

Perencanaan Sheet Pile Sungai Mahakam Pada Sta. 0+100 – Sta. 0+200 di Kecamatan Melak Kabupaten Kutai Kartanegara

Suharto

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

Email: hartosuharto1966@gmail.com

Artikel Informasi

Riwayat Artikel

Diterima, 25/04/2020

Direvisi, 15/05/2020

Disetujui, 30/05/2020

Kata Kunci:

Sheet Pile;

Penahan tanah;

Dinding

Keywords:

Sheet Pile;

Ground retaining;

Wall

ABSTRAK

Dinding *Sheet Pile* adalah vertikal relatif tipis yang berfungsi kecuali untuk menahan tanah juga berfungsi untuk menahan masuknya air ke dalam galian. Adapun yang menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah mendapat suatu konstruksi *Sheet Pile* dengan sistem angker (*Anchored Sheet Pile*) yang aman dan mampu memberikan stabilitas untuk mencegah dinding galian dari keruntuhan sehingga kuat, aman dan tahan lama dalam penggunaannya. Hasil perhitungan perencanaan menggunakan metode ujung bebas (*Free End Method*) di dapat kedalaman penetrasi *Sheet Pile* mencapai pada kedalaman 19,3829 m sehingga panjang total *Sheet Pile* yang dibutuhkan, adalah : 25,7829 m ~ 26 m dengan sigma tekanan tanah aktif sebesar 60,6556 t/m², sigma momen tekanan aktif tanah aktif 215,5942 t/m² dan momen maksimum 153, 5668 t/m². Berdasarkan momen maksimum lalu dipakai baja profil U, FSP III dengan dimensi b = 400 mm, h = 125 mm dan t = 13 mm.

ABSTRACT

The walls of the Sheet Pile are relatively thin verticals that are formed except for holding the soil also funded to withstand the entry of water into the excavation. The goal in this study is to get a Sheet Pile construction with a safe anchored sheet pile system and able to provide stability to prevent the excavation wall from collapsing so that it is strong, safe, and durable in its use. The results of planning calculations using the free end method (Free End Method) in can the depth of the sheet pile absorption reaches a depth of 19.3829 m so that the total length of the Sheet Pile needed, is: 25.7829 m ~ 26 m with sigma active soil pressure of 60.6556 t / m², sigma active soil active pressure moment 215.5942 t / m² and maximum moment 153.5668 t / m². Based on the maximum moment then used steel profile U, FSP III with dimensions b = 400 mm, h = 125 mm, and t = 13 mm.



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Penulis Korespondensi:

Suharto

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

Email: hartosuharto1966@gmail.com

PENDAHULUAN

Kabupaten Kutai Barat dengan ibukota Sendawar merupakan pemekaran dari wilayah Kabupaten Kutai yang telah ditetapkan dengan UU. Nomor 47 Tahun 1999, dengan luas sekitar 31.628,70 km² atau kurang dari

15 persen dari luas Provinsi Kalimantan Timur Kabupaten Kutai Barat terbagi menjadi 21 Kecamatan dan 223 Kampung. Kabupaten Kutai Kartanegara secara geografis terletak antara 133°45'05" sampai dengan 166°31'19" Bujur Timur dan antara 1°31'35" Lintang Utara serta 101°0'16" Lintang Selatan. Adapun wilayah yang menjadi batas Kabupaten Kutai Barat adalah Kabupaten Malinau dan Negara Sarawak (Malaysia Timur) di sebelah utara, Kabupaten Kutai Kartanegara di sebelah timur, Kabupaten Pasir di sebelah selatan, dan untuk di sebelah berbatasan dengan Propinsi Kalimantan Tengah serta Propinsi Kalimantan Barat.

Daerah Kabupaten Kutai Barat didominasi topografi yang bergelombang, daei Mengacu pada Rencana Umum Tata Ruang Kota (RUTRK) Kabupaten Kutai Barat, Kecamatan Melak merupakan satu – satunya pelabuhan Kota Sendawar dan juga merupakan satu – satunya jalur sungai yaitu sungai Mahakam, dimana sungai Mahakam ini memegang peranan yang sanagt penting terutama bagi kehidupan sosial ekonomi masyarakat Kabupaten Kutai Barat.

Saat ini, di Kecamatan Melak telah terjadi longsor di beberapa titik tepi sungai mahakam sehingga mengancam keberadaan rumah penduduk yang masih berada di sekitar tepi sungai mahakam. Penelitian Perencanaan *Sheet Pile* Sungai Mahakam Pada STA. 0+100 – STA. 0+200 Di Kecamatan Melak Kabupaten Kutai Barat dilakukan untuk melanjutkan pembangunan *Sheet Pile* yang sudah ada dalam penanganan keadaan tersebut. Konstruksi *Sheet Pile* merupakan salah satu konstruksi yang banyak digunakan dalam penanggulangan kelongsoran lereng atau timbunan terutama berkaitan dengan area yang terbatas dan atau kondisi – kondisi yang membutuhkan lereng yang tegak. Salah satu kondisi yang sering menggunakan konstruksi *Sheet Pile* sebagai dinding penahan adalah pada tebing – tebing kali atau sungai.

Tujuan

Adapun yang menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah mendapat suatu konstruksi *Sheet Pile* dengan sistem anker (*Anchored Sheet Pile*) yang aman dan mampu memberikan stabilitas untuk mencegah dinding galian dari keruntuhan sehingga kuat, aman dan tahan lama dalam penggunaannya.

Studi Pustaka

Sheet Pile

Dinding *Sheet Pile* adalah vertikal relatif tipis yang berfungsi kecuali untuk menahan tanah juga berfungsi untuk menahan masuknya air ke dalam galian. Karena pemasangan yang mudah dan biaya pelaksanaan yang relatif murah, *sheet pile* banyak dipergunakan pada pekerjaan – pekerjaan seperti penahan tebing galian sementara, bangunan – bangunan di pelabuhan, dinding penahan tanah, bendungan elak dan lain – lain. *Sheet Pile* tidak cocok untuk menahan tanah timbunan yang sangat tinggi karena akan memerlukan luas penampang bahan *Sheet Pile* yang sangat besar. Selain itu, *Sheet Pile* juga tidak cocok digunakan pada tanah yang mengandung banyak bebatuan karena menyulitkan pemancangan.

