

PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH DALAM MENGATASI KERUNTUHAN TEBING SUNGAI DESA SAIK KAB. KUANTAN SINGINGI

CHITRA HERMAWAN¹

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Kuantan Singingi Teluk Kuantan,
Jl. Gatot Subroto km.3 Teluk Kuantan, Kabupaten Kuantan Singingi, Riau Kode Pos 29562,
Email : chitrahermawan22@gmail.com

Abstrak

Sungai Indragiri yang oleh masyarakat kuantan singingi disebut sungai Kuantan sekarang ini mengalami kerusakan mulai dari kualitas air yang menurun akibat dari penambangan emas dan pasir sampai masalah longsor tebing sungai. Kondisi ini akan menimbulkan dampak buruk bagi masyarakat, diantaranya jalan akses desa, dan rumah penduduk terancam amblas ke sungai. Tujuan penelitian ini adalah membuat perencanaan teknis dalam usaha mengatasi longsor tersebut.

Longsor yang terjadi disebabkan oleh tekanan tanah lateral aktif pada tebing sungai dan untuk menanggulangi masalah tersebut diperlukan bangunan untuk perkuatan tebing sungai diantaranya adalah dinding penahan gravitasi dan dinding penahan kantilever. Stabilitas konstruksi diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan berat tanah (*over burden*) diatas tumit tapak (*heel*).

Berdasarkan hasil analisa aplikasi Hec-Ras saat terjadi banjir ketinggian muka air mencapai $\pm 2,5$ m dibawah tebing sungai dengan debit (Q) = 4500 m³/dtk. dan longsor yang terjadi tiap tahun mencapai rata-rata 12 m³ per meter panjang. Bentuk dan ukuran (*dimensi*) dinding penahan memenuhi syarat pada faktor kapasitas tahanan guling ($Fgl = 5,65 > 2$) dan faktor kapasitas keruntuhan daya dukung ($q_{max} = 63,57 \text{ kN/m}^2 < q_a = 200 \text{ kN/m}^2$), tapi tidak memenuhi syarat pada kapasitas tahanan geser ($Fgs = 1,76 < 2$) sehingga diperlukan dukungan pondasi tiang pancang ($Q_a = Q_u / F = 2985,68 / 2,5 = 1194,3 \text{ kN}$). Pada struktur dinding penahan dan *pile cap*, untuk tulangan pokok memakai baja D25 dan tulangan geser memakai baja D10 dengan f_y 240 Mpa dengan mutu beton f_c 25 Mpa. Perhitungan penulangan elemen struktur yang mengacu pada SNI 2847-2013.

Kata kunci : Sungai, Longsor, Erosi, Dinding Penahan Tanah, Stabilitas Lereng, Dinding kantilever, Tiang Pancang.

1. PENDAHULUAN

Oleh masyarakat Kuantan Singingi sungai Indragiri disebut sungai Kuantan. Pada masa sebelum tahun 1980 an sungai kuantan menjadi sarana transportasi penting bagi masyarakat. Seiring berjalannya waktu transportasi sungai mulai ditinggalkan karena akses transportasi darat lebih mudah. Sungai Kuantan hari ini mengalami masalah longsor pada tebing sungai akibat dari penambangan emas dan pasir dan masalah penurunan kualitas air. Aktivitas penambangan menjadikan

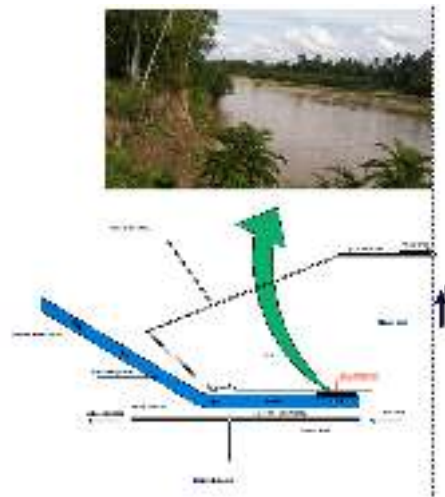
bentuk dasar sungai berubah sehingga arus aliran air menjadi berubah yang lambat laun akan menyebabkan perubahan pada alur sungai. Tujuan penelitian ini adalah merencanakan dinding penahan tanah dalam usaha mengatasi kerusakan pada tebing sungai yang di sebabkan oleh erosi. Sehingga lahan dan pemukiman warga di sekitar sungai aman dari bencana alam tanah longsor.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Wilayah Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan di sungai Indragiri ruas desa Saik yang selama ini selalu terjadi longsor saat terjadi banjir. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada sketsa lokasi berikut.

Gambar 1 : Sketsa Lokasi Penelitian



Sumber : Dokumentasi Penulis, 2020

2.2 Tahap Persiapan

Rangkaian kegiatan awal yang dilakukan agar efektif waktu dan pekerjaan adalah sebagai berikut :

1. Studi pustaka terhadap materi skripsi untuk mengetahui langkah langkah yang akan dikerjakan.
2. Survey lokasi untuk mengetahui gambaran umum kondisi di lapangan.
3. Menggali informasi dari sumber – sumber yang terpercaya.
4. Menentukan kebutuhan data yang akan digunakan.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Berdasarkan teknik pengumpulan datanya, penelitian yang akan dilakukan menggunakan teknik pengumpulan data primer dan data sekunder. Untuk lebih jelasnya berikut uraian pengambilan data:

1. Data Primer, merupakan data yang diperoleh dari hasil survey dilapangan, dalam hal ini adalah ruas tebing sungai yang mengalami longsor.

2. Data Sekunder, merupakan data tambahan yang dipakai untuk mendukung atau memudahkan proses analisis pekerjaan, dalam hal ini adalah data beban dan struktur, shop drawing, properties tanah.

