

PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH UNTUK PENGENDALI BANJIR PADA SUNGAI BOGEL DI KABUPATEN BLITAR

Queen Arista Rosmania Putri Sumarsono¹, Gerard Aponno², Djoko Tridjanto²

¹Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

queenarps@gmail.com, gaponno@gmail.com, pakbosdjokotri@yahoo.co.id

ABSTRAK

Kecamatan Sutojayan di Kabupaten Blitar menjadi lokasi langganan banjir setiap tahun karena Sungai Bogel yang tidak mampu lagi menampung debit banjir. Oleh sebab itu, perlu direncanakan suatu konstruksi bangunan pengendali banjir dengan *retaining wall* mulai dari penentuan dimensi, analisis stabilitas, rencana anggaran biaya, hingga penjadwalan. Data yang diperlukan yaitu data pengujian tanah, peta lokasi dan geometri penampang sungai, serta harga satuan pekerjaan Kabupaten Blitar tahun 2019. Penentuan dimensi *retaining wall* direncanakan berdasarkan muka air banjir Q25th, stabilitas dihitung terhadap guling, geser dan daya dukung, daya dukung aksial tiang dihitung berdasarkan tiga metode yaitu metode Mayerhof (1976), Metode Vesic (1977), dan Metode Janbu (1976), sedangkan untuk daya dukung lateral tiang dihitung berdasarkan Metode Broms. Dari hasil perhitungan dimensi *retaining wall* diperoleh tinggi 3.50 meter, lebar *stem* atas 0.30 meter, lebar *stem* bawah 0.45 meter, lebar pelat kaki 3.00 meter, lebar *heel* 1.55 meter, lebar *toe* 1.00 meter, dan tinggi *toe* atau *heel* 0.35 meter. Tiang pancang yang dipilih yaitu tiang dengan dimensi 20 cm × 20 cm dengan panjang 5 meter untuk *retaining wall* Sta BG. 22 dan 6 meter untuk Sta BG. 23. Dengan jumlah tiang 27 buah persegmen 10 meter, maka stabilitas terhadap daya dukung dan geser dapat terpenuhi. Tulangan yang dipakai pada pelat kaki dan dinding yaitu D 16 untuk tulangan utama tarik, D 13 untuk tulangan utama tekan, dan D 10 untuk tulangan bagi tarik dan tekan. Total biaya pekerjaan *retaining wall* yaitu Rp. 8,626,239,000.000 dengan durasi 321 hari kerja.

Kata kunci : dinding penahan, stabilitas, tiang pancang, daya dukung

ABSTRACT

In Blitar District, exactly at Sutojayan Sub-District has become a place for flood every year because Bogel River is no longer able to relocate the flood discharge. Therefore, need to be planned a flood control construction with retaining wall begin from dimension, stability, cost estimate, and time schedule. The data required are soil testing, location map, river's geometric section, and work unit price of Blitar District at 2019. Dimension of retaining wall is planned based on flood waters face at Q25th, the stability is calculated towards overturning, sliding and bearing capacity, axial bearing capacity of pile is calculated based on three method that is Mayerhof's (1976), Vesic's (1977), and Janbu's (1976) method, while for lateral bearing capacity of pile is calculated based on Brom's method. From the design results, the dimension of retaining wall is obtained the high 3.50 metres, upper stem's width 0.30 metres, bottom stem's width 0.45 metres, plate's width 3.00 metres, heel's width 1.55 metres, toe's width 1.00 metres, and toe's or heel's high 0.35 metres. The chosen pile is pile with 20 cm × 20 cm dimension with 5 metres length for retaining wall at Sta BG. 22 and 6 metres for Sta BG. 23. With 27 pile for a 10 metres segmen, the stability against sliding and bearing capacity can be fullfiled. The reinforcement that used for plate and stem are D 16 for main tensile reinforcement, D 13 for main press reinforcement, and D 10 for divide tensile and press reinforcement. The sum of estimate cost of retaining wall is Rp. 8,626,239,000.000 with 321 work days.

