

EVALUASI BANGUNAN PENGAMAN LERENG SUNGAI CILIWUNG RUAS KALIBATA DENGAN MENGGUNAKAN ANALISIS BERDASARKAN LOAD RESISTANCE FACTOR DESIGN

*Furqaan Harjanto¹, Agus Darmawan Adi², Hary Christady Hardiyatmo³

^{1,2,3}Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

^{*)} Email: furqaanharjanto@mail.ugm.ac.id

ABSTRACT

Retaining walls are structures commonly used to retain soil with steeper slopes than the soil itself can withstand. The method was applied to the slope of the Kalibata Section of the Ciliwung River using a non-gravity retaining wall. However, the construction experienced landslides during floods, so this research aims to determine the type of retaining wall construction that can be used, as well as the stability of each type of retaining wall construction. The analysis was conducted on the cut with code P.07 using soil data in the form of drill results with code BH-24, and laboratory data from the test results of the drill at three different sample depths. The analysis used the Load Resistance Factor Design method with the help of GEO5 software. The results of the analysis in all load combinations show that the semi-gravity cantilever type of retaining wall cannot be used because it does not meet the sliding stability, eccentricity and bearing capacity in all load combinations. The cantilevered non-gravity type does not meet the Service 1 combination due to the large horizontal displacement value, so anchor reinforcement is used. In the Strength 1 combination with anchors, the penetration depth was 18.4 meters with anchors installed at a depth of 2.5 meters from the surface, and a horizontal displacement of 2.7 centimeters.

Keyword: Stability, Earth retaining structure, Load Resistance Factor Design (LRFD), GEO5

ABSTRAK

Dinding penahan tanah merupakan struktur yang biasa digunakan untuk menahan tanah dengan kemiringan lereng yang lebih curam melebihi yang dapat ditahan oleh tanah itu sendiri. Metode tersebut diterapkan pada lereng Sungai Ciliwung Ruas Kalibata yang menggunakan dinding penahan tanah tipe non gravitasi. Namun konstruksi tersebut mengalami longsor saat terjadi banjir, sehingga penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui jenis konstruksi penahan tanah yang dapat digunakan, serta stabilitas masing – masing jenis konstruksi penahan tanah. Analisis dilakukan pada potongan dengan kode P.07 menggunakan data tanah berupa hasil bor dengan kode BH-24, dan data laboratorium hasil pengujian dari bor tersebut pada tiga kedalaman sampel yang berbeda. Analisis menggunakan metode Load Resistance Factor Design dengan bantuan software GEO5. Hasil analisis pada semua kombinasi beban menunjukkan jenis dinding penahan tanah tipe semi gravitasi kantilever tidak dapat digunakan karena tidak memenuhi stabilitas geser, eksentrisitas dan daya dukung pada semua kombinasi beban. Untuk jenis non gravitasi kantilever tidak memenuhi terhadap kombinasi Layan 1 dikarenakan nilai perpindahan horizontal yang besar, sehingga digunakan perkuatan angkur. Pada kombinasi Kuat 1 dengan angkur, memberikan hasil kedalaman penetrasi sebesar 18.4 meter dengan angkur dipasang pada kedalaman 2.5 meter dari permukaan, dan perpindahan horizontal sebesar 2.7 centimeter.

Kata kunci: Stabilitas, Dinding penahan tanah, Load Resistance Factor Design (LRFD), GEO5

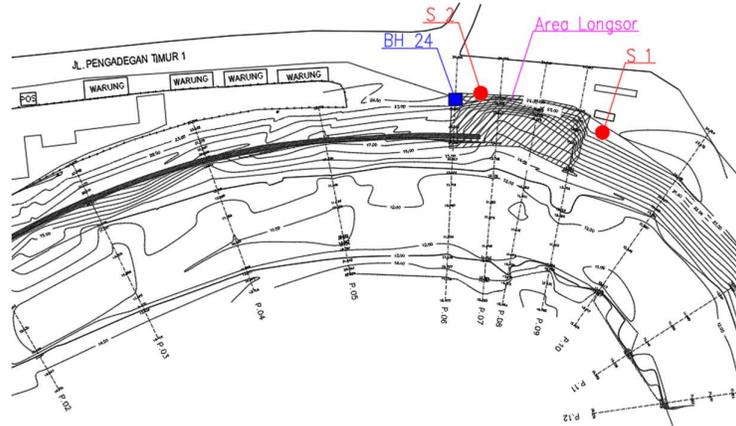
1. PENDAHULUAN

Desain dari dinding penahan tanah secara tradisional menggunakan pendekatan *allowable stress design* (ASD) dengan prinsip dari ASD adalah membatasi tegangan yang bekerja agar tidak lebih dari tegangan izin yang telah dibagi dengan faktor keamanan. Faktor keamanan pada metode ASD tidak mempertimbangkan kepastian prediksi beban yang bekerja karena nilai faktor keamanan ASD didasarkan pada pengalaman dan penilaian dari individu. *National Cooperative Highway Research Program* (1986) melakukan penelitian dan menyimpulkan bahwa pendekatan ASD memberikan hasil yang tidak konsisten, dan tidak mengikuti filosofi desain dan pengetahuan yang terbaru, sehingga *American Association of State Highway and Transportation Official* (1994) mengadopsi pendekatan baru yaitu *load resistance factor design* (LRFD) yang dimana faktor tahanan dan faktor beban dari LRFD ditentukan berdasarkan dari statistik aktual untuk mendapatkan nilai keamanan yang seragam.