2.4 Teknik Analisa Data

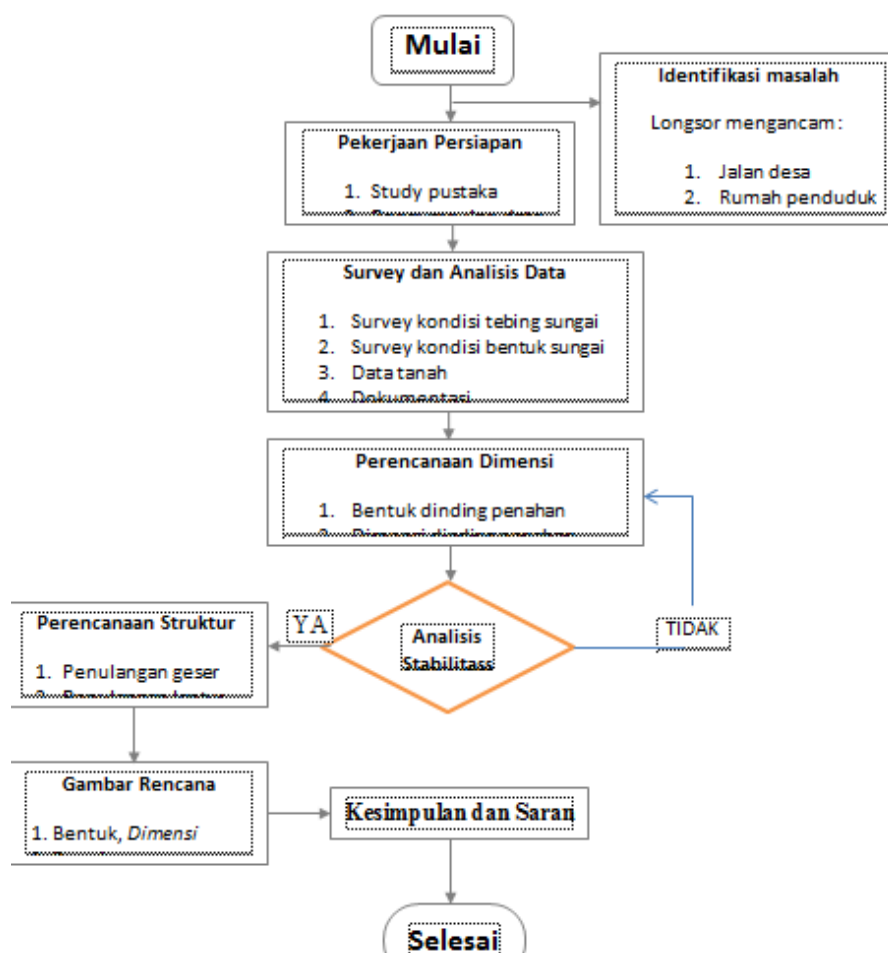
Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan jenis dinding penahan tanah.
2. Melakukan perencanaan *dimensi* dinding penahan tanah.
3. Menghitung *safety factor* terhadap guling, geser dan daya dukung.
4. Perhitungan struktur dan penulangan dinding penahan tanah.
5. Menggambar hasil penulangan.

2.5 Bagan Alir Penelitian

Dalam penelitian ini dilaksanakan tahapan-tahapan mulai dari awal sampai selesai seperti yang ada pada bagan alir sebagai berikut.

Gambar 2 : Bagan Alir Penelitian

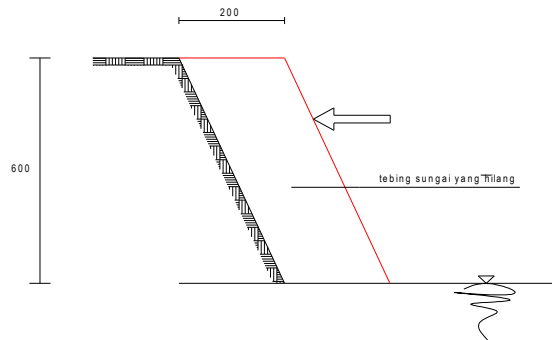


3. PEMBAHASAN

3.1 Data Lapangan

Kemiringan lereng atau tebing Sungai Indragiri pada ruas desa Saik tergolong sangat curam oleh karena itu jika debit sungai besar dan arus aliran meningkat tebing sangat rawan terhadap longsor. Dari data pengukuran secara manual dilapangan longsor yang terjadi tiap tahun mencapai rata-rata 12 m³ per meter panjang dan dari hasil running HEC RAS memperlihatkan bahwa muka air hampir meluap pada saat terjadi banjir.

Gambar 3 : Erosi Pada Tebing Sungai

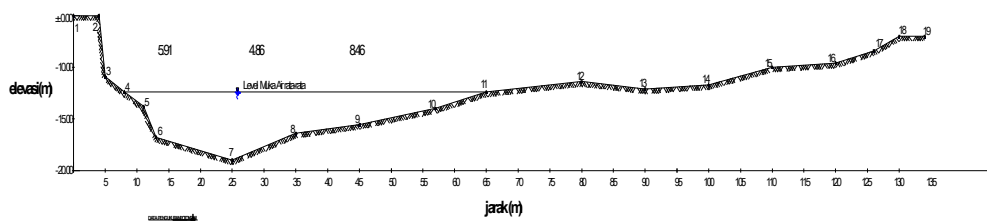


Sumber : Data diolah Penulis, 2020

3.2 Analisis Menggunakan Aplikasi HEC-RAS

Dari pengukuran secara manual pada saat muka air normal didapatkan bentuk potongan melintang sungai dan kecepatan aliran sungai, kemudian bisa kita dapatkan debit alirannya.

Gambar 4 : Hasil Pengukuran pada Potongan 1



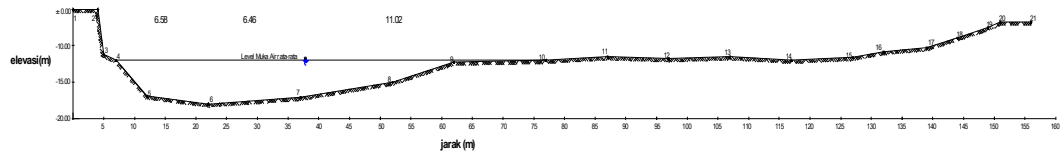
Data diolah Penulis, 2020

$$V = \frac{5,91+4,86+8,46}{3}$$
$$= \frac{6,41 \text{ dtk}}{10 \text{ m}} \sim 1,56 \text{ m/dtk}$$

$$A = 2,1 + 5,8 + 66 + 53 + 35,75 + 28,5 + 6,4 = 197,55 \text{ m}^2$$

$$Q = A \cdot V = 197,55 \times 1,56 = 308,18 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Gambar 5 : Hasil Pengukuran pada Potongan 2



Sumber : Data diolah Penulis, 2020

$$V = \frac{6,58+6,64+11,02}{3}$$

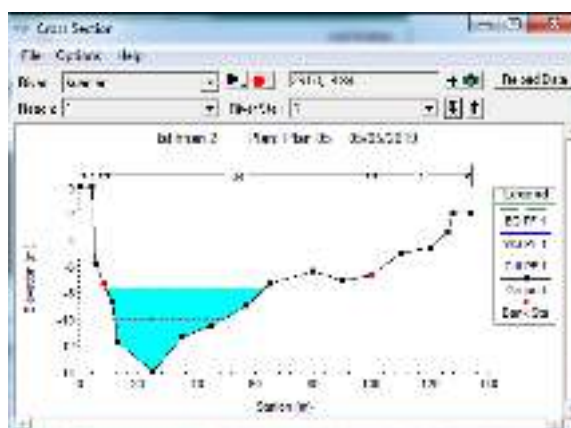
$$= \frac{8,02 \text{ dtk}}{10 \text{ m}} \sim 1,25 \text{ m/dtk}$$

$$A = 12,25 + 53 + 83,25 + 60,75 + 24,38 + 1,25 = 234,88 \text{ m}^2$$

$$Q = A \cdot V = 234,88 \times 1,25 = 293,6 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