Key words : retaining wall, stability, driven pile, bearing capacity

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Sutojayan sudah menjadi tempat langganan banjir setiap tahunnya, tercatat pada tahun 2014 banjir

mencapai hingga ±4 meter. Banjir tersebut diakibatkan oleh Sungai Bogel yang tidak mampu lagi menampung debit banjir karena menumpuknya sedimen yang dibawa oleh

aliran air dari hulu mengingat topografi daerah tersebut dilewati oleh banyak sungai. Adanya banjir ini mengakibatkan kegiatan masyarakat, terutama perekonomian masyarakat terganggu total karena sawah – sawah mereka yang tergenang banjir.

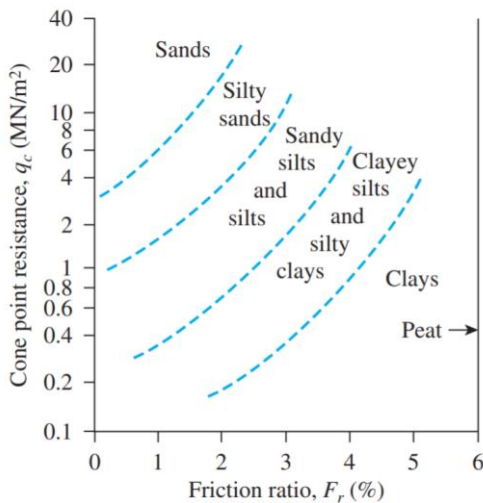
Oleh sebab itu, perlu adanya upaya penanggulangan banjir salah satunya dengan membangun konstruksi bangunan pengendali banjir dengan bangunan struktural yaitu *retaining wall*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, perencanaan konstruksi *retaining wall* pada pengendali banjir Sungai Bogel di Kabupaten Blitar harus dilakukan dengan tepat dan cermat. Untuk mendapat stabilitas yang ideal, analisis yang dibutuhkan dalam desain *retaining wall* yaitu dimensi yang dibutuhkan, pembebanan yang terdiri atas: berat sendiri, tekanan tanah dan gempa serta kontrol stabilitas terhadap guling, geser dan keruntuhan geser. Untuk desain tiang pancang sendiri perlu dilakukan apabila nilai stabilitas tidak memenuhi faktor keamanan dengan mempertimbangkan 3 variasi bentuk penampang dengan 3 Metode Mayerhof (1976), Metode Vesic (1977), dan Metode Janbu (1976) kemudian dipilih penampang yang paling efisien. Dengan dibuatnya konstruksi *retaining wall* sebagai bangunan pengendali banjir diharapkan bangunan tersebut mampu menampung debit banjir dan menahan longsoran tanah pada daerah studi.

2. METODE

Klasifikasi Tanah dengan Sondir

Robertson dan Campanella (1983) mengidentifikasi jenis tanah berdasar pengujian sondir di lapangan dengan memberikan korelasi antara perlawanan konus (q_c) dan rasio gesekan (FR) (Das, 2010).



Gambar 1. Klasifikasi Tanah

Pembebanan

a. Beban Mati

Meliputi berat semua bagian dari suatu bangunan, yaitu berat sendiri.

b. Beban Hidup

Meliputi tekanan tanah dengan metode rankine (Das, 1999):

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \tag{1}$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \tag{2}$$

Dan beban gempa (KP 06, 2013:68):

$$\alpha_d = n \times (\alpha_c \times z) \times m \tag{3}$$

Kombinasi pembebanan LRFD (SNI 1725:2016):

$$U = 1.3 M + 1.25 \gamma_{TA} \tag{4}$$

$$U = 1.3 M + 1.25 \gamma_{TA} + 1.0 G \tag{5}$$

Kombinasi pembebanan ASD (KP 06:2013):

$$U = M + H + K + T + Th \tag{6}$$

$$U = M + H + K + T + Th + G \tag{7}$$

Stabilitas Dinding Penahan

Kontrol stabilitas yang dihitung adalah sebagai berikut (Das, 1999):

$$FS_{(overturning)} = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} \tag{8}$$

$$FS_{(sliding)} = \frac{\sum F_{R'}}{\sum F_d} \tag{9}$$

$$FS_{(bearing\ capacity)} = \frac{q_u}{q_{max}} \tag{10}$$

$$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \tag{11}$$

Dimana,

$\sum M_R$ dan $\sum F_R =$ Gaya yang menyebabkan guling dan geser
 $\sum M_O$ dan $\sum F_d =$ Gaya yang menolak guling dan geser