Fungsi Sheet Pile

Sheet Pile seiring digunakan untuk membangun sebuah dinding yang berfungsi sebagai penahan tanah, yang bisa berupa konstruksi berkala besar maupun kecil. Sheet Pile fungsinya sebagai penahan tanah, maka konstruksi ini digolongkan juga sebagai jenis lain dari dinding penahan tanah (*retaining walls*). Perbedaan mendasar antara Sheet Pile dan dinding tanah terletak pada keuntungan penggunaan Sheet Pile pada kondisi tidak diperlukannya pengeringan air (*dewatering*).

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data – data untuk analisa dan pembahasan dalam Perencanaan Sheet Pile Sungai Mahakam Pada STA. 0+100 – STA. 0+200 Di Kecamatan Melak Kabupaten Kutai Barat adalah sebagai berikut:

• Tinggi dinding Sheet Pile dari dasar galian ke permukaan tanah urug.	H = 6,400 m
• Tinggi muka air banjir dari permukaan tanah eksisting adalah 1.1300 m dan urug setinggi 1.0000 m sehingga ketinggian dari permukaan tanah urug.	$h_1 = 0,130$ m
• Jarak dari muka tanah ke Tie Rod	$h_2 = 1,350$ m
• Jarak lapisan tanah pertama ke Tie Rod	$h_3 = 3,150$ m
• Jarak dari lapisan tanah pertamake tanah asli / dasar galian	$h_4 = 1,900$ m
• Kedalaman Blok Angkertertanam dalam tanah	$H_a = 4,250$ m
• Tinggi aktual Blok Angker	$h_a = 1,000$ m
• Jarak Dari Sheet Pile ke jalan	$L_1 = 10,000$ m
• Lebar jalan	$L_2 = 7,000$ m
• Beban terbagi rata	$q = 2,8047$ t/m ²

Data Tanah yang digunakan dalam perhitungan adalah data boring. Dari data boring dapat dilihat bahwa tanah pada lapisan 1 dan 2 yaitu tanah kepasiran dengan jenis yang berbeda sedangkan tanah pada lapisan ke-3 adalah tanah pasir kelpungan. Data tanah yang dipergunakan dari hasil penyelidikan laboratorium adalah sebagai berikut :

Tanah I (pasir)

$$\varphi_1 = 8,110^\circ$$

$$\gamma_{sat1} = 1,9813 \text{ t/m}^2$$

Tanah II (pasir)

$$\varphi_2 = 15,357^\circ$$

$$\gamma_{sat2} = 1,4528 \text{ t/m}^2$$

Tanah III (pasir kelempungan)

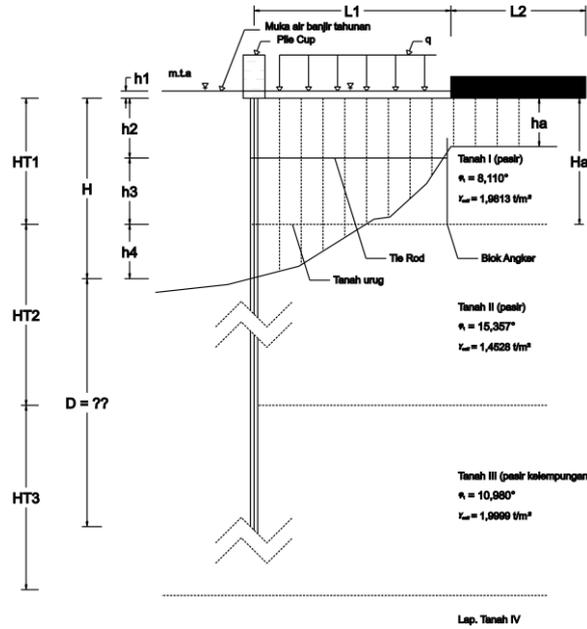
$$\varphi_3 = 10,980^\circ$$

$$\gamma_{sat3} = 1,9999 \text{ t/m}^2$$

Kedalaman lapisan tanah

- HT₁ = Dari permukaan tanah urug sampai ke lapisan tanah pertama yaitu sedalam 4,5000 m
- HT₂ = Dari permukaan tanah ke 2 sampai ke lapisan tanah ke 3 yaitu sedalam 4,7500 m
- HT₃ = Dari permukaan tanah ke 3 sampai ke lapisan tanah ke 4 yaitu sedalam 19,000 m

Desain konstruksi *Sheet Pile* dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini :



Gambar 4.1 Desain Konstruksi *Sheet Pile*

Analisa gaya yang bekerja pada *Sheet Pile*

Korfisien tekanan tanah aktif (Ka)

Tanah I

$$K_{a1} = \frac{\tan^2(45 - \frac{\phi}{2})}{\tan^2(45 + \frac{\phi}{2})} = \frac{\tan^2(45 - \frac{8,110}{2})}{\tan^2(45 + \frac{8,110}{2})} = 0,7527$$

Tanah II

$$K_{a2} = \frac{\tan^2(45 - \frac{\phi}{2})}{\tan^2(45 + \frac{\phi}{2})} = \frac{\tan^2(45 - \frac{15,357}{2})}{\tan^2(45 + \frac{15,357}{2})} = 0,5812$$

Tanah III

$$K_{a3} = \frac{\tan^2(45 - \frac{\phi}{2})}{\tan^2(45 + \frac{\phi}{2})} = \frac{\tan^2(45 - \frac{10,980}{2})}{\tan^2(45 + \frac{10,980}{2})} = 0,6800$$

Korfisien tekanan tanah pasif (Kp)

Tanah I

$$K_{p1} = \text{tg}^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)^\circ = \text{tg}^2 \left(45 + \frac{8,110}{2} \right)^\circ = 1,3285$$

Tanah II

$$K_{p2} = \text{tg}^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)^\circ = \text{tg}^2 \left(45 + \frac{15,357}{2} \right)^\circ = 1,7205$$

Tanah III

$$K_{p3} = \text{tg}^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)^\circ = \text{tg}^2 \left(45 + \frac{10,980}{2} \right)^\circ = 1,4706$$