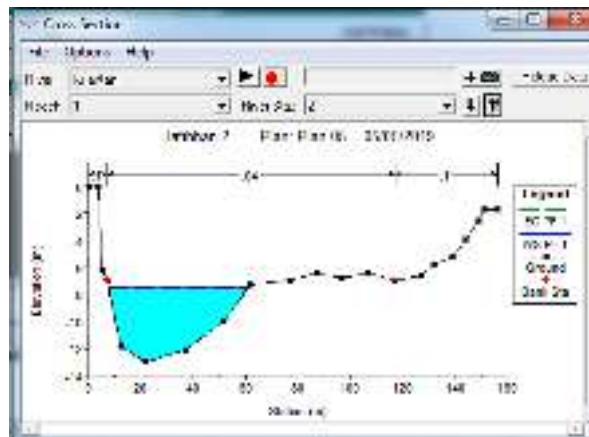
Gambar dibawah adalah hasil pengukuran secara manual dilapangan, dari gambar tersebut bisa kita lihat debit alirannya adalah $Q_1= 308.18 \text{ m}^3/\text{dtk}$ dan $Q_2= 293.6 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Selanjutnya kita coba lakukan analisis menggunakan aplikasi Hec-Ras seperti yang terlihat pada gambar Gambar 5.4 dan 5.5. Dapat kita ketahui adanya kesamaan pada *out put* hasil running Hec-Ras dan pengukuran manual dilapangan yaitu saat air normal posisi aliran air berada pada sisi kiri sungai selebar $\pm 50 \text{ m}$ sedangkan pada sisi kanan terdapat pendangkalan. Hal inilah yang mengakibatkan erosi pada tebing bagian kiri sungai, dimana aliran sungai secara lazimnya harus berada pada bagian tengah sungai.

Gambar 6 : Penampang Melintang Potongan 1



Sumber : Data diolah Penulis, 2020

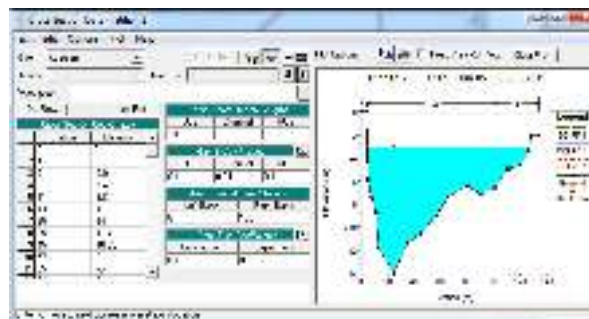
Gambar 7 : Penampang Melintang Potongan 2



Sumber : Data diolah Penulis, 2020

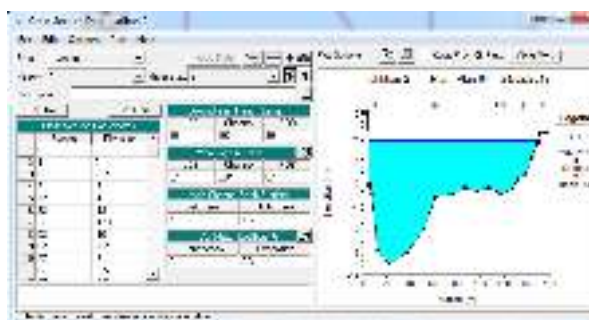
Sesuai pengamatan penulis dilapangan pada bulan November dan Desember tahun 2018 ketinggian muka air mencapai puncaknya yaitu -2,5 m dari atas tebing sungai. Dari data tersebut maka kita bisa mencari debit alirannya, Gambar 5.6 dan 5.7 adalah hasil running aplikasi Hec-Ras dengan debit (Q) = 4500 m³/dtk dimana ketinggian muka air mencapai ± 2,5 m dibawah tebing sungai.

Gambar 8 : Hasil Running Hec-Ras $Q= 4500$ m³/dtk pada Potongan 1



Sumber : Data diolah Penulis, 2020

Gambar 9 : Hasil Running Hec-Ras $Q= 4500$ m³/dtk pada Potongan 2



Sumber : Data diolah Penulis, 2020

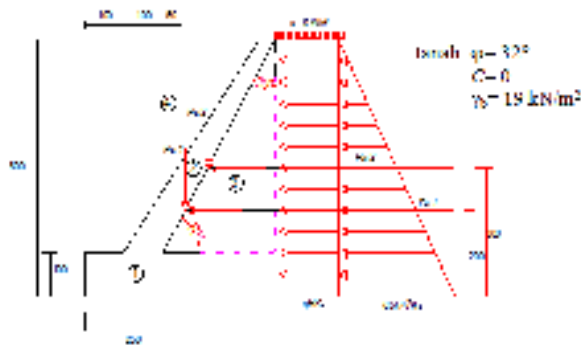
Pada saat debit(Q)= 4500 m³/dtk itulah pada tebing sisi bagian kiri sungai mengalami kondisi jenuh air sehingga kohesi antar material tanah pada tebing tersebut menurun dan juga akibat dari hantaman arus aliran yang sangat besar maka terjadi longsor. Sesuai dengan judul yang telah di ambil, untuk mencegah longsor maka pada lokasi tersebut direncanakan dibangun dinding penahan tanah kantilever dengan tinggi 6 meter dengan berat jenis beton 25 kN/m² dan $q = 10$ kN/m².

3.3 Penetapan *Dimensi*

Ditetapkan *dimensi* dinding penahan tanah sebagai berikut:

- Tinggi keseluruhan dinding (H') = 6 m
- Lebar pelat kaki keseluruhan = 2,5 m
- Tebal dinding vertikal = 0,4 m (atas) dan 1 m (bawah)
- Tinggi pelat kaki depan (*toe*) dan belakang (*heel*) = 1 m
- Lebar pelat kaki depan (*toe*) = 1 m
- Lebar pelat kaki belakang (*heel*) = 0,5 m

Gambar 10 : Dimensi Dinding Penahan Kantilever



Sumber : Data diolah Penulis, 2020

3.4 Beban dan Reaksi Tanah

- Gaya vertikal dan gaya momen terhadap kaki depan (titik O)

Tabel 1 : gaya vertikal dan momen terhadap kaki depan

no	berat (kN/m)	jarak dari O (m)	momen ke O (kN.m)
1	$B \times H \times \gamma = 1 \times 2,5 \times 25 = + 62,5$	1,25	78,125
2	$B \times H \times \gamma = 4 \times 5 \times 25 = +500$	3	1500
3	$0,5B \times H \times \gamma = 0,5 \times 3 \times 5 \times 25 = -187,5$	4	-750
4	$0,5B \times H \times \gamma = 0,5 \times 3,6 \times 5 \times 25 = -225$	2,2	-495
	$\Sigma W = 150$		$\Sigma M = 303,125$

Sumber : Data diolah Penulis, 2020

- b. Tekanan tanah aktif total dan momen terhadap kaki depan
Koefisien tekanan tanah aktif teori coulomb (K_a)

$$\begin{aligned}
 K_a &= \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2\alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta)\sin(\alpha + \beta)}}\right)^2} \\
 &= \frac{\sin^2(120 + 32)}{\sin^2 120 \cdot \sin(120 - 21,3) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(30 + 20)\sin 32}{\sin(120 - 20)\sin 120}}\right)^2} \\
 &= \frac{0,22}{0,738 \times 2,98} \\
 &= 0,19
 \end{aligned}$$

Tabel 2 : Tekanan tanah aktif total dan momen terhadap kaki depan

P_a (kN)	P_{ah} (kN)	P_{av} (kN)	x (m)	y (m)
$0,5H^2\gamma_b K_a = 0,5 \times 6^2 \times 19 \times 0,19 = 64,98$	32,49	56,27	2,38	2
$qHK_a = 10 \times 6 \times 0,19 = 11,4$	5,7	9,87	2,77	3
$\Sigma P_a = 76,38$	$\Sigma P_{ah} = 38,19$	$\Sigma P_{av} = 66,14$		