Daya Dukung Aksial Tiang Pancang

Daya dukung aksial dengan data pengujian laboratorium dihitung dengan membandingkan 3 metode yaitu Metode Mayerhof (1976), Metode Vesic (1977), dan Metode Janbu (1976) kemudian dipilih mana yang paling efisien.

a. Daya Dukung Ujung Tiang (Das, 2011):

1) Metode Mayerhof (1976)

$$Q_p = A_p q' N^*_{q} \leq A_p \times q_1 \tag{12}$$

2) Metode Vesic (1977)

$$Q_p = A_p \times \sigma'_o \times N^*_{q} \tag{13}$$

3) Metode Janbu (1976)

$$Q_p = A_p q_p = A_p q' N^*_{q} \tag{14}$$

b. Daya Dukung Selimut (Das, 2011):

$$Q_s = \Sigma p \times \Delta L \times K \sigma'_o \tan \delta' \tag{15}$$

Jadi, $Q_{ijin} = \frac{Q_p + Q_s}{FS}$ (16)

Daya Dukung Aksial Kelompok Tiang (Das, 2010):

$Q_{(g)u} = \eta \Sigma Q_u$ (17)

Dimana, nilai efisiensi (untuk tanah granular) dihitung dengan membandingkan 3 metode yaitu (Das, 2010):

a. Metode Converse - Laberre

$\eta = 1 - \theta \cdot \frac{(n_1 - 1) \cdot n_2 + (n_2 - 1) \cdot n_1}{90 \cdot n_1 \cdot n_2}$ (18)

Dimana, $\theta = \tan^{-1}(D/s)$

b. Metode Los Angeles

$\eta = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot n_1 \cdot n_2} [n_1(n_2 - 1) + n_2(n_1 - 1) + \sqrt{2}(n_1 - 1)(n_2 - 1)]$ (19)

c. Metode Seiler - Keeney

$\eta = \left[1 - \frac{36s(n_1 + n_2 - 2)}{(75s^2 - 7)(n_1 + n_2 - 1)} \right] + \frac{0.30}{n_1 + n_2}$ (20)

Daya Dukung Lateral Tiang Pancang

Daya dukung lateral pada perancangan ini dihitung menggunakan Metode Broms. Kategori tiang yang dimuat secara lateral pada tanah granular dikategorikan menjadi $L \geq 5T$ adalah tiang panjang dan $L \leq 2T$ adalah tiang pendek (Das, 2010):

$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \times I_p}{n_h}}$ (21)

Jika tiang berkelakuan seperti tiang panjang (momen maksimum mencapai M_y di dua lokasi), H_u dapat diperoleh dari persamaan (Hardiyatmo, 2008):

$H_u = (3/2) \times \gamma \times d \times K_p \times f^2$ (22)

$f = 0.82 \times \sqrt{\frac{H_u}{d \times K_p \times \gamma}}$ (23)

$H_u = \frac{2 \times M_y}{e + 2f/3}$ (24)

Defleksi Tiang

Untuk tiang dalam tanah granuler (pasir, kerikil), defleksi tiang akibat beban lateral, dikaitkan dengan besaran tak berdimensi αL dengan (Hardiyatmo, 2008):