Tekanan tanah aktif

$$P_{a1} = q \cdot K_{a1} = 2,8047 \times 0,7527 \\ = 2,1111 \text{ t/m}^2$$

$$P_{a2} = (h_2 + h_3) \cdot \gamma_{\text{sat}1} \cdot K_{a1} \\ = (1,3500 + 3,1500) \times 1,9813 \times 0,757 \\ = 7,7109 \text{ t/m}^2$$

$$P_{a3} = q \cdot K_{a2} = 2,8047 \times 0,5812 \\ = 1,6301 \text{ t/m}^2$$

$$P_{a4} = (h_2 + h_3) \cdot \gamma_{\text{sat}1} \cdot K_{a2} \\ = (1,3500 + 3,1500) \times 1,9813 \times 0,5812 \\ = 5,1818 \text{ t/m}^2$$

$$P_{a5} = h_4 \cdot \gamma_{\text{sat}2} \cdot K_{a2} = 1,9000 \times 1,4528 \times \\ 0,5912 = 1,6043 \text{ t/m}^2$$

$$q' = \Sigma \gamma H = q + (h_1 + \gamma_w) + (h_2 + h_3) \cdot \gamma_{\text{sat}1} + \\ h_4 \cdot \gamma_{\text{sat}2} \\ = 2,8047 + (0,1300 \times 1,000) + (1,3500 + \\ 3,1500) \times 1,9813 + (1,9000 \times 1,4528) = \\ 14,6107 \text{ t/m}^2$$

Panjang y

Panjang y adalah kedalaman dari permukaan tanah ke titik bertekanan nol atau momen = 0, seperti terlihat pada Gambar 4.2.

$$y = \frac{q \cdot K_{a2}}{\gamma_{sat2} (K_{p2} - K_{v2})} = 5,1305 \text{ m}$$

Tekanan tanah aktif total

$$T_{a1} = (h_2 + h_3) P_{a1} = 9,500 \text{ t/m}^2$$

$$T_{a2} = (h_2 + h_3) P_{a2} \cdot \frac{1}{2} = 15,0994 \text{ t/m}^2$$

$$T_{a3} = h_4 \cdot P_{a3} = 3,0972 \text{ t/m}^2$$

$$T_{a4} = h_4 \cdot P_{a4} = 9,8454 \text{ t/m}^2$$

$$T_{a5} = h_4 \cdot P_{a5} \cdot \frac{1}{2} = 1,5241 \text{ t/m}^2$$

$$T_{a6} = y(P_{a3} + P_{a4} + P_{a5}) \cdot \frac{1}{2} = 21,5895 \text{ t/m}^2$$

Lengan tekanan tanah aktif terhadap A

$$La1 = \frac{h_2 + h_3}{2} - h_4 = \frac{1,3500 + 3,1500}{2} - 1,3500 = 0,9000 \text{ m}$$

$$La2 = \frac{1}{2} (h_2 + h_3) - h_4 = \frac{1}{2} (1,3500 + 3,1500) - 1,3500 = 0,1500 \text{ m}$$

$$La3 = \frac{h_4}{2} + h_3 = \frac{1,9000}{2} + 3,1500 = 4,1000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}La4 &= \frac{h_4}{2} + h_3 \\ &= \frac{1,9000}{2} + 3,1500 = 4,1000 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}La5 &= \frac{1}{2} h_4 + h_3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,9000 + 3,1500 = 3,7833 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}La6 &= \frac{1}{2} y + h_4 + h_3 = \\ &= \frac{1}{2} \times 5,1305 + 1,9000 + 3,1500 = 6,7602 \text{ m}\end{aligned}$$

Momen tekanan tanah aktif terhadap A

Momen tekanan tanah aktif adalah titik pusat tekanan tanah aktif yang di tinjau terhadap titik A yaitu tempat perletakan *Tie Rod*

$$Ma1 = 9,5000 \times 0,9000 = 8,5500 \text{ t/m}^2 \cdot \text{M}$$

$$Ma2 = 15,0994 \times 0,1500 = 2,2649 \text{ t/m}^2 \cdot \text{M}$$

$$Ma3 = 3,0972 \times 4,1000 = 12,6985 \text{ t/m}^2 \cdot \text{M}$$

$$Ma4 = 9,8454 \times 4,1000 = 40,3663 \text{ t/m}^2 \cdot \text{M}$$

$$Ma5 = 1,5241 \times 3,7833 = 5,7661 \text{ t/m}^2 \cdot \text{M}$$

$$Ma6 = 21,5895 \times 6,7602 = 145,9485 \text{ t/m}^2 \cdot \text{M}$$

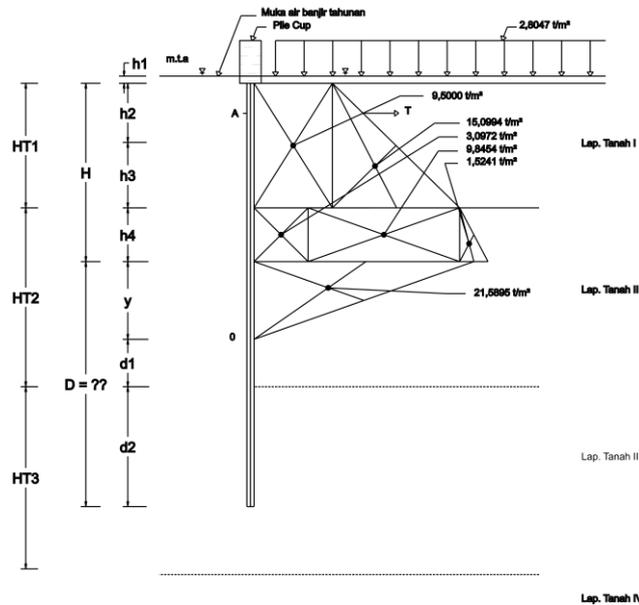
$$\begin{aligned}\Sigma Pa &= 9,5000 + 15,0994 + 3,0972 + 9,8454 + 1,5241 + 21,5895 \\ &= 60,6556 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma MPa &= 8,5500 + 2,2649 + 12,6985 + 40,3663 + 5,7661 + 145,9485 \\ &= 215,5942 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Jarak titik tangkap tekanan tanah aktif terhadap A