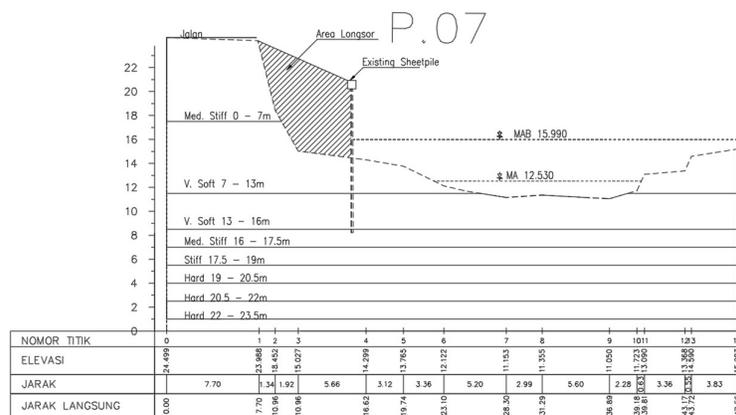
Pada kasus lereng Sungai Ciliwung ruas Kalibata, dinding penahan tanah jenis turap digunakan sebagai struktur penahan tanah untuk melindungi lereng sungai tersebut. Pada April 2022, terjadi longsor pada turap Sungai Ciliwung ruas Kalibata dan menyebabkan rusaknya jalan dan beberapa fasilitas umum yang berada pada lereng tersebut, sehingga memberikan dampak yang besar bagi masyarakat di sekitar area lereng Sungai Ciliwung. Dengan adanya longsor pada lereng Sungai Ciliwung, maka perlu dilakukan analisis terkait dengan jenis dinding penahan yang nantinya digunakan untuk bangunan pengaman lereng menggantikan turap yang telah longsor. Analisis akan dilakukan untuk jenis dinding penahan tanah semi gravitasi kantilever dan non gravitasi menggunakan metode *load resistance factor design*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Sungai Ciliwung Ruas Kalibata yang dimana terjadi longsor pada penanganan lereng sungai eksisting menggunakan konstruksi turap. Data penyelidikan tanah yang digunakan dalam penelitian ini berupa data dari pihak BBWS Ciliwung – Cisadane melalui hasil penyelidikan lapangan yaitu uji *Standard Penetration Test* (SPT) dengan kode BH 24, uji *Cone Penetration Test* (CPT) dengan kode S1 dan S2, serta pengujian laboratorium dari sampel tidak terganggu hasil uji bor lapangan pada beberapa kedalaman. Sedangkan untuk data potongan dan tampak didapatkan dari dokumen review drawing PT. Tuah Agung Anugrah [14] pada kode potonga P.07 dan data tanah lain didapatkan dari dokumen laporan review desain oleh PT. Tuah Agung Anugrah [15]. Layout lokasi penyelidikan tanah dan potongan melintang lereng dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Layout lokasi penyelidikan tanah [15]



Gambar 2. Potongan melintang lereng P.07 [15]

Dalam penelitian ini, analisis menggunakan bantuan perangkat lunak GEO5 dengan metode *load resistance factor design* (LRFD). Perangkat lunak GEO5 memungkinkan melakukan analisis pada pendekatan LRFD pada beberapa kombinasi beban dan tinjauan seperti stabilitas geser, eksentrisitas, daya dukung dan stabilitas global. Keruntuhan dinding penahan tanah akibat piping juga dapat dianalisis dengan membandingkan gradien hidrolis kritis dan gradien hidrolis. Untuk jenis dinding penahan tanah berupa dinding semi gravitasi (dinding semi gravitasi kantilever) maka analisis dilakukan dengan menggunakan metode LRFD dengan tinjauan yang dilakukan terhadap defleksi dan stabilitas global pada kombinasi beban Layan 1, tinjauan geser, daya dukung eksentrisitas dan piping pada Kuat 1 dan pengaruh gempa pada Ekstrim 1. Untuk jenis dinding penahan tanah tipe non gravitasi, tinjauan yang dilakukan adalah terhadap terhadap stabilitas global dan defleksi pada kombinasi beban layan 1, kedalaman penetrasi, stabilitas global dan piping pada kombinasi Kuat 1 dan pengaruh gempa pada Ekstrim 1. Pada kombinasi Layan 1, apabila nilai defleksi tidak memenuhi persyaratan, maka akan ditambahkan dengan perkuatan pada dinding berupa angkur. Tinjauan pada dinding penahan tanah tipe gravitasi dan tipe non gravitasi juga ditambahkan terkait dengan adanya pengaruh hidrolis pada dinding, yaitu adanya piping pada tipe non gravitasi, sedangkan pada tipe gravitasi, dilakukan control drainase menggunakan *weep hole*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi Data

Data yang digunakan tersebut merupakan data sekunder yang diperoleh dari pihak BBWS Ciliwung – Cisadane berupa data pengujian lab hasil dari uji bor BH -24 dengan hasil uji serta korelasi parameter seperti pada Tabel 3.1. Korelasi parameter mengacu pada penelitian dari Look [11].