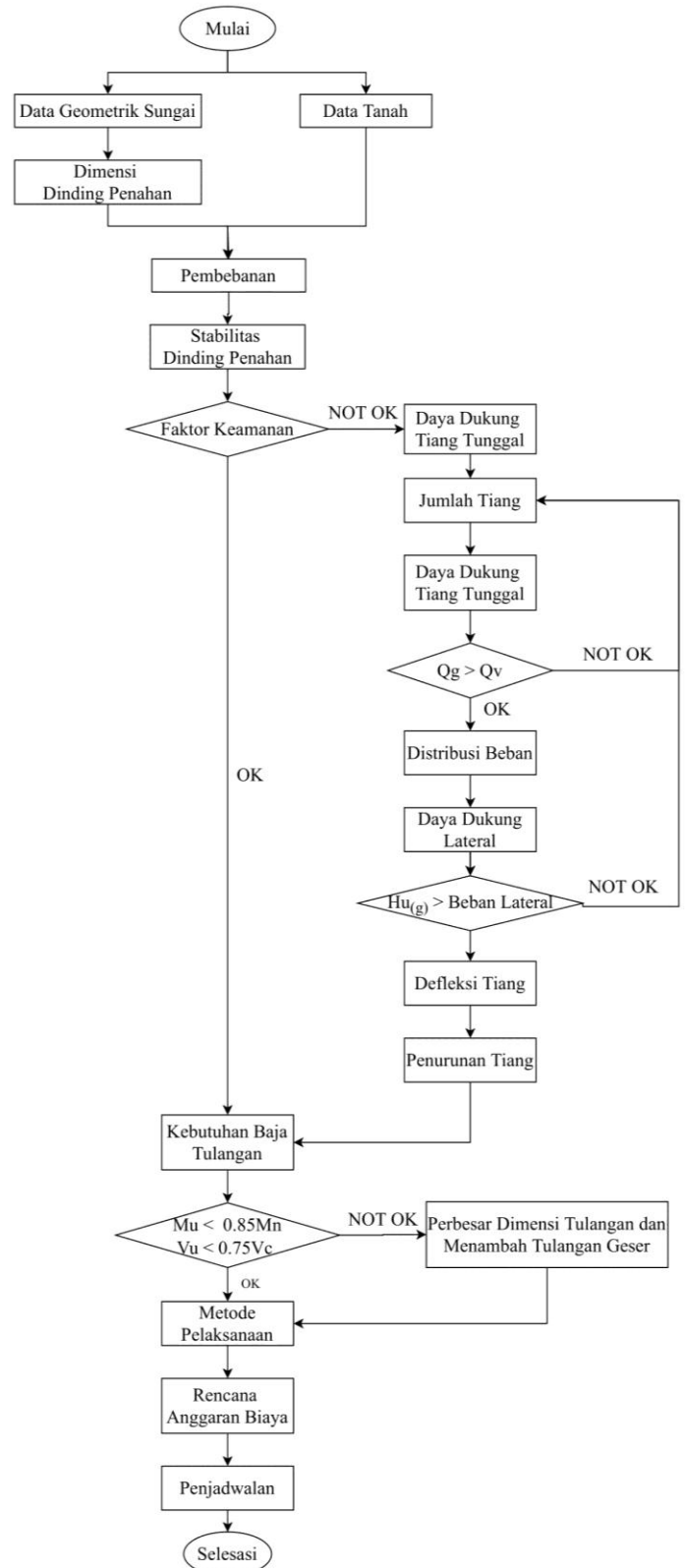
$\alpha L = \left(\frac{n_h}{E_p \times I_p} \right)^{1/5}$ (25)

Jika $\alpha L > 4$ maka termasuk tiang panjang (Hardiyatmo, 2008:231). Untuk tiang ujung jepit dan tiang panjang, maka defleksi tiang:

$y_0 = \frac{0.93 \times H}{(n_h)^{3/5} \times (E_p \times I_p)^{2/5}}$ (26)

Diagram Alir Perencanaan

Diagram Alir Perencanaan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

*Catatan : Hasil dan Pembahasan hanya membahas pada lokasi perencanaan Sta BG.22.