Resultant gaya tekanan tanah aktif terhadap titik A

$$R = \frac{\sum MP_a}{\sum P_a} = \frac{215,5942}{60,6556} = 3,5544 \text{ m}$$



Gambar 4.2 Diagram Tekanan Tanah Aktif

Jarak titik tangkap tekanan tanah aktif terhadap A

Untuk menentukan panjangnya penetrasi Sheet Pile, maka diambil:

$$\Sigma M_A = 0 \text{ (terhadap titik A atau Tie Rod)}$$

$$\Sigma M_Pa - \frac{1}{2} D_1^2 \gamma_{sat3} (K_{p3} - K_{a3})(h_3 + h_4 + y + \frac{2}{3})D_1 = 0$$

$$215,5942 - \frac{1}{2} \times D_1^2 \times 1,9999 \times (1,4706 - 0,6800) \times (3,1500 + 1,9000 + 5,1305 + \frac{2}{3} D_1) = 0$$

$$-0,7906 D_1^2 + 10,8471 D_1 + 215,5942 = 0$$

Hasil persamaan polinomial pangkat 2 ini diselesaikan dengan persamaan ABC sebagai berikut:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$D_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$D_{1,2} = \frac{-10,8471 \pm \sqrt{10,8471^2 - 4 \cdot (-0,7906) \cdot 215,5942}}{2 \cdot (-0,7906)}$$

$$D_{1,2} = \frac{-10,8471 \pm \sqrt{799,4133}}{-1,5811}$$

$$D_1 = -24,7429 \text{ m}$$

$$D_2 = 11,0219 \text{ m}$$

Perhitungan di atas adalah cara coba – coba (*Trial and Error*), dan di ambil $D_2 = 11,0219$ m. Sehingga panjang penetrasi *Sheet Pile* yang masuk dalam tanah adalah : $D_2 = y + D_2 = 5,1305 + 11,0219 = 16,1524$ m. Untuk kedalaman penetrasi *Sheet Pile* yang aman, maka :

$$D = D_2 + 0,2 \cdot D_2 = 16,1524 + 0,2 \times 16,1524 = 19,3829 \text{ m}$$

Jadi, panjang total *Sheet Pile* yang dibutuhkan untuk pemancangan adalah :
Panjang Total = $H + D = 6,4000 + 19,3829 = 25,7829 \text{ m} \sim 26 \text{ m}$.

Untuk $\Sigma M_A = 0$

$$\Sigma M_P = -\frac{1}{2} D_1^2 \gamma_{\text{sat}3} (K_{p3} - K_{a3})(h_3 + h_4 + y + \frac{2}{3}D_1) = 0$$

$$215,5942 - \frac{1}{2} \times 11,0219^2 \times 1,9999 \times (1,4706 - 0,6800) \times (3,1500 + 1,9000 + 5,1305 + \frac{2}{3} \cdot 11,0219) = 0$$

$$215,5942 + 0,7906 D_1^2 + 10,8471 D_1 = 0$$

$$215,5942 + 0,7906 \times 11,0219^2 + 10,8471 \times 11,0219 = 0$$

Jarak titik tangkap tekanan tanah aktif terhadap A

Karena penetrasi *Sheet Pile* menembus kedalaman tanah lapisan ke tiga, sedangkan titik bertekanan nol terletak pada lapisan tanah ke dua, maka perlu diperhitungkan jarak dari titik bertekanan nol ke lapisan tanah ke tiga untuk menentukan tekanan tanah pasif.

- Jarak lapisan tanah ke – 3 dari titik nol

$$d_1 = (HT_1 + HT_2) - (h_2 + h_3 + h_4 + y) \\ = (4,5000 + 9,2500) - (1,3500 + 3,1500 + 1,9000 + 5,1305) = 2,2195 \text{ m}$$

- Jarak ujung *Sheet Pile* lapisan tanah ke – 3

$$d_2 = h_2 + h_3 + h_4 + y + D_2 - (h_2 + h_3 + h_4 + y + d_1) = (1,3500 + 3,1500 + 1,9000 + 5,1305 + 11,0219) - (1,3500 + 3,1500 + 1,9000 + 5,1305 + 2,2195) = 8,8024 \text{ m}$$

Tekanan tanah yang terjadi di muka

Sheet Pile dalam tanah

1. Tekanan tanah pasif

$$P_{p1} = d_1 \cdot \gamma_{sat2} \cdot K_{p2}$$

$$T_{p1} = d_1 \cdot P_{p1} \cdot 0,5 = 2,2195 \times 5,5478 \times 0,5 = 6,1567 \text{ t/m}^2$$

$$T_{p2} = d_2 \cdot P_{p1} = 8,8024 \times 5,5478 = 48,8335 \text{ t/m}^2$$

$$T_{p2} = d_2 \cdot P_{p2} \cdot 0,5 = 8,8024 \times 25,8879 \times 0,5 = 113,9377 \text{ t/m}^2$$

2. Tekanan tanah pasif total

Lengan tekanan tanah pasif terhadap A

$$L_{p1} = \left(\frac{1}{3}d_1\right) + y + h_4 + h_3 = \left(\frac{1}{3} \times 2,2195\right) + 5,1305 + 1,9000 + 3,1500 = 10,9203 \text{ m}$$

$$L_{p2} = \frac{d}{2} + d_1 + y + h_4 + h_3 = \frac{8,8024}{2} + 2,2195 + 5,1305 + 1,9000 + 3,1500 = 16,80112 \text{ m}$$

$$L_{p3} = \left(\frac{1}{3}d_2\right) + d_1 + y + h_4 + d_3 = \left(\frac{1}{3} \times 8,8024\right) + 2,2195 + 5,1305 + 1,9000 + 3,1500 = 15,3341 \text{ m}$$

Momen tekanan tanah pasif terhadap A

Momen tekanan tanah pasif adalah titik pusat tekanan tanah pasif yang di juga tinjau titik A yaitu tempat perletakan *Tie Rod* yang berfungsi untuk menahan berotasinya ujung bawah *Sheet Pile* terhadap *Tie Rod* akibat tekanan tanah aktif.

$$M_{p1} = 6,1567 \times 10,9203 = 67,2333 \text{ t/m}^2 \cdot \text{M}$$

$$M_{p2} = 48,8335 \times 16,8012 = 820,4614 \text{ t/m}^2 \cdot \text{M}$$

$$M_{p3} = 113,9377 \times 15,3341 = 1747,1351 \text{ t/m}^2 \cdot \text{M}$$

$$\Sigma P_p = 6,1567 + 48,8335 + 113,9377 = 168,9280 \text{ t/m}^2 \cdot \text{M}$$

$$\Sigma MP_p = 67,2333 + 820,4614 + 1747,1351 = 2634,8298 \text{ t/m}^2 \cdot \text{M}$$