Tabel 1. Hasil korelasi parameter tanah

| N SPT | Jenis Tanah | Kedalaman (m) | γ_{bulk} (kN/m ³) | | | $\gamma_{saturated}$ (kN/m ³) | | |
|-------|-----------------|---------------|--------------------------------------|---------|---------|---|---------|---------|
| | | | Korelasi | Uji Lab | Dipakai | Korelasi | Uji Lab | Dipakai |
| 10 | Med Stiff Clay | 0 - 7 | 18.00 | 17.76 | 17.76 | 18.00 | 17.95 | 17.95 |
| 3 | Very Soft Clay | 7 - 13 | 15.00 | 15.50 | 15.50 | 16.00 | 16.52 | 16.52 |
| 1 | Very Soft Clay | 13 - 16 | 15.00 | 15.99 | 15.99 | 16.00 | 16.50 | 16.50 |
| 11 | Med Stiff Clay | 16 - 17.5 | 18.00 | - | 18.00 | 18.00 | - | 18.00 |
| 16 | Stiff Clay | 17.5 - 19 | 19.00 | - | 19.00 | 19.00 | - | 19.00 |
| 27 | Very Stiff | 19 - 20.5 | 20.00 | - | 20.00 | 20.00 | - | 20.00 |
| 34 | Very Stiff | 20.5 - 22 | 20.00 | - | 20.00 | 20.00 | - | 20.00 |
| 47 | Hard Clay | 22 - 23.5 | 20.00 | - | 20.00 | 20.00 | - | 20.00 |
| 60 | Hard Clay | 23.5 - 26.5 | 20.00 | - | 20.00 | 20.00 | - | 20.00 |
| 60 | Very Dense Sand | 26.5 - 29.5 | 21.00 | - | 21.00 | 23.00 | - | 23.00 |

Tabel 1. (Lanjutan)

| N SPT | Jenis Tanah | Kedalaman (m) | C (kN/m ²) | | | ϕ (°) | | |
|-------|-----------------|---------------|------------------------|--------------|---------|------------|--------------|---------|
| | | | Korelasi | Uji Lab (UU) | Dipakai | Korelasi | Uji Lab (UU) | Dipakai |
| 10 | Med Stiff Clay | 0 - 7 | 50.00 | 40.22 | 40.22 | 23.00 | 3.80 | 3.80 |
| 3 | Very Soft Clay | 7 - 13 | 15.00 | 24.53 | 24.53 | 18.00 | 5.70 | 5.70 |
| 1 | Very Soft Clay | 13 - 16 | 5.00 | 21.58 | 21.58 | 16.00 | 3.80 | 3.80 |
| 11 | Med Stiff Clay | 16 - 17.5 | 55.00 | - | 55.00 | - | - | 4.00 |
| 16 | Stiff Clay | 17.5 - 19 | 80.00 | - | 80.00 | - | - | 6.00 |
| 27 | Very Stiff | 19 - 20.5 | 135.00 | - | 135.00 | - | - | 6.00 |
| 34 | Very Stiff | 20.5 - 22 | 170.00 | - | 170.00 | - | - | 7.00 |
| 47 | Hard Clay | 22 - 23.5 | 235.00 | - | 235.00 | - | - | 8.00 |
| 60 | Hard Clay | 23.5 - 26.5 | 300.00 | - | 300.00 | - | - | 10.00 |
| 60 | Very Dense Sand | 26.5 - 29.5 | - | - | 1.00 | 43.00 | - | 43.00 |

Pemilihan Jenis Dinding Penahan Tanah

Lokasi yang berada pada tepi sungai, dan adanya jalan untuk lalu lintas kendaraan, memberikan lahan yang sempit, sehingga membatasi jenis penahan tanah yang dapat digunakan di lapangan. Dinding penahan tanah jenis gravitasi, dan non gravitasi dapat digunakan sebagai struktur penahan lereng sungai [9]. Terdapat beberapa kriteria batasan tinggi yang dapat ditahan untuk jenis dinding penahan tanah. Untuk jenis dinding gravitasi (pasangan batu), tinggi dinding yang umum digunakan adalah 2 – 3 meter. Untuk semi gravitasi (kantilever), tinggi dinding yang dapat ditahan mencapai 7 meter [11]. Dengan kondisi lapangan dimana tinggi tanah yang ditahan adalah ± 7 meter, maka struktur penahan tanah tipe gravitasi pasangan batu tidak dapat digunakan dan dipilih tipe semi gravitasi kantilever. Untuk dinding non gravitasi, kedalaman penetrasi mengikuti tinggi tanah yang ditahan, sehingga semakin tinggi tanah yang ditahan, maka kedalaman penetrasi yang diperlukan akan semakin besar, hal ini berpengaruh terhadap penggunaan dinding non gravitasi jenis turap precast dikarenakan panjang total yang umum digunakan adalah 12 meter. Dengan tinggi tanah ± 7 meter, maka berdasarkan dari penelitian Look, kedalaman penetrasi minimum adalah $2.5H$ yaitu sebesar ± 17.5 meter [11], hal ini membuat panjang total struktur lebih dari 12 meter, sehingga untuk tipe non gravitasi digunakan jenis secant pile. Dinding tipe non gravitasi dibagi menjadi dua kategori : (a) kantilever dan (b) dengan angkur [4]. Galian yang melebihi 6 meter, beban yang diterima pada turap akan meningkat, sehingga moment yang terjadi pada dinding akan sangat besar dan menyebabkan dimensi konstruksi akan sangat besar, sehingga perlu digunakan perkuatan angkur untuk mengurangi moment, selain itu juga untuk mengurangi nilai perpindahan horizontal [4].