Klasifikasi Tanah

Sebelum masuk ke dalam perencanaan, maka pada daerah studi perlu ditentukan klasifikasi tanah yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah

Kedalaman	Jenis Tanah
0.00 – 6.00	Silty Sand
6.00 – 8.80	Sand

Sumber : Hasil Perhitungan

Pembebanan

Langkah pertama dalam perencanaan yaitu menghitung pembebanan pada bangunan dinding penahan yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Kombinasi Beban LRFD

No.	Aksi / Beban	P (Vertikal)	H (Horizontal)		M (Momen)		
			x	y	P	x	y
1	Kombinasi 1	2,142.374	1,003.560		4,284.767	1,470.354	
2	Kombinasi 2	2,142.374	1,029.500	25.934	4,284.767	1,505.007	34.653

Tabel 3. Kombinasi Beban ASD

No.	Aksi / Beban	P (Vertikal)	H (Horizontal)		M (Momen)		
			x	y	P	x	y
1	Kombinasi 1	1,647.980	802.848		3,295.975	1,176.284	
2	Kombinasi 2	1,647.980	828.788	25.934	3,295.975	1,210.936	34.653

Stabilitas Dinding Penahan

Dari hasil perhitungan pembebanan didapat nilai rekapitulasi stabilitas dinding penahan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Stabilitas Dinding Penahan

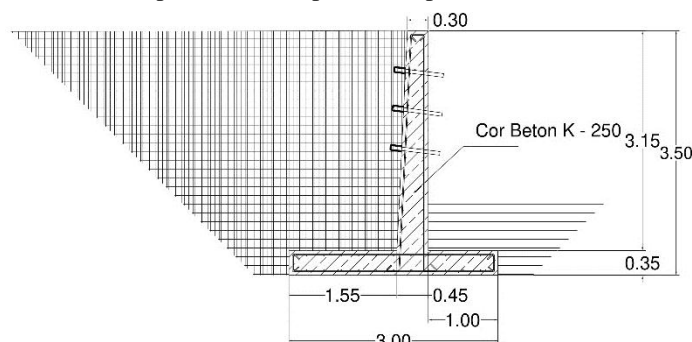
Sta BG.	Kombinasi Beban	Stabilitas		
		Guling	Geser	Daya Dukung
22	Komb. 1	3.201	1.190	1.872
	Komb. 2	2.581	0.941	1.515

Sumber : Hasil Perhitungan

Dapat dilihat bahwa nilai stabilitas terhadap geser dan daya dukung tidak memenuhi faktor keamanan, maka perlu diberi tiang pancang. Hal tersebut dapat diatasi dengan mendangkalkan kedalaman pelat kaki dan memperpanjang panjang tiang.

Dimensi Dinding Penahan

Dimensi dinding penahan yang ditentukan berdasarkan data muka air pada Q25th dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Dimensi Dinding Penahan

Daya Dukung Aksial Tiang Pancang

Daya dukung aksial digunakan guna mengatasi stabilitas dinding penahan terhadap daya dukung yang tidak memenuhi syarat faktor keamanan. Nilai daya dukung ujung tiang dihitung menggunakan 3 metode yaitu Metode Mayerhorf (1976), Metode Vesic (1997), dan Metode Janbu (1976). Rekapitulasi Nilai Daya Dukung Ujung Tiang dengan panjang tiang 5 meter dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai Daya Dukung Ujung Tiang

Kedalaman (m)	Dimensi (persegi)	Daya Dukung Ujung Tiang (kN)		
		Mayerhof	Vesic	Janbu
3.50 – 8.50	20 cm	318.185	175.333	67.271
3.50 – 8.50	25 cm	497.164	273.958	105.111
3.50 – 8.50	30 cm	715.916	394.500	151.359

Sumber : Hasil Perhitungan

Begitu juga dengan rekapitulasi nilai daya dukung selimut dan daya dukung izin tiang yang dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Rekapitulasi Nilai Daya Dukung Selimut Tiang

Kedalaman (m)	Dimensi (persegi)	Daya Dukung Selimut Tiang (kN)
3.50 – 8.50	20 cm	34.949
3.50 – 8.50	25 cm	43.687
3.50 – 8.50	30 cm	52.424

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 7. Rekapitulasi Daya Dukung Izin

Dimensi (Persegi)	Daya Dukung Izin (kN)		
	Mayerhof	Vesic	Janbu
20 cm	141.254	84.113	40.888
25 cm	206.136	127.058	59.519
30 cm	295.091	178.770	81.513

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan, maka nilai daya dukung yang diambil yaitu nilai daya dukung berdasarkan Metode Vesic (1977), karena nilai daya dukung yang mendukung ketiga metode tersebut, dalam artian tidak terlalu besar ataupun terlalu kecil.