Sumber : Data diolah Penulis, 2020

$$P_{ah} = P_a \cos 60^\circ$$

$$P_{av} = P_a \sin 60^\circ$$

3.5 Stabilitas Dinding Penahan Tanah

- a. Stabilitas terhadap Penggulingan

Persamaan Stabilitas terhadap penggulingan:

$$\begin{aligned}
 Fgl &= \frac{\Sigma W \cdot x + \Sigma P_{av} \cdot x}{\Sigma P_{ah} \cdot y} \geq 2 \\
 &= \frac{303,125 + ((56,27 \times 2,38) + (9,87 \times 2,77))}{(32,49 \times 2) + (5,7 \times 3)} \\
 &= \frac{303,125 + (161,25)}{64,98 + 17,1} \\
 &= \frac{464,38}{82,08} \\
 &= 5,65 > 2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

- b. Stabilitas terhadap Pergeseran

Tanah pada dasar pondasi dianggap sangat kasar, $\delta_b = \varphi = 32^\circ$

Persamaan stabilitas terhadap pergeseran:

$$\begin{aligned}
 F_{gs} &= \frac{(\Sigma W + \Sigma Pav)tg\delta b}{\Sigma Pah.y} \geq 2 \text{ (untuk tanah kohesif)} \\
 &= \frac{(150+66,14)tg32}{(32,49 \times 2) + (5,7 \times 3)} \\
 &= \frac{(150+66,14)tg32}{64,98+17,1} \\
 &= \frac{135,06}{76,38} \\
 &= 1,64 < 2 \text{ (tidak aman)}
 \end{aligned}$$

c. Stabilitas terhadap Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah

$$\begin{aligned}
 \Sigma M &= \Sigma W.x + \Sigma Pav.x - \Sigma Pah.y \\
 &= 303,125 + 161,25 - 82,08 \\
 &= 382,29 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\Sigma M}{\Sigma W + \Sigma Pav} \\
 &= \frac{382,29}{150 + (166,14)} = 1,7 \text{ m dari O}
 \end{aligned}$$

$$e = \frac{B}{2} - x = \frac{2,5}{2} - 1,7 = -0,45 < \frac{B}{6} = 0,416$$

Tekanan pondasi pada tanah dasar (untuk $e < \frac{B}{6}$)

$$q_{max} = \frac{v}{3(B-2e)} = \frac{216,14}{3(2,5 - (2 \cdot -0,45))} = 63,57 \text{ kN/m}^2 < qa = 200 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

Dimensi ini memenuhi syarat pada faktor kapasitas tahanan guling dan faktor kapasitas keruntuhan daya dukung, tapi tidak memenuhi syarat pada kapasitas tahanan geser sehingga diperlukan dukungan pondasi tiang pancang dengan pertimbangan jika dilakukan penetapan ulang ukuran (*dimensi*) dengan menambah lebar plat kaki diperkirakan akan sulit dalam pelaksanaannya.

3.6 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Sesuai dengan data tanah yang ada maka untuk perhitungan kapasitas dukung menggunakan metode Meyerhof

Data tiang pancang:

$$\text{Diameter } (d) = 0,4 \text{ m} \quad L = 7 \text{ m}$$

$$\text{Keliling } (p) = \pi d = 1,26 \text{ m}$$

$$\text{Luas } (A) = 0,25 \pi d^2 = 0,126 \text{ m}$$

$$W_p = 0,126 \times 7 \times 40 = 22,05 \text{ kN}$$

Tabel 3 : Data tanah

Urutan	Klasifikasi		Karakteristik		Kedalaman (m)	Tipe
	KL	TK	cm	kg/cm ³		
1	1	1	1	1	0,00	1
2	2	2	2	2	0,00	2
3	3	3	3	3	0,00	3
4	4	4	4	4	0,00	4
5	5	5	5	5	0,00	5
6	6	6	6	6	0,00	6
7	7	7	7	7	0,00	7
8	8	8	8	8	0,00	8
9	9	9	9	9	0,00	9
10	10	10	10	10	0,00	10
11	11	11	11	11	0,00	11
12	12	12	12	12	0,00	12
13	13	13	13	13	0,00	13
14	14	14	14	14	0,00	14
15	15	15	15	15	0,00	15
16	16	16	16	16	0,00	16
17	17	17	17	17	0,00	17
18	18	18	18	18	0,00	18
19	19	19	19	19	0,00	19
20	20	20	20	20	0,00	20
21	21	21	21	21	0,00	21
22	22	22	22	22	0,00	22
23	23	23	23	23	0,00	23
24	24	24	24	24	0,00	24
25	25	25	25	25	0,00	25
26	26	26	26	26	0,00	26
27	27	27	27	27	0,00	27
28	28	28	28	28	0,00	28
29	29	29	29	29	0,00	29
30	30	30	30	30	0,00	30
31	31	31	31	31	0,00	31
32	32	32	32	32	0,00	32
33	33	33	33	33	0,00	33
34	34	34	34	34	0,00	34
35	35	35	35	35	0,00	35
36	36	36	36	36	0,00	36
37	37	37	37	37	0,00	37
38	38	38	38	38	0,00	38
39	39	39	39	39	0,00	39
40	40	40	40	40	0,00	40
41	41	41	41	41	0,00	41
42	42	42	42	42	0,00	42
43	43	43	43	43	0,00	43
44	44	44	44	44	0,00	44
45	45	45	45	45	0,00	45
46	46	46	46	46	0,00	46
47	47	47	47	47	0,00	47
48	48	48	48	48	0,00	48
49	49	49	49	49	0,00	49
50	50	50	50	50	0,00	50
51	51	51	51	51	0,00	51
52	52	52	52	52	0,00	52
53	53	53	53	53	0,00	53
54	54	54	54	54	0,00	54
55	55	55	55	55	0,00	55
56	56	56	56	56	0,00	56
57	57	57	57	57	0,00	57
58	58	58	58	58	0,00	58
59	59	59	59	59	0,00	59
60	60	60	60	60	0,00	60
61	61	61	61	61	0,00	61
62	62	62	62	62	0,00	62
63	63	63	63	63	0,00	63
64	64	64	64	64	0,00	64
65	65	65	65	65	0,00	65
66	66	66	66	66	0,00	66
67	67	67	67	67	0,00	67
68	68	68	68	68	0,00	68
69	69	69	69	69	0,00	69
70	70	70	70	70	0,00	70
71	71	71	71	71	0,00	71
72	72	72	72	72	0,00	72
73	73	73	73	73	0,00	73
74	74	74	74	74	0,00	74
75	75	75	75	75	0,00	75
76	76	76	76	76	0,00	76
77	77	77	77	77	0,00	77
78	78	78	78	78	0,00	78
79	79	79	79	79	0,00	79
80	80	80	80	80	0,00	80
81	81	81	81	81	0,00	81
82	82	82	82	82	0,00	82
83	83	83	83	83	0,00	83
84	84	84	84	84	0,00	84
85	85	85	85	85	0,00	85
86	86	86	86	86	0,00	86
87	87	87	87	87	0,00	87
88	88	88	88	88	0,00	88
89	89	89	89	89	0,00	89
90	90	90	90	90	0,00	90
91	91	91	91	91	0,00	91
92	92	92	92	92	0,00	92
93	93	93	93	93	0,00	93
94	94	94	94	94	0,00	94
95	95	95	95	95	0,00	95
96	96	96	96	96	0,00	96
97	97	97	97	97	0,00	97
98	98	98	98	98	0,00	98
99	99	99	99	99	0,00	99
100	100	100	100	100	0,00	100

