19,568}{2} \right) (1,6) \left(\frac{2}{3} (1,6) - \frac{1}{2} (2,4) (1,6)^2 \right)$$

$$= 26,617 \text{ t - m}$$

(perhitungan penulangan lentur)

$A_s = 16,2 \text{ cm}^2 \rightarrow$ dipakai $\emptyset 12-75 + 2\emptyset 12$
 $A_s' = 0$, tetapi dalam pelaksanaannya tetap digunakan tulangan tekan. Tulangan pembagi = $20\% A_s = 3,24 \text{ cm}^2$ (pakai $\emptyset 8-150$ Check geser:

Potongan a-a:

$$q_u^n = \frac{25,008(0,275) + 19568(1,6 - 0,275)}{1,6} = 23,082 \text{ t/m}^2$$

$$v_u = \frac{25,008 + 23,082}{2} = (1,6 - 0,275)(1) - (92,4(1,6 - 0,275)(1)) = 28,680 \text{ ton}$$

$$\emptyset v_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b d = \dots > V_u (\text{OK})$$

D. Penulangan Bagian Badan

Pelat diatas beberapa perletakan(dimana perletakannya berupa counterfort)
Pada dasar :

$$q_u = 1,6(y k_A^{h_1} + y' k_A^{h_2}) \times 1 \\ = 1,6 \times (1,6 \times 0,373 \times 3 + 1,4 \times 0,373 \times 4,4) \times 1 \\ = 6,541 \text{ t/m}$$

$$\frac{1}{12} q_u l^2 = \frac{1}{12} \times 6,541 \times 4^2 = 8,721 \text{ t-m}$$

$$M_{\text{tump}} = \frac{1}{10} q_u l^2 = \frac{1}{10} \times 6,541 \times 4^2 = 10,465 \text{ t-m}$$

(proses penulangan lentur, SNI 2847:2019)

Penulangan lapanngan

Diperoleh:

$$A_s = A_{s,\min} = 0,25\% b h = 0,25\% (1000)(420) \\ = 1050 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{gunakan } \emptyset 12-100 \\ = 1131 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 210 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{pakai } \emptyset 12-300$$

Penulangan tumpuan

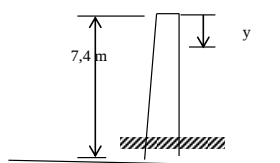
Diperoleh:

$$A_s = A_{s,\min} = 0,25\% b h = 0,25\% (1000)(420) \\ = 1050 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{gunakan } \emptyset 12-100 \\ = 1131 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 210 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{pakai } \emptyset 12-300$$

Tulangan pembagi (searah tinggi badan)
 $20\% A_s = 210 \text{ mm}^2$ (gunakan $\emptyset 12-300$)

Catatan: Tulangan utama $\emptyset 12-100$ adalah untuk jarak 1 meter dari dasar “stem”, sedangkan harga momen semakin keatas (kearah puncak badan) semakin kecil, sehingga jarak tulangan 100 mm tersebut dapat kita perbesar sebagai berikut:



Gambar 8 Jarak Tulangan
[Sumber: Hasil Analisis,2024]

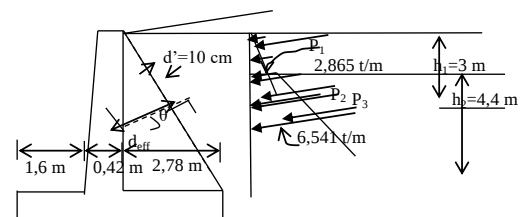
Tabel 2 Jarak Tulangan

y (meter)	Tulanga n lapangan = tumpuan	
0	$A_s =$	$A_s' =$
s/d 4	$\emptyset 12 - 300$	$\emptyset 12 - 300$
4	$A_s =$	$A_s' =$
s/d 6	$\emptyset 12 - 200$	$\emptyset 12 - 300$
6	$A_s =$	$A_s' =$
s/d 7,4	$\emptyset 12 - 100$	$\emptyset 12 - 300$

[Sumber: Hasil Analisis,2024]

E. Penulangan Counterfort

Counterfort direncanakan sebagai balok kantilever yang berfungsi menyalurkan tekanan tanah dari dinding utama ke plat dasar (footing).