Daya Dukung Kelompok Tiang

- Daya Dukung Izin (Qg) = 84.113 kN
- Beban Tiang (Qv) = 1,695.642 kN
- Jumlah Tiang (n) = 27 buah
- Jarak antar tiang (s) = 1.10 m

Dalam menentukan efisiensi kelompok tiang digunakan 3 metode yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Efisiensi Tiang

Efisiensi Tiang		
Converse - Laberre	Los Angeles	Seiler - Keeney
0.822	0.856	0.574

$$Q_g = \eta \times n \times Q_a$$

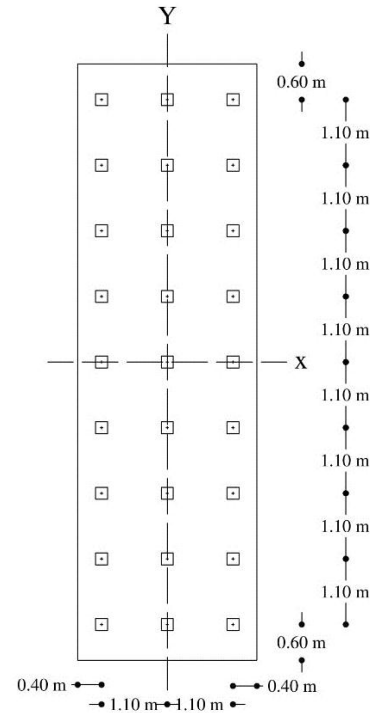
$$= 0.822 \times 27 \times 84.113$$

$$= 1,866.561 \text{ kN}$$

$$Q_g > Q_v$$

$$1,866.561 \text{ kN} > 1,695.642 \text{ kN (OK)}$$

Distribusi Beban Pada Tiang



Gambar 4. Letak Tiang

$$M_y = (Q_v \times e_x) + (P_x \times e_y)$$

$$= 1,695.642 \times 0.123 + 0.00$$

$$= 209.313 \text{ kN.m (akibat kombinasi 2)}$$

$$\Sigma x^2 = 21.780 \text{ m}^2 \quad I_x = A_b \times \Sigma y^2$$

$$\Sigma y^2 = 217.800 \text{ m}^2 \quad = 19.602 \text{ m}^4$$

$$A_b = 0.20 \times 0.20 \quad I_y = A_b \times \Sigma x^2$$

$$= 0.04 \text{ m}^2 \quad = 1.960 \text{ m}^4$$

$$P_{max} = \frac{1,695.642}{27} + \frac{219.313 \cdot 1.1}{1.960} \times 0.04 + \frac{0.000 \cdot 4.4}{19.602} \times 0.04$$

$$= 73.373 \text{ kN} < 84.113 \text{ kN (OK)}$$

$$P_{min} = \frac{1,695.642}{27} + \frac{219.313 \cdot -1.1}{1.960} \times 0.04 + \frac{0.000 \cdot 4.400}{19.602} \times 0.04$$

$$= 52.230 \text{ kN} < 84.113 \text{ kN (OK)}$$

Penurunan Elastik Tiang

$$s_1 = 0.0000453 \text{ m}$$

$$s_2 = 0.00233 \text{ m}$$

$$s_3 = 0.000142 \text{ m}$$

$$s = s_1 + s_2 + s_3$$

$$= 0.00251 \text{ m} = 0.251 \text{ cm} \leq 10\% \times 0.20 \text{ (OK)}$$

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e$$

$$= \sqrt{\frac{3.00}{0.20}} \times 0.002513$$

$$= 0.00916 \text{ m} = 0.916 \text{ cm}$$

Daya Dukung Lateral

Daya dukung lateral digunakan guna mengatasi stabilitas dinding penahan terhadap geser yang tidak memenuhi syarat faktor keamanan.