Jarak titik tangkap tekanan tanah pasif terhadap A

Resultan gaya tekanan tanah pasif terhadap titik A

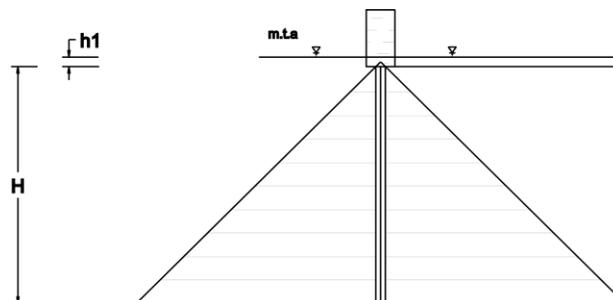
$$R' = \frac{\Sigma MP_p}{\Sigma P_p} = \frac{2634,8298}{168,9280} = 15,5974 \text{ m}$$

Tekanan hidrostatik

Dalam analisa dan pembahasan ini, tekanan hidrostatik yang diperhhitungkan hanya pada level tertinggi yaitu banjir tahunan sesuai data yang di dapat pada saat penelitian. Ada pun gaya tekanan hidrostatik yang terjadi pada *Sheet Pile* saling meniadakan.

$$\begin{aligned} Th &= (H + h_1) \cdot w - (H + h_1) \cdot w \\ &= (6,4000 + 0,1300) \cdot 1,0000 - (6,4000 + 0,1300) \cdot 1,0000 = 0 \end{aligned}$$

Tinggi muka air antara di depan dan di belakang *Sheet Pile* saling meniadakan.



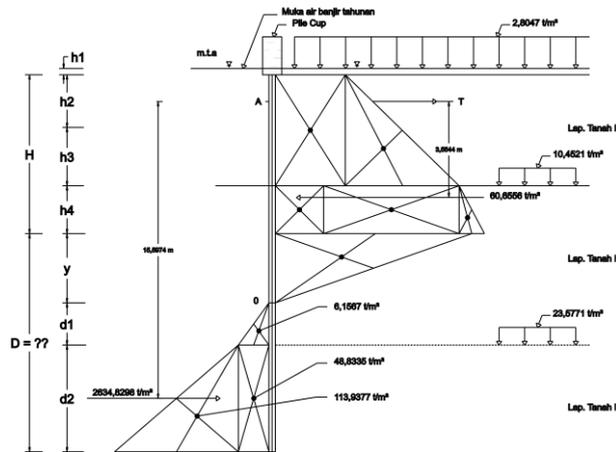
Gambar 4.3 Tekanan hidrostatik saling meniadakan

Gambar 4.4 Diagram tekanan tanah pasif

Gaya tarik Tie Rod

Gaya tarik Tie Rod terhadap Sheet Pile akibat tekanan tanah aktif.

$$\Sigma H = 0$$



$$T = \Sigma Pa - \frac{1}{2} D_1 \cdot \gamma_{sat3} \cdot (Kp_3 - Ka)$$

$$= 60,6556 - \frac{1}{2} \times 11,0219 \times 1,9999 \times (1,4706 - 0,6800)$$

$$= 51,9422 \text{ t/m}^2$$

$$\Sigma H = 0$$

$$T = Pa - Pp = 0$$

$$Pa - Pp - T = 0$$

$$51,9422 - 60,6556 - 168,9280 = -177,6414 \text{ t/m}^2$$

Momen maksimum

Momen maksimum terjadi pada $\Sigma F_x = 0$ dimana gaya lintang sama dengan 0 (nol). Dimana bahwa, $\Sigma F_x = 0$ terletak di atas dasar galian.

$$\gamma_1' = \gamma_{sat1} + \gamma_w$$

$$\gamma_1' = 1,9813 + 1,0000 = 0,9813$$

$$\left(\frac{1}{2} (h_1^2 \cdot \gamma_w) + (h_2 + h_3)^2 \gamma_1' \cdot Ka_1 \right) + (x(h_1 \cdot \gamma_w) + (h_2 + h_3) \gamma_1' \cdot Ka_1) + (x^2$$

$$\frac{1}{2} (h_1 \cdot \gamma_w) \gamma_{b1} \cdot Ka_1 - T = 0$$

$$\left(\frac{1}{2} (0,1300^2 \cdot 1,000) + (1,3500 +$$

$$3,1500)^2 0,9813 \cdot 0,7527 \right) + (x(0,1300 \cdot 1,0000) + (1,3500 + 3,1500) 0,9813 \cdot 0,7527) + \left(\frac{1}{2}$$

$$(1,0000 \cdot 36,4987 \cdot 0,7527 x^2) - 51,9422 = 0$$

$$13,8663 x^2 + 3,4537x - 44,4470 = 0$$

Letak momen maksimum diperoleh dengan mendefersialkan persamaan momen total di atas terhadap x, sehingga nilai ΣM_{maks} diperoleh sebagai berikut :

$$x_{1,2} =$$

$$\frac{-3,4537 \pm \sqrt{3,4537^2 - 4 \times 13,8663 \times (-44,4470)}}{2 \times 13,8663}$$

$$x_{1,2} = \frac{-3,4537 \pm \sqrt{2666,4956}}{27,7326}$$

$$x_1 = 1,9192 \text{ m}$$

$$x_2 = -1,6702 \text{ m}$$

Dengan hasil mendefersialkan persamaan tersebut di atas, diambil $x_1 = 1,9192 \text{ m}$

Jadi, momen maksimum terlatak pada jarak 1,9192 m di bawah muka air atau 4,6108 m di atas dasar galian dan besarnya momen maksimum adalah :

$$\begin{aligned}
 M_{maks} &= (1,9192 + 1) \times 51,7816 - (1,9192 \\
 &+ \frac{4}{3}) \times 7,4952 \\
 &- (1,9192) \times (\frac{1,9192}{2}) \times 3,4537 + \\
 &(1,9192)^2 (\frac{1,9865}{3}) \times 13,8663 = \\
 &153,5668 \text{ t.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma F_x &= 0 \\
 13,8663x_1^2 + 3,4537x_1 + 7,4952 - \\
 51,9422 &= 0 \\
 13,8663 \times 1,9192^2 + 3,4537 \times 1,9192 \\
 + 7,4952 - 51,9422 \\
 &= 13,2569 \text{ t/m}^2 \text{ Searah dengan jarum} \\
 &\text{jam}
 \end{aligned}$$