Sumber : Dinas PUPR Kab. Kuantan Singingi

3.7 Tahanan Gesek Ultimate

Persamaan tahanan gesek satuan:

$$f_s = K_f q_f \quad (\text{tiang pancang } K_f = 1)$$

q_f rata-rata sampai kedalaman 3,4 m = 0,32

q_f rata-rata sampai kedalaman 7,0 m = $0,5 \times 0,32 \times 0,49 = 0,41$

$$f_s = K_f q_f = 1 \times 0,41 = 0,41 \text{ kg/cm}^2 \times 98,1 = 39,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = A_s f_s = 1,26 \times 7 \times 39,7 = 350,2 \text{ kN}$$

3.8 Tahanan Ujung Ultimate

Persamaan tahanan gesek satuan:

$$f_b = \omega_1 \omega_2 q_{ca} \quad \text{karena } d = 0,4 < 0,5, \text{ maka } \omega_1 = 1$$

$$L/d = 17,5 > 10, \text{ maka } \omega_2 = 1$$

q_{ca} pendekatan diambil 215, dari q_c tanah keras pada kedalaman 3,4

$$f_b = 1 \times 1 \times 215 \times 98,1 = 21091,5 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_b = A_b f_b = 0,126 \times 21091,5 = 2657,53 \text{ kN}$$

$$Q_u = Q_s + Q_b - W_p = 350,2 + 2657,53 - 22,05 = 2985,68 \text{ kN}$$

$$Q_a = Q_u / F = 2985,68 / 2,5 = 1194,3 \text{ kN}$$

Direncanakan tiga buah tiang pancang dengan panjang per segmen = 5 m, maka berat total yang harus di dukung adalah:

$$\Sigma W = (150 \times 5) + (66,14 \times 5) = 1080,7 \text{ kN}$$

Beban yang harus dipikul sebuah tiang pancang

$$Q = 1080,7 / 3 = 360,23 \text{ kN} < Q_a = 1194,3 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

3.9 Gaya Aksial Ultimate

Dengan melihat letak tiang pada gambar 5.4 maka titik berat tiang berada pada pusat tiang di bagian tengah

Absis tiang, baris 1, $x = -0,9$ m

baris 2, $x = 0$ m

baris 3, $x = +0,9$ m, $\Sigma x^2 = 1.62$ m²

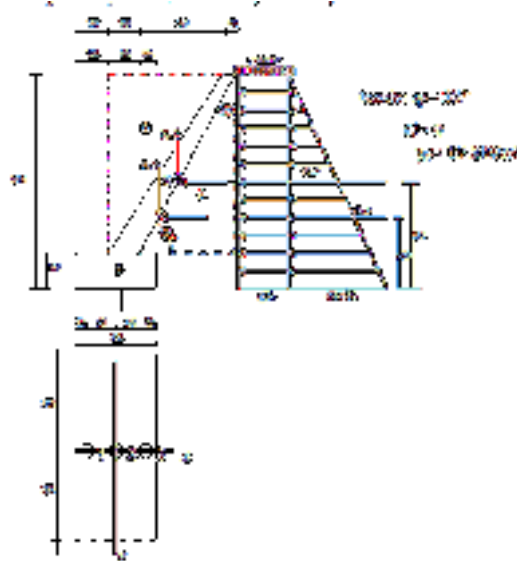
$$\Sigma MP_a = P_a l = 64,98 \times 2 = 129,96$$

$$P_a 2 = 11,4 \times 3 = \underline{34,20} +$$

$$164,16 \text{ kN.m}$$

$$\text{Momen terhadap O : } M_y = 303,125 - 164,16 = 138,97 \text{ kN.m}$$

Gambar 11 : Letak Tiang Pancang Rencana



Sumber : Data diolah Penulis, 2020

$$Q_v = \Sigma W/n + \frac{My.x}{\Sigma x^2} + \frac{Mx.y}{\Sigma y^2}$$

$$\text{Baris 1} = 1080,7/3 + \frac{138,97 \times (-0,9)}{1,62} = 93,75 \text{ kN}$$

$$\text{Baris 2} = 1080,7/3 + \frac{138,97 \times (0)}{1,62} = 170,95 \text{ kN}$$

$$\text{Baris 3} = 1080,7/3 + \frac{138,97 \times (+0,9)}{1,62} = 248,15 \text{ kN}$$

$$Q_{max} = 248,15 \text{ kN} < Q_a = 1194,3 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

3.10 Gaya Lateral Ultimate

Gaya lateral yang harus didukung sebuah tiang pancang

$$H = (64,98 + 11,4) / 3 = 25,46 \text{ kN}$$

Tiang ujung jepit, maka digunakan Persamaan :

$$K_p = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{32}{2} \right) = 3$$

$$M_{max} = \gamma d L^3 K_p = 19 \times 0,4 \times 7^3 \times 3 = 7820,4 \text{ kNm} > M_y = 138,97 \text{ kNm}$$

Karena $M_{max} > M_y$ maka gaya horisontal ultimit ditentukan oleh kekuatan bahan tiang dalam menahan beban momen

$$f = 0,82 \sqrt{H_u / d} K_p \gamma = 0,172 \sqrt{H_u}$$

$$H_u = 2M_y / (e + 2f / 3) = 2 \times 400 / (2 \times 0,172 \sqrt{H_u} / 3) = 365 \text{ kN}$$

$$F = H_u / H = 365 / 25,46 = 14,3 > 3 \text{ (OK)}$$

3.11 Defleksi Tiang

Gaya lateral yang bekerja pada arah sumbu x:

$$I_p = 1/12 bh^3 = 1/12 \times 0,4 \times 0,4^3 = 2,13 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kd}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{1600 \times 0,4}{4 \times 2,4 \times 2,13 \times 10^{-3}}} = 0,74$$

$$\beta L = 0,74 \times 7 = 5,18 \cdot 1,5 \text{ (termasuk tiang panjang)}$$

$$y_o = H \beta / K d = 25,46 \times 0,74 / 16000 \times 0,4 = 0,0029 = 0,29 \text{ cm} < 1 \text{ cm (OK)}$$

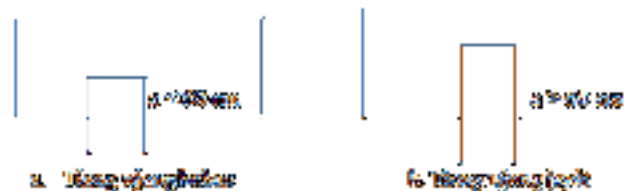
3.12 Perencanaan Pelat Penutup Tiang

Perancangan pelat penutup tiang dilakukan dengan anggapan sebagai berikut (Teng, 1962 dalam Hardiatmo, 2010):

1. Pelat penutup tiang sangat kaku.
2. Ujung tiang atas menggantung pada pelat penutup tiang, karena itu tidak ada momen lentur yang diakibatkan oleh pelat penutup tiang.
3. Tiang merupakan kolom pendek dan elastis, karena itu distribusi tegangan dan defomasi membentuk bidang rata.