Tinjauan Keruntuhan Hidrolis Dinding Penahan Tanah

Air pada keadaan statis didalam tanah, akan mengakibatkan tekanan hidrostatis yang arahnya keatas (*uplift*), tetapi ketika air mengalir melewati lapisan tanah, aliran air akan mendesak partikel tanah partikel tanah sebesar tekanan rembesan hidrodinamis yang bekerja menurut arah alirannya. Keadaan dimana butiran – butiran tanah halus terangkut oleh adanya aliran air, maka akan menyebabkan terjadinya pipa – pipa didalam tanah yang disebut

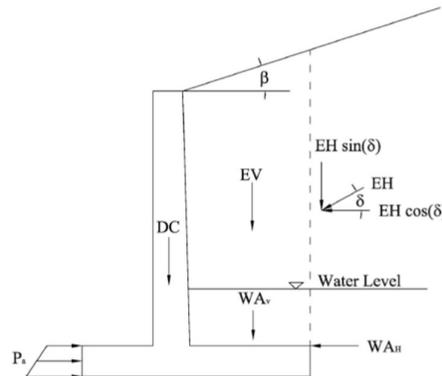
dengan piping [8]. Stabilitas dari turap sangat sensitif terhadap aliran rembesan [17]. Dengan adanya aliran rembesan, maka akan terjadi adanya reduksi tekanan tanah pasif dan meningkatkan tekanan tanah aktif, sehingga meningkatkan resiko ketidakstabilan dari dinding penahan tanah akibat dari *piping* atau *heave*. Adanya peningkatan elevasi muka air, maka faktor keamanan terhadap stabilitas dinding menjadi menurun [13]. Dinding penahan tanah tipe gravitasi, agar menghindari ketidakstabilan dinding penahan tanah akibat dari infiltrasi air, maka penggunaan sistem drainase pada dinding gravitasi dengan *weep hole* dan pipa *perforated* yang terletak pada tumit dinding [5]. Keamanan terhadap piping (SFP), dapat dicari dengan Persamaan (1) [6] sebagai berikut:

$$SF_p \leq \frac{i_c}{i} \tag{1}$$

Dengan : i = gradien hidraulik, $i = \frac{\Delta h}{l}$; i_c = gradien hidraulik kritis, $i_c \leq \frac{\gamma'}{\gamma_w}$; γ' = Berat jenis tanah pada lokasi munculnya air (kN/m³); γ_w = Berat jenis air (kN/m³); Δh = Beda tinggi energi (m); l = Panjang lintasan aliran (m)

Load Resistance Factor Design

Desain dari struktur penahan tanah secara tradisional didesain dengan menggunakan metode *Allowable Stress Design* (ASD) yang dimana semua ketidakpastian dalam beban dan kekuatan material dikombinasikan dalam satu jenis faktor keamanan [1]. *Load Resistance Design Factor* (LRFD) merupakan metode yang dikembangkan dengan memberikan pendekatan yang dimana potensi kegagalan dan kondisi layan dapat dievaluasi dengan mempertimbangkan ketidakpastian yang terkait dengan beban dan kekuatan material. Secara umum, desain LRFD harus berada pada kondisi dimana beban yang telah dikalikan dengan faktor beban, harus lebih kecil daripada kekuatan material yang telah dikalikan dengan faktor reduksi. Kondisi batas dalam analisis LRFD untuk desain dinding penahan tanah adalah Kuat 1 (*Strength 1*), Layan 1 (*Service 1*), dan Ekstrem 1 (*Extreme 1*). Jenis beban yang bekerja pada dinding penahan tanah pada metode LRFD adalah beban mati struktur (DC), tekanan tanah horizontal (EH), beban tambahan timbunan (ES), beban vertikal timbunan (EV), beban hidup (LL), beban air (WA) dan beban gempa (EQ) dengan komponen pada Gambar 3 [1].



Gambar 3. Faktor LRFD untuk dinding penahan tanah [16]

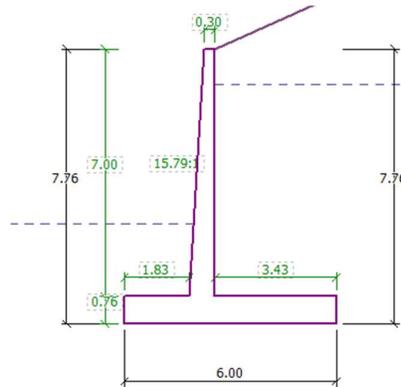
Elemen struktur harus dievaluasi terhadap 11 kombinasi beban, namun tidak semua kombinasi tersebut dapat digunakan pada dinding penahan tanah [17]. Kombinasi beban yang dapat digunakan pada struktur penahan tanah adalah kuat 1, kuat 4, layan 1 dan ekstrem 1. Namun untuk kombinasi kuat 4 hanya digunakan ketika beban mati dinding penahan tanah sangat besar (dinding gravitasi) sehingga untuk jenis kantilever, hanya digunakan kuat 1. Kombinasi beban yang berpengaruh terhadap proses desain hanyalah kombinasi beban kuat 1 dan ekstrem 1 [10]. Pada kombinasi beban kuat 1, dibedakan menjadi kuat 1-a dan kuat 1-b untuk faktor beban maksimum dan minimum, faktor minimum tersebut memberikan eksentrisitas terbesar dan faktor maksimum memberi tekanan tanah terbesar. Tabel kombinasi beban yang digunakan adalah seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Kombinasi beban LRFD [2]

| Kombinasi | DC | EH | ES | EV | LL |
|-----------------|------|-----|------|------|------|
| Kuat 1 (Max) | 1.25 | 1.5 | 1.5 | 1.35 | 1.75 |
| Kuat 1 (Min) | 0.9 | 0.9 | 0.75 | 1 | 1.75 |
| Layan 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ekstrem 1 (Max) | 1.25 | 1 | 1 | 1 | 1.75 |
| Ekstrem 1 (Min) | 0.9 | 0.9 | 0.75 | 1 | 1.75 |