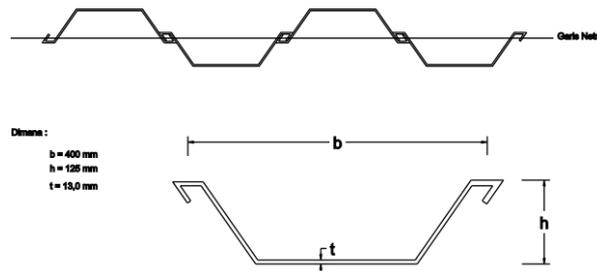
Penentuan profil Sheet Pile

Dicoba menggunakan Bj. 33 (Fe. 310) dengan $\sigma_t = 133,3 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}
 W &= \\
 \frac{\Sigma M_{total}}{\sigma_t} &= \frac{153,5668}{133,3 \times 10^2} = 0,01151780 \text{ m}^3 = 1,1517795 \text{ cm}^3 \sim 1,152 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$W = \text{widerstains moment}$

Dalam hasil perhitungan dan mangacu pada tabel profil baja, maka digunakan baja profil U, FSP III yaitu tipe LARSENEN dengan $W = 1,340 \text{ cm}^3 > 1,152 \text{ cm}^3$, dan dimensinya sebagai berikut:



Gambar 4.5 Profil Baja U, FSP-III

Perencanaan Balok Angker

Letak blok angker harus berada dalam zona tanah stabil dan sudut gesek dalam (ϕ) tidak memotong blok angker. Jarak yang diperhitungkan adalah jarak minimal blok angker dapat diletakkan.

$$L_{TR1} = d_2 \cos 45 - \left(\frac{10,980}{2}\right)^\circ =$$

$$8,8024 \times \cos 45 - \left(\frac{15,357}{2}\right)^\circ = 6,7912 \text{ m}$$

$$L_{TR2} = L_1 + (d_1 + \gamma + h_4) \cos 45 -$$

$$\left(\frac{15,357}{2}\right)^\circ$$

$$= 6,7912 + (2,2195 + 5,1305 + 1,9000) \cos$$

$$45 - \left(\frac{15,357}{2}\right)^\circ = 14,1472 \text{ m}$$

$$L_{TR3} = L_2 + (h_3 + h_2) \cos 45 - \left(\frac{8,110}{2}\right)^\circ$$

$$= 14,1472 + (3,1500 + 1,3500) \cos 45 -$$

$$\left(\frac{8,110}{2}\right)^\circ = 17,5462 \text{ m}$$

$$L_{TR4} = (h_3 + h_2) \cos 45 - \left(\frac{8,110}{2}\right)^\circ$$

$$= (3,1500 + 1,3500) \cos 45 - \left(\frac{8,110}{2}\right)^\circ$$

$$= 4,5000 \text{ m}$$

$$L_Z = L_{L3} + L_{L4} = 17,5462 + 4,5000$$

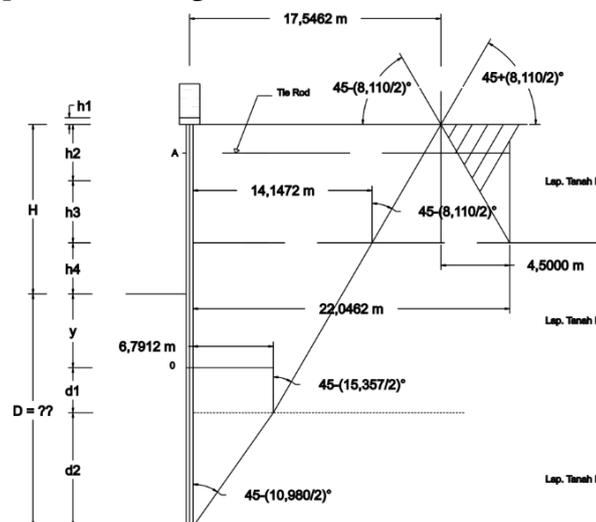
$$= 22,0462 \text{ m} \sim 22 \text{ m}$$

Panjang $L_Z = 22,0462 \text{ m} \sim 22 \text{ m}$ diambil dalam arah vertikal dan sejajar dari lapisan tanah ke-2 ke permukaan. Jarak antara permukaan tanah dengan lapisan tanah ke- 2 adalah 4,5000 m dan ujung bawah blok angker tertanam pada kedalaman 4,2500 m, sehingga:

$$4,5000 \text{ m} - 4,2500 \text{ m} = 0,2500 \text{ m}$$

Jadi, ujung bawah blok angker terletak pada posisi 0,2500 m di atas permukaan lapisan tanah ke-2 dalam arah vertikal.

Jadi, jarak minimal untuk penempatan blok angker terletak pada jarak 22 m dari titik pusat dinding *Sheet Pile* ke titik pusat blok angker.



Gambar 4.6 Letak Blok Angker Pada Metode Ujung Bebas

Dengan kondisi letak blok angker pada jarak 22,0462 m ~ 22 m, memang blok angker dapat bekerja secara maksimal karena blok angker terletak pada zona tanah stabil atau berada di luar bidang longsor.

Pada kondisi blok angker terletak pada jarak 22 m ini kurang aman untuk panjang Tie Rod karena rawan terjadi patahan akibat penurunan tanah dalam jangka waktu tertentu oleh beban di atas Tie Rod sehingga perlu dilakukan analisa perhitungan lebih lanjut untuk memperpendek jarak blok angker dari Sheet Pile demi keamanan Tie Rod, maka atas dasar pertimbangan bahwa:

Dari hasil analisa perhitungan menggunakan metode ujung bebas (*Fixed End Method*) di dapat kedalaman penetrasi Sheet Pile mencapai 19,3829 m dan mempunyai sigma momen tekanan tanah pasif yang besar yaitu 2634,8289 t/m².M, sehingga tahanan pasif yang bekerja pada Sheet Pile sangat kuat untuk menahan berotasinya ujung bawah Sheet Pile terhadap Tie Rod dan ujung Sheet Pile menjadi terjepit. Dari nilai hasil perhitungan tersebut, lalu diasumsikan bahwa, pada kedalaman tersebut, Sheet Pile berperilaku atau bekerja seperti metode ujung bebas (*Fixed End Method*).