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \times I_p}{nh}}$$

$$= \sqrt[5]{\frac{30,277,632.008 \times 0.000133}{4,850.00}}$$

$$= 0.964$$

$L \geq 5T = 6 \leq 5 \times 0.964 \longrightarrow$ Tiang Panjang

Beban Lateral = $\sum Pa + \sum G$
= 710.511 kN

$M_y = 83.876 \text{ kN.m}$
 $f = 2.842$

a. Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal

$$H_u = \frac{2 \times M_y}{e + 2f/3}$$

$$= \frac{2 \times 83.876}{0.066 + 2 \times 2.842/3}$$

$$= 85.560 \text{ kN}$$

Kebutuhan Baja Tulangan

- Tebal Pelat (t) = 500 mm
- Selimit Beton = 50 mm
- Diameter (D) = 16 mm
- Lebar tinjauan = 1000 mm
- d = t – selimit beton – 0.5 × D
= 500 – 50 – 0.5 × 16
= 426.000 mm
- f'c = 20.75 MPa
= K – 250
- f'y = BJ – 40
= 390 MPa

b. Daya Dukung Lateral yang Diizinkan

$$H_u = \frac{H_u \text{ total}}{FS}$$

$$= \frac{85.560}{2.5}$$

$$= 34.224 \text{ kN}$$

c. Daya Dukung Lateral Kelompok

$$H_{u(g)} \text{ total} = H_u \times n + \sum W \times (k \times \phi) + B \times (k \times c)$$

$$= 34.224 \times 27 + 1,695.642 \times (\frac{2}{3} \times 17.555)$$

$$+ 3.00 \times (\frac{2}{3} \times 4.415)$$

$$= 1,711.426 \text{ kN}$$

$H_{u(g)} \geq$ Beban Lateral
 $1,711.426 \text{ kN} \geq 710.511 \text{ kN} (OK)$

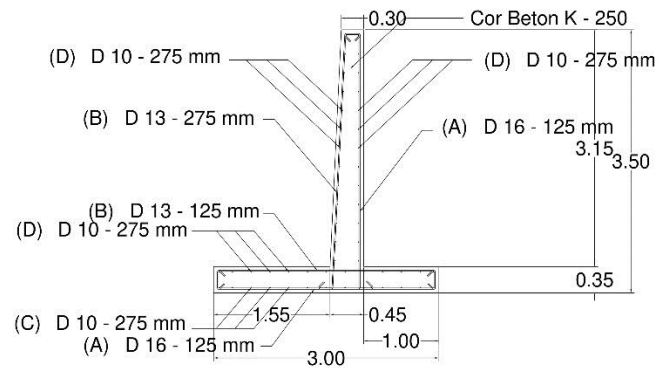
Defleksi Tiang

$$y_o = \frac{2 \times H}{L^2 \times nh}$$

$$= \frac{2 \times 34.224}{4.934 \times 4,850.000}$$

$$= 0.003413 \text{ m} = 3.413 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan kontrol momen pada **Tabel 9**, didapat kebutuhan baja tulangan yang ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Kebutuhan Baja Tulangan

Rekapitulasi nilai momen beserta kontrol nya dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Rekapitulasi Nilai dan Kontrol Momen

Ket.	Mu (N.mm)	Vu (N.mm)	As (mm ²)	As' (mm ²)	φMn (N.mm)	φVc (N.mm)	Kontrol (φMn > Mu)	Kontrol (φVc > Vu)
Heel	27,767,770.423	73,993.944	1,529.231	764.615	316,637,382.651	242,565.294	OK	OK
Toe	27,117,189.416		1,529.231	764.615	316,637,382.651	242,565.294	OK	OK
Stem	100,118,790.063	73,169.847	1,529.231	764.615	316,637,382.651	242,565.294	OK	OK