Analisis Dinding Penahan Tanah Tipe Semi Gravitasi Kantilever

Dimensi untuk asumsi awal dengan tinggi tanah yang ditahan oleh dinding penahan tanah adalah 7.76m [3], maka lebar dari kaki dinding penahan tanah adalah pada rentang 3.7 - 5.5m dan diambil nilai 6m dengan detail dimensi seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Dimensi dinding penahan tanah

Stabilitas geser dinding penahan tanah dapat dicari dengan persamaan 2, dimana V adalah gaya vertikal terfaktor dan $\tan\delta$ adalah nilai dari $\tan\phi$ untuk struktur cor ditempat yang bertemu dengan tanah dan $0.8 \tan\phi$ untuk struktur pracetak.

$$R_{\tau} = V \tan \delta \quad (2)$$

Gaya vertikal dan horizontal terfaktor dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Gaya vertikal terfaktor Kuat 1 Min

| Gaya | Gaya vertikal (kN) | Koef. LRFD | Gaya terfaktor (kN) |
|---------------|--------------------|------------|---------------------|
| Berat dinding | 206.21 | 0.9 | 185.59 |
| Berat tanah | 177.88 | 1 | 177.88 |

Tabel 4. Gaya horizontal terfaktor Kuat 1 Min

| Gaya | Gaya horizontal (kN) | Koef. LRFD | Gaya terfaktor (kN) |
|---------------------------|----------------------|------------|---------------------|
| Beban merata tanah 1 | 262.98 | 1.5 | 394.47 |
| Tekanan aktif tanah 2 | 51.77 | 1.5 | 77.66 |
| Kohesi tanah 2 | -192.73 | 1.5 | -289.1 |
| Tekanan air | 295.37 | 1 | 295.37 |
| Beban merata fungsi jarak | 1.89 | 1.75 | 3.31 |

Berdasarkan Persamaan 2, tahanan geser nominal adalah 36.28 kN, dengan gaya horizontal total adalah 481.72 kN, maka struktur tidak aman terhadap geser. Pada tinjauan eksentrisitas, dicari dengan Persamaan 3 berikut.

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_R - M_D}{V} \quad (3)$$

B adalah lebar telapak dinding penahan tanah, M_R adalah moment tahanan dan M_D adalah moment dorong. Nilai eksentrisitas tidak boleh melebihi $B/4$. Moment tahanan dan moment dorong dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Moment tahanan

| Gaya | Gaya vertikal terfaktor (kN) | Lengan moment (m) | Moment (kNm) |
|---------------|------------------------------|-------------------|--------------|
| Berat dinding | 185.59 | 2.69 | 499.24 |
| Berat tanah | 177.88 | 4.29 | 763.1 |

Tabel 6. Moment dorong

| Gaya | Gaya horizontal terfaktor (kN) | Lengan moment (m) | Moment (kNm) |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------|--------------|
| Beban merata tanah 1 | 394.47 | 2.17 | 856 |
| Tekanan aktif tanah 2 | 77.66 | 1.45 | 112.61 |
| Kohesi tanah 2 | -289.1 | 2.17 | -627.35 |
| Tekanan air | 295.37 | 2.59 | 765.01 |
| Beban merata fungsi jarak | 3.31 | 2.61 | 8.64 |

Dengan menggunakan Persamaan 3, didapatkan eksentrisitas yang terjadi adalah 2.59 meter, dengan batas eksentrisitas maksimum adalah 1.5 meter, sehingga tidak aman terhadap eksentrisitas. Pada tinjauan daya dukung,

tekanan yang terjadi pada tanah dicari menggunakan Persamaan 4, sedangkan daya dukung dicari dengan Persamaan 5.

$$\sigma_v = \frac{\Sigma V}{B-2e} \tag{4}$$

$$q_n = cN_{cm} + \gamma D_f N_{qm} C_{wq} + 0.5\gamma B N_{\gamma m} C_{wy} \tag{5}$$

Dengan c adalah kohesi, Ncm, Nqm dan Nym adalah perkalian dari faktor kapasitas untuk kohesi, beban tambahan dan berat jenis, lalu faktor koreksi bentuk telapak dinding, faktor kemiringan beban dan koreksi kuat geser dasar dinding, γ adalah berat jenis tanah, Df adalah kedalaman telapak, Cwq dan Cwy adalah faktor koreksi muka air tanah. Gaya yang vertikal yang bekerja pada Tabel 7.