Maka berdasarkan hasil tersebut, untuk menghindari kegagalan yang dapat terjadi pada Tie Rod, letak blok angker selanjutnya menggunakan perhitungan metode ujung tetap (*Fixed End Method*), sehingga menjadi sebagai berikut:

$$L_{TR1}' = (y + h_4) \cos 45 - \left(\frac{15,357}{2}\right)^\circ$$

$$= (5,1305 + 1,9000) \times \cos 45 - \left(\frac{15,357}{2}\right)^\circ = 5,5910 \text{ m}$$

$$L_{TR2}' = L_1' (h_3 + h_2) \cos 45 - \left(\frac{8,110}{2}\right)^\circ$$

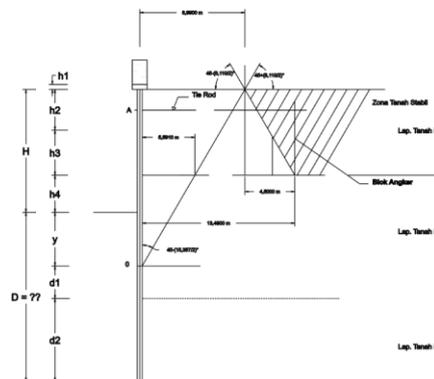
$$= 5,5910 \times (3,1500 + 1,3500) \cos 45 - \left(\frac{8,110}{2}\right)^\circ$$

$$= 8,9900 \text{ m}$$

$$L_{TR3}' = (h_3 + h_2) \cos 45 - \left(\frac{8,110}{2}\right)^\circ$$

$$= (3,1500 + 1,3500) \cos 45 - \left(\frac{8,110}{2}\right)^\circ = 4,5000 \text{ m}$$

$$L_Z' = L_2' + L_3' = 8,9900 + 4,5000 = 13,4900 \text{ m} \sim 13,5 \text{ m}$$



Gambar 4.7 Jarak Blok Angker Pada Metode Ujung Bebas

Dari hasil perhitungan, letak blok angker yang akan digunakan terletak pada jarak 13,5 m dari titik pusat *Sheet Pile* ke titik pusat Blok Angker. Pada jarak 13,5 m ini, sama seperti sebelumnya, yaitu diambil dalam arah vertikal dan sejajar dengan lapisan tanah ke-2. Jarak antara permukaan tanah dengan lapisan tanah ke-2 adalah 4,5000 m dan ujung bawah blok angker tertanam pada kedalaman 4,2500 m.

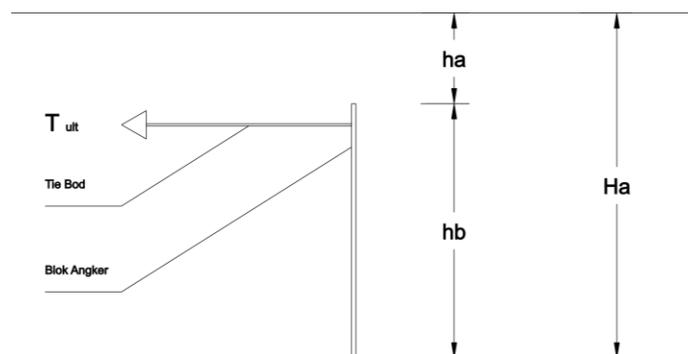
$$4,5000 \text{ m} - 4,2500 \text{ m} = 0,2500 \text{ m}$$

Jadi ujung bawah blok angker terletak pada posisi 0,2500 m di atas permukaan lapisan tanah ke-2 dan hal ini berarti sudut gesek dalam (ϕ) tidak menyentuh blok angker apalagi memotong. Dengan demikian, kondisi aman untuk penempatan blk angker. Jarak 13,5 m adalah jarak minimal yang diperoleh berdasarkan hasil perhitunganyang ditinjau terhadap sudut gesek dalam(ϕ).

1. Analisa gaya yang bekerja pada Blok Angker dan Tie Rod

Blok angker yang digunakan adalah blok angker memanjang di dekat permukaan dengan $h \ll H$, sehingga tekanan tanah aktif dan pasif yang bekerja pada blok angker setinggi H, maka kapasitas ultimit blok angker adalah :

$$T \leq H \left(\frac{P_a}{p} - \frac{P_a}{a} \right) + 1/3 \cdot K_o \cdot \gamma_{sat1} \left(\sqrt{K_p} + \sqrt{K_a} \right) \cdot H^3 \cdot \text{tg}\phi$$



Gambar 4.8 Blok Angker

$$h_a \leq \frac{H_a}{3}$$

$$\frac{4,2500}{3} = 1,4167 \rightarrow 1,0000$$

$$\leq 1,4167$$

2. Panjang Blok Angker

$$h_b = H_a - h_a = 4,2500 - 1,0000 = 3,2500 \text{ m}$$

3. Tekanan Tanah Aktif

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} H_a^2 \cdot \gamma_{sat1} \cdot K_{a1} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 4,2500^2 \cdot 1,9813 \cdot 0,7572 = \\ &13,4683 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

4. Tekanan Tanah Aktif Total

$$PaT = Ha \cdot Pa$$

$$= 4,2500 \cdot 13,4683 = 57,2403 \text{ t/m}^2$$

$$\Sigma Pa = PaT = 57,2403 \text{ t/m}^2$$

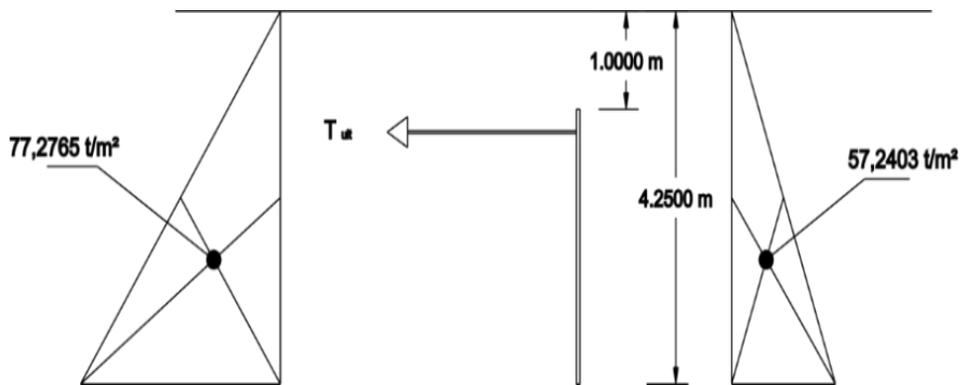
5. Tekanan Tanah Pasif

$$PaT = Ha \cdot Pp1$$

$$= 4,2500 \cdot 23,7713 = 77,2567$$

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

$$\Sigma Pa = PaT = 77,2567 \text{ t/m}^2$$



Gambar 4.9 Tekanan Tanah Aktif dan Pasif Pada Blok Angker

6. Kapasitas Ultimit Blok Angker

$$T \leq h (P_p - P_a) + \frac{1}{3} \cdot K_o \cdot \gamma_{sat1} \left(\sqrt{K_p} + \sqrt{K_a} \right) H^3 \cdot \tan \phi$$