Menurut SNI 2847-2013 pasal 15.7 bahwa tebal pondasi tapak diatas tulangan tidak boleh kurang dari 150 mm untuk pondasi di atas tanah atau kurang dari 300 mm untuk pondasi tapak diatas tiang pondasi. Mc.Nulty, 1956 dalam Hardiatmo, 2010 mendefinisikan bahwa tiang ujung jepit adalah tiang yang ujung atasnya tertanam dalam pelat penutup tiang paling sedikit 60 cm dan untuk tiang yang ujung atasnya tertanam kurang dari 60 cm termasuk tiang ujung bebas.

Gambar 12 : Definisi tiang ujung bebas dan tiang ujung jepit



Sumber : Mc.Nulty, 1956 dalam Hardiatmo, 2010

Berdasarkan ketentuan diatas maka ditetapkan data perencanaan sebagai berikut:

- a. Tebal pelat = 1000 mm = 100 cm
- b. Lebar pelat = 2500 mm = 250 cm

- c. Diameter tulangan utama = D25mm
- d. Tebal selimut beton = 7,5 cm
- e. Tinggi efektif pelat

$$\text{arah } x = 100 - 7,5 - (0,5 \times 2,5) = 91,25 \text{ cm}$$

$$\text{arah } y = 100 - 7,5 - 2,5 - (0,5 \times 2,5) = 88,75 \text{ cm}$$

Tabel 4 : Gaya vertikal dan momen ke pusat plat, (titik O)

no	berat (kN/m)	jarak dari O (m)	momen ke O (kN.m)
1	$0,5 \times 1 \times 25 \times 1,2 = 37,5$	1,25	29,3
2	$248,15 \times 1,2 = 297,78$	0,9	268
3	$87,5 \times 1,2 = 105$	0,75	78,75
4	$10 \times 1,6 = 16$	6	96
	$\Sigma W = 456,28$		$\Sigma M = 472,05$

Sumber : Data diolah Penulis, 2020

Keterangan : DL= 1,2

LL= 1,6

3.13. Perencanaan Tulangan Arah x

$$\rho_{max} = 0,75 \left(\frac{0,85 f_c' \beta'}{f_y} \right) \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \left(\frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{240} \right) \frac{600}{600 + 240} = 0,405$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0085$$

$$k_{perlu} = \frac{Mu}{0,85 b d^2} = \frac{472,5 \times 10^6}{0,85 \times 1000 \times 912,5^2} = 0,65 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{perlu} = \left(1 / \frac{f_y}{0,85 f_c'} \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{f_y}} \right)$$

$$= \left(1 / \frac{240}{0,85 \times 25} \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,65}{240}} \right)$$

$$= 0,089 \times 0,03 = 0,0027$$

Maka digunakan $\rho_{min} = 0,0085$

$$A_{Sperlu} = \rho \times b \times d_x = 0,0085 \times 1000 \times 912,5 = 7756,25 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D25 ($A_s = 490,87 \text{ mm}^2$),

Jumlah tulangan = $A_{Sperlu} / A_{Stul} = 7756,25 / 490,87 = 15,8 \sim 16$ btg

Jarak tulangan terpasang = $1000 / 16 = 62,5 \text{ mm}$

$A_{Saktual} = A_{Stul} \times 1000 / 62,5 = 7853,92 \text{ mm}^2 > 7756,25 \text{ mm}^2$ (OK)

3.14 Perencanaan Tulangan Arah y

Tabel 5 : Gaya vertikal dan momen ke pusat plat, (titik O)

no	berat (kN/m)	jarak dari O (m)	momen ke O (kN.m)
1	$0,5 \times 5 \times 1 \times 25 \times 1,2 = 75$	2,5	187,5
2	$87,5 \times 1,2 = 105$	2,5	262,5
3	$10 \times 1,6 = 16$	6	96
	$\Sigma W = 196$		$\Sigma M = 546$

Sumber : Data diolah Penulis, 2020

Keterangan : DL= 1,2

LL= 1,6

$$\rho_{max} = 0,75 \left(\frac{0,85 f_c' \beta'}{f_y} \right) \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0,75 \left(\frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{240} \right) \frac{600}{600+240} = 0,405$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0085$$

$$k_{perlu} = \frac{Mu}{0,85bd^2} = \frac{546 \times 10^6}{0,85 \times 1000 \times 887,5^2} = 0,76 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{perlu} = \left(1 / \frac{f_y}{0,85f_c'} \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{f_y}} \right)$$

$$= \left(1 / \frac{240}{0,85 \times 25} \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,76}{240}} \right)$$

$$= 0,089 \times 0,06 = 0,0053$$

Maka digunakan $\rho_{min} = 0,0085$

$$A_{Sperlu} = \rho \times b \times d_x = 0,0085 \times 1000 \times 887,5 = 7543,75 \text{ mm}^2$$

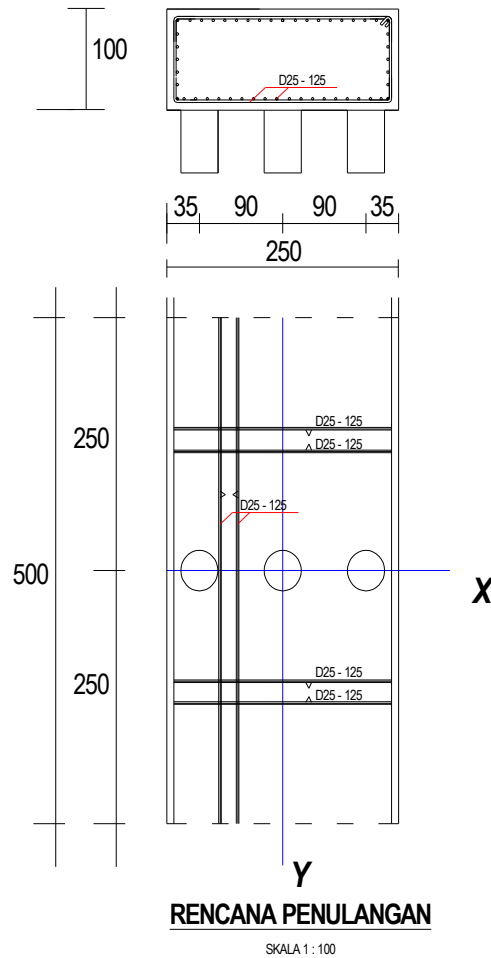
Digunakan tulangan D25 ($A_s = 490,87 \text{ mm}^2$),

Jumlah tulangan = $A_{Sperlu} / A_{Stul} = 7543,75 / 490,87 = 15,3 \sim 16$ btg

Jarak tulangan terpasang = $1000 / 16 = 62,5 \text{ mm}$

$A_{Saktual} = A_{Stul} \times 1000 / 62,5 = 7853,92 \text{ mm}^2 > 7756,25 \text{ mm}^2$ (OK)