Tabel 7. Gaya vertikal terfaktor Kuat 1 Max

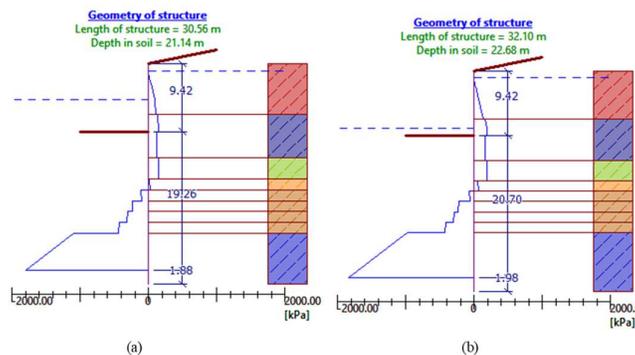
| Gaya | Gaya vertikal (kN) | Koef. LRFD | Gaya vertikal terfaktor (kN) |
|---------------|--------------------|------------|------------------------------|
| Berat dinding | 206.21 | 1.25 | 257.76 |
| Berat tanah | 177.88 | 1.5 | 266.82 |

Menggunakan Persamaan 3, didapatkan tekanan tanah adalah 641.26 kN/m², menggunakan Persamaan 4, daya dukung tanah adalah 303.85 kN/m², sehingga struktur tidak aman terhadap daya dukung. Kombinasi yang paling berpengaruh terhadap desain adalah kombinasi Kuat 1 [10]. Dengan hasil analisis pada kondisi Kuat 1 yang menunjukkan bahwa dinding penahan tanah tidak memenuhi stabilitas eksternal, maka pada kombinasi Layan 1 dan Ekstrem 1 akan memberikan hasil yang tidak memenuhi, sehingga analisis pada kombinasi selain Kuat 1 tidak dilakukan.

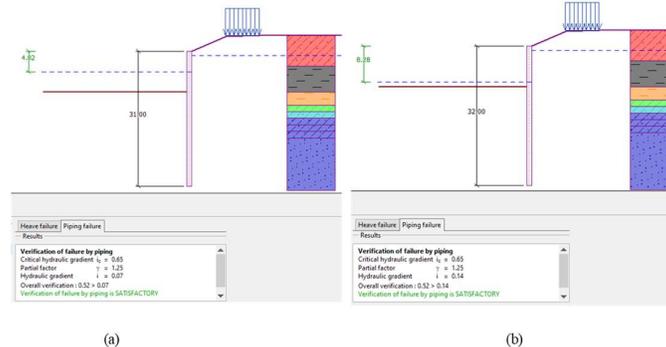
Analisis Dinding Penahan Tanah Tipe Non Gravitasi

Hasil analisis kedalaman penetrasi pada kombinasi Kuat 1 dilakukan dengan membandingkan moment pendorong dari tekanan tanah aktif dengan moment penahan dari tekanan tanah pasif dengan hasil analisis pada Gambar 5. Pada kondisi muka air normal, kebutuhan penetrasi sedalam 22.68 meter, sedangkan pada kondisi banjir sebesar 21.14 meter sehingga struktur yang dapat digunakan adalah secant pile karena melebihi 12 meter batas untuk penggunaan *precast*.

Hasil analisis terhadap stabilitas piping memberikan hasil seperti pada Gambar 6. Gradient hidraulik kritis sebesar 0.65, sedangkan gradient hidraulik saat banjir adalah 0.07 dan saat muka air normal adalah 0.14, sehingga konstruksi tersebut aman terhadap bahaya *piping*.

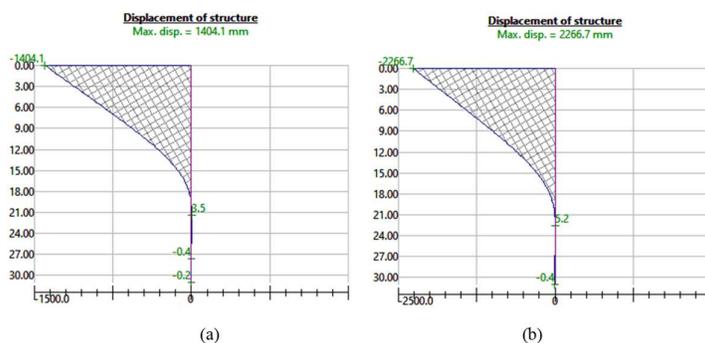


Gambar 5. Hasil analisis kedalaman penetrasi: (a) muka air banjir, (b) muka air normal

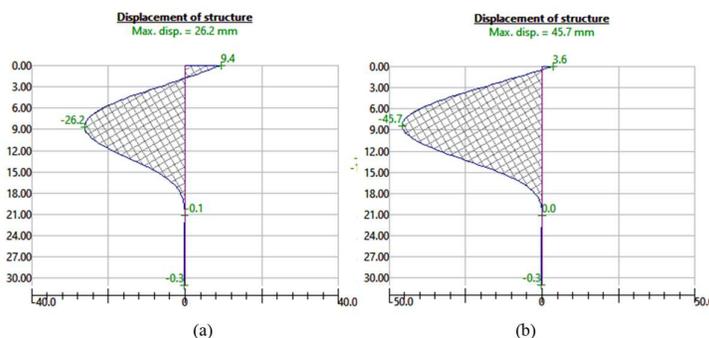


Gambar 6. Hasil analisis piping: (a) muka air banjir, (b) muka air normal

Pada kombinasi Layan 1, analisis digunakan untuk menentukan perpindahan horizontal (*displacement*). *Displacement* maksimum adalah 0.5% dari H [3], sehingga dibatasi pada 4.7cm dengan hasil pada Gambar 7. Diameter *secant pile* yang digunakan adalah 80 cm dengan jarak *secondary pile* sebesar 1.2 m. didapatkan nilai *displacement* sebesar 140.4 cm untuk muka air banjir dan 226.6 untuk muka air normal, sehingga perlu diberi perkuatan berupa angkur untuk mengurangi *displacement* tersebut. Properties dari angkur yang digunakan adalah sesuai dengan dokumen review desain oleh PT.Tuah Agung Anugrah yang dimana angkur dipasang pada kedalaman 2.5m dari permukaan tanah dengan hasil analisis pada Gambar 8. Dengan adanya perkuatan angkur, nilai *displacement* menjad 2.6 cm pada kondisi banjir dan 4.5 cm untuk kondisi muka air normal, sehingga memenuhi persyaratan telah sesuai [3].