Gambar 9 Balok Kantilever
[Sumber: Hasil Analisis,2024]

$$\tan \theta = 278/740 = 0,376 \rightarrow \theta = 20.59$$

$$\cos \theta = \cos 20.59 = 0,936$$

$$\sin \theta = \sin 20.59 = 0,352$$

$$d_{\text{tot}} = 278 \cos 20.59 = 260,2 \text{ cm}$$

$$d_{\text{eff}} = 260,2 - 10 = 250,2 \text{ cm}$$

$$P_1 = 1/2 (2,865)(3) = 4,297 \text{ ton}$$

$$P_2 = 2,865(4,4) = 12,604 \text{ ton}$$

$$P_3 = 1/2 (6,541 - 2,865)(4,4) = 8,088 \text{ ton}$$

jarak counterfort satu sama lain = 4 m

Momen maksimum (pada dasar)

$$= [4,297(4,4 + 1/3(3)) + 12,604(2,2) + 8,088(1/3)(4,4)] 4 \cos 15^\circ$$

$$= 242,623 \text{ t-m}$$

(proses penulangan, SNI 2847:2019)

Diperoleh:

$A_s = 44,93 \text{ cm}^2$ -- pakai 10d25

$A_s' = 0$

Tulangan memanjang counterfort tersebut dikurangi menjadi setengahnya pada jarak 3,7 m dari atas -- pakai 5d25

Chek geser: $P_{total} = (4,297 + 12,604 + 8,088)$

$\cos 15^\circ(4) = 96,550 \text{ ton}$

$V_u = V_{ux} - M/d_1 \tan \theta$

Dimana:

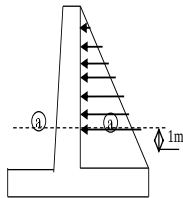
$d_1 = d_{eff}/\cos \theta = 250,2/0,936 = 267,32 \text{ cm}$

$V_u = 96,550 - \frac{242,623}{2,6732} \tan 20,59^\circ$

$= 62,453 \text{ ton}$

$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b d = \dots > V_u \text{ (OK)}$

Sambungan "counterfort" ke badan dinding



Gambar 10 Counterfort ke Badan Dinding

[Sumber: Hasil Analisis, 2024]

Gaya tarik yang dipikul sengkang pada dasar badan (potongan a-a)

Ambil untuk tinggi badan = 1 meter = $6,541(4) = 26.163 \text{ ton}$ Luas tulangan sengkang yang diperlukan:

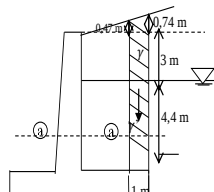
$A_v = \frac{N_u}{\phi f_y} = \frac{261630}{0,7 \times 240} = 1557 \text{ mm}^2$

Gunakan sengkang 2 kaki $\phi 10$ Luas 1 sengkang $= 2 \times \frac{1}{4} \pi (10^2) = 157 \text{ mm}^2$

Jumlah sengkang dalam 1 meter = $1557/157 = 9,92 \rightarrow 10 \text{ buah}$

Jadi digunakan sengkang 2 kaki $\phi 10$ -100

Sambungan "counterfort" ke pelat dasar



Gambar 11 Counterfort ke Pelat Dasar

[Sumber: Hasil Analisis, 2024]

Ambil panjang pelat dasar = 1 meter

W = berat tanah yang menekan pelat dasar selebar 1 meter

$W = 1,6 \times \left(\frac{(3+0,47)+3+0,74}{2} \right) (1)(1,6) + (4,4)(1)(1,6)$

$= 19,094 \text{ ton}$

Gaya yang dipikul sengkang = $W \times L = 19,094 \times 4 = 76,375 \text{ ton}$

Luas tulangan sengkang yang diperlukan:

$A_v = \frac{N_u}{\phi f_y} = \frac{763750}{0,7 \times 240} = 4546 \text{ mm}^2$

Gunakan sengkang 2 kaki $\phi 12$

Luas 1 sengkang

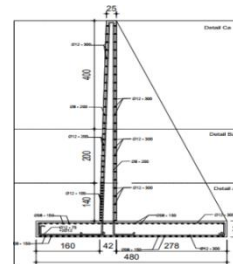
$= 2 \times \frac{1}{4} \pi (12^2) = 226 \text{ mm}^2$

Jumlah sengkang dalam 1 meter = $4546/226 = 20 \rightarrow 20 \text{ buah}$

Jadi digunakan sengkang 2 kaki $\phi 12$ -50.

Berikut potongan bagian samping dan bagian atas dinding penahan tanah gambar dapat dilihat pada **Gambar 11 dan 12**

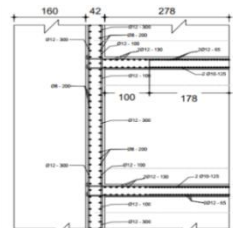
Gambar Potongan Bagian Samping Dinding Penahan Tanah



Gambar 12 Samping Dinding Penahan Tanah

[Sumber: Hasil Analisis, 2024]

Gambar Potongan Bagian Atas Dinding Penahan Tanah



Gambar 13 Atas Dinding Penahan Tanah

[Sumber: Hasil Analisis, 2024]

5. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever yang diperkuat dengan counterfort secara teknis memenuhi persyaratan stabilitas dan dapat diterapkan pada kawasan Relokasi Bencana Semeru, Kabupaten Lumajang.
2. Desain dinding penahan tanah menggunakan frame counterfort beton bertulang dengan mutu beton K-300 dan mutu baja $f_y = 240$ MPa yang ditempatkan di sisi belakang dinding. Dimensi frame counterfort direncanakan memiliki tinggi efektif (d_{eff}) 250,2 cm dan tebal 40 cm, dengan tulangan memanjang sebanyak 5 batang berdiameter 25 mm (5D25) pada jarak 3,7 m dari puncak dinding. Jarak antar frame counterfort direncanakan sejauh 4 m. Desain ini dinilai memadai untuk menahan tekanan lateral tanah serta memberikan kestabilan struktur secara efisien, dengan konfigurasi dimensi dan penulangan yang sesuai terhadap beban yang bekerja.

B. Saran

Saran-saran untuk penelitian selanjutnya, adalah sebagai berikut:

1. Melakukan kajian optimasi jarak antar frame counterfort terhadap tebal stem yang digunakan, karena hubungan keduanya berpengaruh pada efisiensi struktur, baik dari segi kekuatan maupun penggunaan material.
2. Melakukan analisis lanjutan dengan pendekatan numerik atau pengujian eksperimental untuk memperoleh desain yang lebih optimal dan ekonomis.
3. Mempertimbangkan faktor-faktor tambahan seperti kondisi tanah setempat, variasi beban kerja, dan metode konstruksi dalam perencanaan dinding penahan tanah tipe counterfort.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Arbi, M. H. (2014). Hubungan Antara Tegangan-regangan (Stress - Strain Relationships) Pada Beton. *Lentera: Jurnal Ilmiah Sains Dan Teknologi*, 14(10), 38–44.
- Arfiadi, Y. (2017). Diagram Interaksi Perancangan Kolom Dengan Tulangan Pada Empat Sisi Berdasarkan Sni 2847:2013 Dan Aci 318M-11. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(4), 268–290. <https://doi.org/10.24002/jts.v13i4.935>
- Bowles, J. E. (1997). Foundation Analysis and Design International Fifth Edition. In *Civil Engineering Materials*. Mc. Graw Hill, Inc.
- Das, B. M. (1993). *Principles of Geotechnical Engineering*. California State University.
- Das, B. M. (2010). *Principles of foundation engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- Fergusson, P. (1973). "Reinforced Concrete Fundamentals", 3rd ed., John Wiley & Sons Inc., New York
- Hardiyatmo, H. C. (2020). Analisis & Perancangan Fondasi I. *Gadjah Mada University Press*, 590.
- Hardiyatmo, H. C. (2024). *Perbaikan tanah* (Cetakan ke-3). Gadjah Mada University Press.
- Li, Y., Lee, C. C., & Cai, Y. (2023). Recent Research Advances in High-Performance Steel Tubular Members: Material Properties, Stub Columns, and Beams. *Buildings*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/buildings13112713>
- McCormac, J. C. and R. H. Brown (2016). "Design of Reinforced Concrete, 10th ed., John Wiley & Sons Inc., New York
- Mindess, S. (2008). Concrete constituent materials. *Concrete Construction Engineering Handbook, Second Edition*,

1–28.
<https://doi.org/10.1201/9781420007657.ch1>

Marufah, F., dkk. (2023). *Geoteknis tanah*. Jakarta: Media Sains Indonesia.

Nasution,A. (2009). “Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang”. ITB. Bandung.

Nawy,E.G.(1985). “Reinforced Concrete-A Fundamental Approach”.Prentice-Hall,Inc, New Jersey.

Neville, A. M. (1975). *Properties of Concrete*. The English Language Book Society and Pitman Publishing.

Park,R. and T. Paulay (1975). “Reinforced Concrete Structures”.John Wiley & Sons, New York.

Priyono, P. (2019). *Buku Ajar Struktur Beton Bertulang I (Berdasarkan SNI 2847:2013)*. Pustaka Abadi.

Setiawan,A.(2016). “Perancangan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847:2013)”. Erlangga, Jakarta.

Vazirani,V.N. & Ratwani,MM (1976). “Concrete Structures”.Khana Publishers,2-B.Ntaha Market, Nai Barak New Delhi.

Vis,W.C dan Gideon K.(1993). “Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang berdasarkan SK SNI T-15-1991-03”. Erlangga. Jakarta

Wang,C.K. ,C.G. Salmon and J.A. Pincheira (2007). “Reinforced Concrete Design” ,7th ed. , John Wiley and Sons,Inc.,New York

Yousef, S., & Shahroodi, H. (2024). *Improvement of Seismic Performance of Concrete Structures Using Magnetized Concrete : An Empirical Study*.