Gambar 13 : Rencana Penulangan Pelat Penutup Tiang (pile cap)



Sumber : Data diolah Penulis, 2020

3.15 Perencanaan Penulangan Dinding Penahan

Bila y adalah kedalaman dari permukaan tanah momen terfaktor dan gaya geser yang bekerja pada dinding adalah :

$$\begin{aligned}
 Mu &= (0,5 \gamma_b y^2 K_a (y/3) 1,2) + (0,5 q y^2 K_a 1,6) \\
 &= (0,5 \times 19 \times y^3 \times (0,19/3) \times 1,2) + (0,5 \times 10 \times y^2 \times 0,19 \times 1,6) \\
 &= 1,25y^3 + 2,64 y^2 \\
 Vu &= (0,5 \gamma_b y^2 K_a 1,2) + (q y K_a 1,6) \\
 &= (0,5 \times 19 \times y^2 \times 0,19 \times 1,2) + (10 \times y \times 0,19 \times 1,6) \\
 &= 3,76y^2 + 5,28 y
 \end{aligned}$$

Tabel 6 : Hasil hitungan Gaya vertikal dan momen terfaktor

potongan	y	y ²	y ³	V _u (kN)	M _u (kN.m)
1	1,6	2,56	4,1	18,07	11,88
2	3,3	10,89	35,9	58,37	73,62
3	5	25	125	120,4	222

Sumber : Data diolah Penulis, 2020

3.16 Perencanaan Tulangan Geser

Potongan 1: $d = 30 - 7,5 - 2,5 = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$

$$V_c = (1/6 \sqrt{f_c'}) b_w d = (1/6 \sqrt{25}) 1000 \times 200 = 149 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 149 = 111,75 \text{ kN} > V_u = 18,07 \text{ kN}$$

Potongan 2: $d = 60 - 7,5 - 2,5 = 50 \text{ cm} = 500 \text{ mm}$

$$V_c = (1/6 \sqrt{f_c'}) b_w d = (1/6 \sqrt{25}) 1000 \times 500 = 372,5 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 372,5 = 279,4 \text{ kN} > V_u = 58,37 \text{ kN}$$

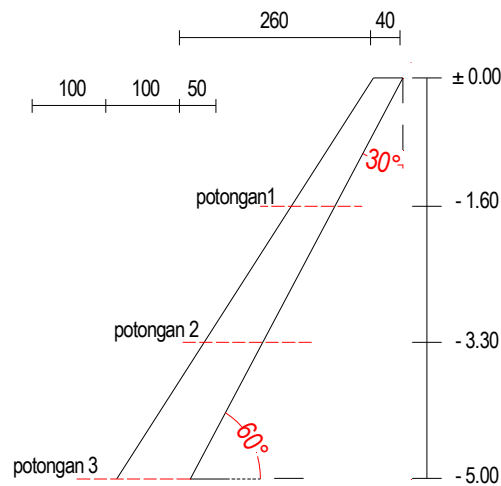
Potongan 3: $d = 100 - 7,5 - 2,5 = 90 \text{ cm} = 900 \text{ mm}$

$$V_c = (1/6 \sqrt{f_c'}) b_w d = (1/6 \sqrt{25}) 1000 \times 900 = 670,5 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 670,5 = 502,8 \text{ kN} > V_u = 120,4 \text{ kN}$$

Karena seluruh nilai $\phi V_c > V_u$, maka secara teoritis dinding penahan tidak memerlukan tulangan geser dan hanya dipasang tulangan minimum.

Gambar 14. Potongan Dinding Penahan



Sumber : Data diolah Penulis, 2020

3.17 Perencanaan Tulangan Momen

Potongan 1: $M_u = 11,88 \text{ kN.m}$

$$d = 30 - 7,5 - 2,5 = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$$

$$b_w = 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \left(\frac{0,85 f_c' \beta_1}{f_y} \right) \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \left(\frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{240} \right) \frac{600}{600+240} = 0,405$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0085$$

$$k_{perlu} = \frac{Mu}{0,85bd^2} = \frac{11,88 \times 10^6}{0,85 \times 1000 \times 200^2} = 0,37 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{perlu} = \left(1 / \frac{f_y}{0,85f_c'}\right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{f_y}}\right)$$

$$= \left(1 / \frac{240}{0,85 \times 25}\right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,37}{240}}\right)$$

$$= 0,089 \times 0,002 = 0,00017$$

Maka digunakan $\rho_{min} = 0,0085$

$$A_{Sperlu} = \rho \times b_w \times d = 0,0085 \times 1000 \times 200 = 1160 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D25 ($A_s = 490,87 \text{ mm}^2$),

Jumlah tulangan = $A_{Sperlu} / A_{Stul} = 1160 / 490,87 = 2,36 \sim 3$ btg

Jarak tulangan terpasang = $1000 / 3 = 333 \text{ mm} \sim 30 \text{ cm}$

$A_{Saktual} = A_{Stul} \times 3 = 1471,87 \text{ mm}^2 > 1160 \text{ mm}^2$ (OK)

Tulangan bagi = $20\% \times 1471,87 = 294,4 \text{ mm}^2$, dipakai 4D10 ($A_s = 314 \text{ mm}^2$)

Potongan 2: $M_u = 73,62 \text{ kN.m}$

$$d = 60 - 7,5 - 2,5 = 50 \text{ cm} = 500 \text{ mm}$$

$$b_w = 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \left(\frac{0,85 f_c' \beta'}{f_y} \right) \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0,75 \left(\frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{240} \right) \frac{600}{600+240} = 0,405$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0085$$

$$k_{perlu} = \frac{Mu}{0,85bd^2} = \frac{73,62 \times 10^6}{0,85 \times 1000 \times 500^2} = 0,368 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{perlu} = \left(1 / \frac{f_y}{0,85f_c'}\right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{f_y}}\right)$$

$$= \left(1 / \frac{240}{0,85 \times 25}\right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,368}{240}}\right)$$

$$= 0,089 \times 0,002 = 0,00017$$

Maka digunakan $\rho_{min} = 0,0085$

$$A_{Sperlu} = \rho \times b_w \times d = 0,0085 \times 1000 \times 500 = 2900 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D25 ($A_s = 490,87 \text{ mm}^2$),

Jumlah tulangan = $A_{Sperlu} / A_{Stul} = 2900 / 490,87 = 5,91 \sim 6$ btg

Jarak tulangan terpasang = $1000 / 6 = 166,6 \text{ mm} \sim 15 \text{ cm}$

$A_{Saktual} = A_{Stul} \times 6 = 2945,22 \text{ mm}^2 > 2900 \text{ mm}^2$ (OK)

Tulangan bagi = $20\% \times 2945,22 = 588,75 \text{ mm}^2$, dipakai 8D10 ($A_s = 628 \text{ mm}^2$)