Gambar 7. Hasil displacement: (a) muka air banjir, (b) muka air normal



Gambar 8. Hasil displacement dengan angkur: (a) muka air banjir, (b) muka air normal

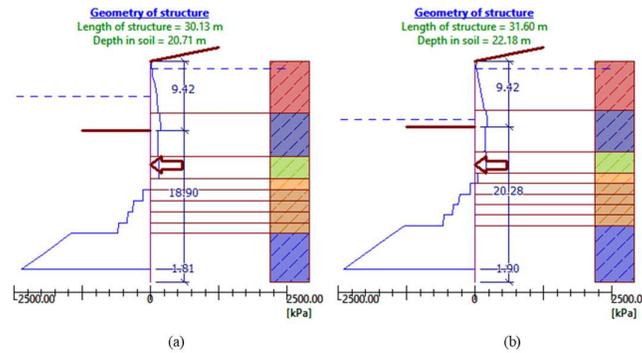
Pada kombinasi Ekstrem 1, bahwa percepatan seismik horizontal (k_h) dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut [12]:

$$K_h = 0.5 \frac{PGAM}{g} \tag{6}$$

Nilai percepatan puncak di permukaan tanah dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut [7].

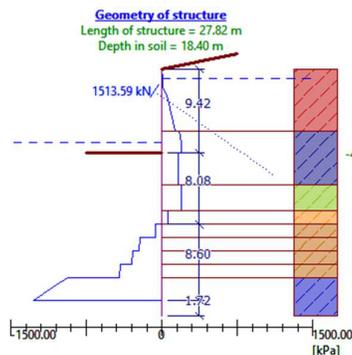
$$PGAM = F PGA \times PGA \tag{7}$$

Dengan nilai K_h merupakan koefisien percepatan gempa horizontal, PGAM merupakan percepatan puncak di permukaan tanah, g merupakan percepatan gravitasi, PGA merupakan percepatan puncak di permukaan tanah dan F PGA merupakan faktor amplifikasi untuk PGA. Kombinasi Ekstrem 1 menghasilkan panjang penetrasi seperti pada Gambar 9, dengan kondisi banjir dibutuhkan adalah 20.71m, sedangkan pada muka air normal dibutuhkan 22.18m. Nilai tersebut masih lebih kecil dibandingkan kombinasi Kuat 1, sehingga kedalaman yang mengacu pada kombinasi Kuat 1.

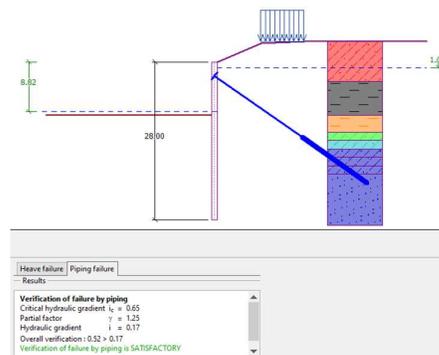


Gambar 9. Hasil analisis kedalaman penetrasi: (a) muka air banjir, (b) muka air normal

Penggunaan angkur akan mengubah nilai kedalaman penetrasi. Analisis pada optimasi desain akibat angkur dilakukan pada kondisi muka air normal kombinasi Kuat 1 karena di kondisi tersebut merupakan kondisi kritis dengan hasil analisis dinding penahan tanah non gravitasi angkur pada Gambar 10, didapatkan panjang total struktur 27.82 meter dan penetrasi 18.4 meter.

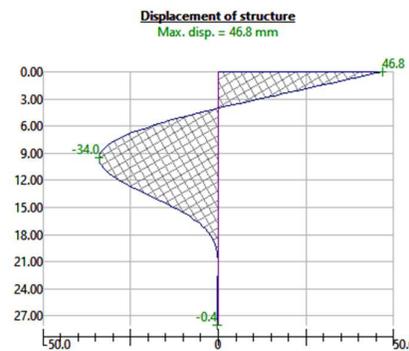


Gambar 10. Kedalaman penetrasi dengan angkur



Gambar 11. Hasil analisis *piping* optimasi

Gradient hidraulik kritis pada desain optimasi adalah sebesar 0.65, gradient hidraulik yang terjadi adalah 0.17, sehingga struktur aman terhadap piping seperti Gambar 11. Pada kombinasi Layan 1, perpindahan yang terjadi adalah 4.6 cm seperti Gambar 12, sehingga memenuhi kriteria SNI [3].



Gambar 12. Perpindahan pada kombinasi Layan 1

Dengan menggunakan struktur tipe secant pile, maka perlu dicek keamanan terhadap kegagalan struktur. Pengecekan kegagalan struktur dilakukan pada kombinasi beban Kuat 1 dan Ekstrem 1 dengan hasil pada Gambar 13 dan 14. Pada kombinasi Kuat 1, dibutuhkan 24 tulangan diameter 25 mm dengan tulangan sengkang diameter 13mm dan jarak 250mm, sedangkan pada kombinasi Ekstrem 1 dibutuhkan 30 tulangan diameter 25mm dengan tulangan sengkang diameter 13mm dan jarak 250mm.