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 10. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

Divisi	Jumlah (Rp.)
Divisi 1 – Pekerjaan Persiapan	430,732,130.295
Divisi 2 – Pekerjaan Tanah	354,161,496.183
Divisi 3 – Pekerjaan Pemancangan	1,292,722,980.723
Divisi 4 – Pekerjaan Beton	5,772,323.733
Divisi 5 – Pekerjaan Dewatering	2,174,181,184.574
Divisi 6 – Pekerjaan Lain - Lain	29,230,687.500
JUMLAH	4,282,115,205.008
PPN 10%	428,211,520.501
JUMLAH TOTAL	4,710,326,725.509
DIBULATKAN	4,710,326,000.000

Sumber : Hasil Perhitungan

Kesimpulan

- Dengan tinggi muka air pada Q25th adalah 3.355 meter, maka dimensi *retaining wall* yang direncanakan yaitu tinggi 3.50 meter, lebar *stem* atas 0.30 meter, lebar *stem* bawah 0.45 meter, lebar pelat kaki 3.00 meter dengan lebar *heel* 1.55 meter dan lebar *toe* 1.00 meter, tinggi *toe* atau *heel* 0.35 meter, tanah pencegah gerusan setinggi 0.70 meter serta tinggi jagaan di atas muka air banjir 0.80 meter.
- Dikarenakan nilai stabilitas terhadap geser dan daya dukung baik pada Sta BG. 22 dan Sta BG. 23 tidak memenuhi syarat faktor keamanan, maka perlu direncanakan tiang pancang.
 - Dimensi dan panjang tiang yang dipilih pada Sta BG. 22 yaitu tiang dengan dimensi 0.20 m × 0.20 m dan panjang tiang 5 meter dan 6 meter untuk Sta BG. 23 serta jumlah tiang 27 buah.
 - Dari perhitungan daya dukung tiang tunggal dengan 3 metode, maka dipilih metode Vesic (1997) karena nilai daya dukung yang mendukung ketiga metode tersebut, dalam artian tidak terlalu besar ataupun terlalu kecil.
 - Dengan adanya tiang pancang, dapat dilihat bahwa nilai daya dukung kelompok lebih dari beban aksial, maka stabilitas terhadap guling dapat terpenuhi. Begitu juga dengan nilai daya dukung lateral kelompok tiang lebih dari beban lateral, maka stabilitas terhadap geser dapat terpenuhi.
- Baja tulangan pada *retaining wall* yang digunakan yaitu baja tulangan ulir dengan kebutuhan baja tulangan 8 D 16 – 125 mm untuk tulangan utama tarik, 8 D 13 – 125 mm untuk tulangan utama tekan, 4 D 10 – 275 mm, untuk tulangan bagi tarik, dan 4 D 10 – 275 mm untuk tulangan bagi tekan.
- Kebutuhan biaya dalam pekerjaan *retaining wall* pada Sta BG. 22 sebesar Rp. 4,710,326,000.000 dan pada Sta BG. 23 sebesar Rp. 3,653,018,000.000. Durasi waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan *retaining wall* pada Sta BG. 22 yaitu 202 hari dan pada Sta BG. 23 yaitu 183 hari.

Daftar Pustaka

- Das, Braja M. 2010. *Priciples of Foundation Engineering Seventh Edition*. Toronto : Thomson.
- Hardiyatmo, Hary Christadi. 1996. *Teknik Fondasi I*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, Hary Christadi. 2008. *Teknik Fondasi II*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Nawy, Edward G. 1998. *Beton Bertulang, Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : Refika Aditama.
- SNI 1725:2016. *Pembebanan Untuk Jembatan*.
- SNI 2847:2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*.
- Standar Perencanaan Irigasi. 2013. *Kriteria Perencanaan Bagian Parameter Bangunan KP – 06*. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air : Direktorat Irigisasi dan Rawa.
- Tomlinson, Michael dan Woodward, John. 2008. *Pile Design and Construction Practice*. London and New York : Taylor & Francis Group.