Potongan 3: $M_u = 222 \text{ kN.m}$

$$d = 100 - 7,5 - 2,5 = 90 \text{ cm} = 900 \text{ mm}$$

$$b_w = 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \left(\frac{0,85 f_c' \beta'}{f_y} \right) \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0,75 \left(\frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{240} \right) \frac{600}{600+240} = 0,405$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0085$$

$$k_{perlu} = \frac{Mu}{0,85bd^2} = \frac{222 \times 10^6}{0,85 \times 1000 \times 900^2} = 0,34 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{perlu} = \left(1 / \frac{f_y}{0,85f_c'}\right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{f_y}}\right)$$

$$= \left(1 / \frac{240}{0,85 \times 25}\right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,34}{240}}\right)$$

$$= 0,089 \times 0,002 = 0,00017$$

Maka digunakan $\rho_{min} = 0,0085$

$$A_{sperlu} = \rho \times b_w \times d = 0,0085 \times 1000 \times 900 = 5220 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D25 ($A_s = 490,87 \text{ mm}^2$),

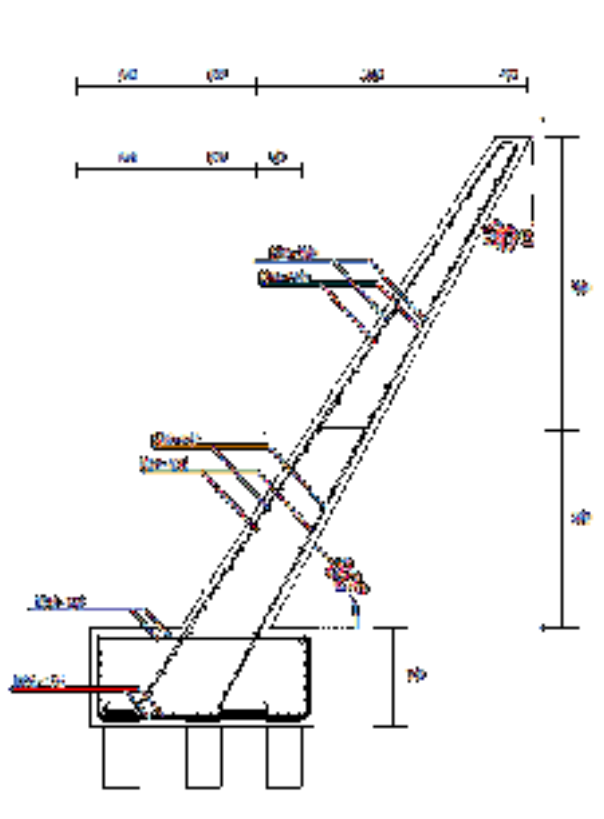
$$\text{Jumlah tulangan} = A_{sperlu} / A_{stul} = 5220 / 490,87 = 10,64 \sim 12 \text{ btg}$$

$$\text{Jarak tulangan terpasang} = 1000 / 12 = 83,3 \text{ mm} \sim 7,5 \text{ cm}$$

$$A_{saktual} = A_{stul} \times 12 = 5887,5 \text{ mm}^2 > 5220 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$\text{Tulangan bagi} = 20\% \times 5887,5 = 1177,5 \text{ mm}^2, \text{ dipakai } 16D10 \text{ (} A_s = 1256 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Gambar 15 : Rencana Penulangan Dinding Penahan



Sumber : Data diolah Penulis, 2020

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisa aplikasi Hec-Ras saat terjadi banjir ketinggian muka air mencapai $\pm 2,5$ m dibawah tebing sungai dengan debit (Q) = 4500 m³/dtk dan berdasarkan perhitungan secara manual longsor yang terjadi tiap tahun mencapai rata-rata 12 m³ per meter panjang.
2. Bentuk dan ukuran (*dimensi*) dinding penahan memenuhi syarat pada faktor kapasitas tahanan guling ($F_{gl} = 5,65 > 2$) dan faktor kapasitas keruntuhan daya dukung ($q_{max} = 63,57 \text{ kN/m}^2 < q_a = 200 \text{ kN/m}^2$), tapi tidak memenuhi syarat pada kapasitas tahanan geser ($F_{gs} = 1,76 < 2$) sehingga diperlukan dukungan pondasi tiang pancang.
3. Dari hasil analisa struktur dan perhitungan penulangan elemen struktur yang mengacu pada SNI 2847-2013 didapatkan data – data perencanaan sebagai berikut :
 - a. Tinggi keseluruhan dinding (H) = 6 m dan dinding dibuat miring 60°.
 - b. Lebar pelat kaki keseluruhan = 2,5 m
 - c. Tebal dinding vertikal = 0,4 m (atas) dan 1 m (bawah)
 - d. Tinggi pelat kaki depan (*toe*) dan belakang (*heel*) = 1 m
 - e. Diameter tiang pancang (d) = 0,4 m dan panjang (L) = 7 m
 - f. Mutu beton dinding penahan dan *pile cap* f_c 25 Mpa.
 - g. Mutu beton tiang pancang f_c 40 Mpa.
 - h. Mutu baja f_y 240 Mpa.
 - i. Tulangan pelat penutup tiang pancang (*pile cap*) $L_x = L_y$ memakai baja tulangan D25-125 jarak pkp.
 - j. Tulangan dinding penahan D25-150 dengan tulangan geser D10-125 pada potongan 3 dan D25-300 dengan tulangan geser D10-250 pada potongan 1 dan 2 jarak pkp.
 - k. Panjang dinding penahan tanah ± 200 m dan jarak per segmen 5 m dengan 3 buah tiang pancang.

DAFTAR PUSTAKA

- A.A.Sg Dewi Rahardian, 2014, “ *Konsep Ekohidrolik Sebagai Upaya Penanggulangan Erosi* ” Universitas Warma Dewa, Bali.
- Azizah Permatasari, 2015, “ *Studi Perencanaan Tanggul dan Dinding Penahan Tanah untuk Pengendalian Banjir di Sungai Cileungsi, Bogor* ” Universitas Brawijaya, Malang.

- Dita Putri Marinda Viana, 2017, “ *Perencanaan Dinding Penahan kantilever lokasi perum wika taman sari Sepinggian Balikpapan* ” Politeknik Negeri Balikpapan.
- Fifi Nur Fitriyah dan Fuad Halim, 2014, “ *Penanganan Erosi dan Sedimentasi di Kawasan Kelurahan Perkamil* ” Universitas Sam Ratulangi.
- Hardiatmo H C, 2003, “ *Mekanika Tanah II* ” Edisi Ketiga, Gajah Mada Universiti Press, Yogyakarta.
- Hardiatmo H C, 2006, “ *Analisis Pecancangan Fondasi II* ” Edisi Ketiga, Gajah Mada Universiti Press, Yogyakarta.
- Hardiatmo H C, 2007, “ *Pemeliharaan Jalan Raya* ” Gajah Mada Universiti Press, Yogyakarta.
- Hardiatmo H C, 2010, “ *Analisis Pecancangan Fondasi I* ” Edisi Kelima, Gajah Mada Universiti Press, Yogyakarta.
- Hatwan Fardilla, 2018, “ *Perencanaan Dinding Penahan Sebagai Alternatif Penahan Longsor pada Pangkal Jembatan* ” Universitas Lampung.
- Irwan Soewandi, 2012, “ *Studi Efisiensi Lebar Alas Dinding Penahan Kantilever di Perumahan The Mutiara*” Universitas Hasanudin, Makasar.
- Universitas Islam Kuantan Singingi Fakultas Teknik Prodi Teknik Sipil, 2018. “*Buku Panduan Penulisan KP (kerja praktek) dan Skripsi*”.