Gambar 13. Tulangan kombinasi Kuat 1



Gambar 14. Tulangan kombinasi Ekstrim 1

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisis yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Dinding penahan tanah tipe semi gravitasi kantilever tidak dapat digunakan dikarenakan stabilitas pada semua kombinasi beban tidak memenuhi.
2. Jenis dinding penahan tanah yang cocok digunakan adalah jenis non gravitasi dan dipilih jenis secant pile dikarenakan panjang total struktur yang diperlukan adalah 28 meter, sehingga penggunaan jenis turap tidak memungkinkan karena terbatas oleh panjang maksimum turap adalah 12 meter.
3. Hasil analisis pada dinding secant pile kantilever memberikan nilai defleksi yang besar pada kombinasi Layan 1 melebihi nilai maksimum yang disyaratkan, sehingga perlu diberikan perkuatan angkur untuk mengurangi nilai defleksi.
4. Hasil analisis dinding penahan tanah terhadap piping memberikan hasil bahwa dinding penahan tanah non gravitasi dengan panjang total struktur 28m telah aman terhadap piping dengan nilai gradient hidraulik sebesar 0.17 yang dimana nilai tersebut masih lebih kecil dari gradient hidraulik kritis sebesar 0.65.

Berdasarkan dari kesimpulan tersebut, terdapat beberapa hal yang nantinya dapat dikembangkan, yaitu bagaimana perbandingan desain antara penggunaan *load resistance factor design* (LRFD) dengan *allowable stress design* (ASD), apakah dengan menggunakan metode LRFD, dapat memberikan hasil desain yang lebih ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA DAN PENULISAN PUSTAKA

- [1] Aggour, M. S. (2004). LRFD Resistance Factors for Maryland Retaining Walls. Report No. MD-04-SP308B4D, College Park: University of Maryland.
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials. (2012). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Customary U.S. Units. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. (2017). SNI 8460 Persyaratan Perancangan Geoteknik. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- [4] Das, B. M. (2019). Principles of Foundation Engineering, 9th Edition, SI Edition. Boston: Cengage Learning, Inc.
- [5] Dwicahyani, A. (2017). Perancangan Kriteria Desain Seismik Dinding Penahan Tanah Dan Perkuatan Geosintetik, Tesis, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [6] European Committee For Standardization. (2004). EN 1997-1: Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules. Brussels: European Committee For Standardization.
- [7] Fakhruddin Shobari, A., Mufti, I. J., Khoirullah, N., Zakaria, Z., Sophian, R. I., & Mulyo, A. (2019). Hubungan Nilai Koefisien Gempa Horizontal (Kh) Dengan Nilai Safety Factor (FS) Daerah Cilengkrang, Jawa Barat. Padjajaran Geoscience Journal Vol.3, No.4 (2019) ISSN: 2597-4033.

- [8] Hardiyatmo, H.C. (2017). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [9] Julien, P. Y. (2018). *River Mechanics*, Second Edition. United Kingdom: Cambridge University Press.
- [10] Kalateh-Ahani, M., & Sarani, A. (2019). Performance-based optimal design of cantilever retaining walls. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(2), 660–673. <https://doi.org/10.3311/PPci.13201>.
- [11] Look, B. (2014). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables (2nd Edition)*. London: Taylor & Franchis Group.
- [12] Martiani, D. N., Arif, M., & Wahyudi, H. (2021). Alternatif Perencanaan Perbaikan Kelongsoran Lereng pada TPA Melonguane, Kabupaten Kepulauan Talaud. *Jurnal Teknik ITS Vol.10, No.2 (2021) ISSN: 2337-3539*, 10.
- [13] Permatasari, C., Arif, M., Agustia, R., & Deya Safitri, F. (2023). Pengaruh Fluktuasi Muka Air Terhadap Stabilitas Dinding Dan Bahaya Piping Pada Bangunan Air. *Proceeding Civil Engineering Research Forum Vol. 2, No.2 (2023) ISSN: 2962-2697*.
- [14] PT. Tuah Agung Anugrah (2021a). *Laporan Review Desain Supervisi Perkuatan Tebing Kali Ciliwung Ruas Kalibata*. Jakarta: PT. Tuah Agung Anugrah.
- [15] PT. Tuah Agung Anugrah (2021b). *Review Drawing Perkuatan Tebing Kali Ciliwung Ruas Kalibata*. Jakarta: PT. Tuah Agung Anugrah.
- [16] Shamsabadi, A., Dasmeh, A., & Taciroglu, E. (2018). *Guidelines for Analysis and LRFD-based Design of Earth Retaining Structures*. Los Angeles: University of California
- [17] Tawfik, E. F., Hamid, T. B., & Sherif Aggour, M. (2007). Design of Cantilever Retaining Walls in Unsaturated Soils Using AASHTO Load and Resistance Factor Design (LRFD) Method. *Geo-Denver 2007. GSP 170*.
- [18] Veiskarami, M., & Zanj, A. (2014). Stability of sheet-pile walls subjected to seepage flow by slip lines and finite elements. *Geotechnique*, 64(10),759-775. <https://doi.org/10.1680/geot.14.P.020>.