$$T = 32500 (77,2567 - 57,2403) + \frac{1}{3} \cdot 0,8589 \cdot 1,9813 \left(\sqrt{0,8589} + \sqrt{0,7527} \right) 4,2500^3 \cdot 0,1425 = 77,5889 \text{ t/m}^2$$

$$T = 51,9422 \text{ t/m}^2 \leq T_{ult} = 77,5889 \text{ t/m}^2$$

7. Tahanan Izin Tie Rod

Tahanan batas yang diizinkan pada Tie Rod

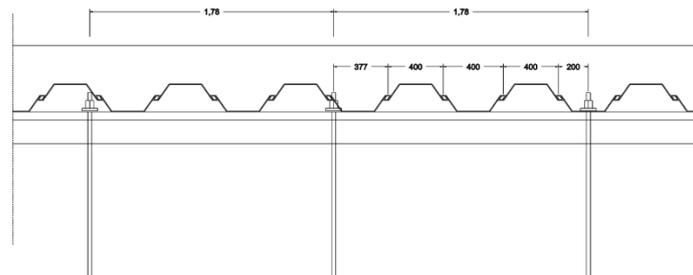
$$P_{all} = \frac{\Sigma MP_a}{FS} = \frac{215,5942}{2} = 107,7971 \text{ t/m}^2$$

8. Jarak Blok Angker Dari Pusat Ke Pusat

Jarak blok angker dari pusat ke pusat = jarak Tie Rod dari pusat ke pusat

$$S' = \frac{P_{all}}{P_a} = \frac{107,7971}{60,6556} = 1,7772 \text{ m} \sim 1,78 \text{ m}$$

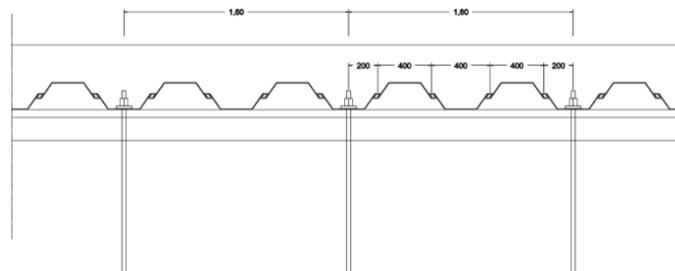
Di dapat jarak antara *Tie Rod* atau jarak antar blok angker dari pusat ke pusat berjarak 1,7772 m. Pada jarak ini, *Tie Rod* yang tersambung ke *Sheet Pile* untuk pemasangan di lapangan tidak teratur seperti terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Jarak Antara *Tie Rod*

Oke....!!

Maka, untuk jarak pemasangan *Tie Rod* di lapangan di pasang pada jarak 1,60 meter sehingga posisi *Tie Rod* dapat terpasang dengan rapi pada *Sheet Pile* seperti terlihat pada Gambar 4.11. jarak 1,60 m disesuaikan dengan dimensi *Sheet Pile* dan jarak ini aman karena tidak melebihi jaarak maksimal dari hasil perhitungan yaitu 1,7772 m ~ 1,78 m.



Gambar 4.11 Jarak Antar *Tie Rod* Yang Digunakan Untuk Dilapangan

9. Momen Maksimum *Tie Rod*

$$T_{maks} = \frac{1}{2} (K_p - K_a) \sum_{sati} \cdot H_{12}$$

$$= \frac{1}{2} (1,3285 - 0,7527) 1,9813 \cdot 4,2500^2 = 10,3030 \text{ t/m}^2$$

Jadi, momen maksimum yang terjadi pada *Tie Rod* adalah sebesar 10,3030 t/m²

KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan perencanaan menggunakan metode ujung bebas (*Free End Method*) di dapat kedalaman penetrasi *Sheet Pile* mencapai pada kedalaman 19,3829 m sehingga panjang total *Sheet Pile* yang dibutuhkan, adalah : 25,7829 m ~ 26 m dengan sigma tekanan tanah aktif sebesar 60,6556 t/m², sigma momen tekanan aktif tanah aktif 215,5942 t/m² dan momen maksimum 153, 5668 t/m². Berdasarkan momen maksimum lalu dipakai baja profil U, FSP III dengan dimensi b = 400 mm, h = 125 mm dan t = 13 mm.
2. Pada ujung *Sheet Pile* bekerja momen tekanan tanah pasif yang sangat besar yaitu sebesar 2634,8298 t/m² .M dan momen tekanan tanah ini mampu memberikan tahanan pasif yang cukup untuk mencengah ujung bawah berotasi terhadap Tie Rod sehingga diasumsikan bahwa *Sheet Pile* berperilaku seperti metode ujung tetap (*Fixed End Method*) lalu dilakukan perhitungan dengan metode ujung tetap (*Fixed End Method*) dan di dapat letak blok angker berada pada jarak 13,5 m dari pusat *Sheet Pile* ke pusat blok angker. Untuk metode ujung tetap (*Fixed End Method*), pada kondisi ini, blok angker masih terletak pada zona tanah stabil atau berada di luar bidang longsor tanah, sehingga :
 - a. Zona aktif *Sheet Pile* yang akan runtuh tidak memotong bidang longsor blok angker.
 - b. Blok angker terletak di bawah garis yang ditarik dari ujung bawah *Sheet Pile* yang membentuk sudut α terhadap horizontal.

Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil kajian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Blok angker hanya menerima gaya leteral dan tidak terganggu oleh gaya – gaya lain.
2. Untuk metode unung bebas (*Fixed End Method*), jika takanan tanah pasif besar dan mampu menahan ujung *Sheet Pile* berotasi terhadap angker maka penentuan letak blok angker dapat dilakukan dengan metode ujung tetap (*Fixed End Method*).
3. Untuk perhitungan lebih akurat lagi, perlu dilakukan perhitungan pada level air yang berbeda untuk perbandingan dalam perhitungan tekanan – tekanan yang terjadi pada struktur dan dipakai / diambil nilai yang paling kritis.
4. Penanganan longsor dengan sistem diangker perlu dikerjakan oleh kontraktor yang pernah melaksanakan pekerjaan tersebut.
5. Demikian pula halnya dengan pengawasan pelaksanaannya, perlu dilakukan oleh konsultan pengawas atau personil yang mengerti tentang pekerjaan dengan sistem angker untuk tujuan penahanan longsor.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. 1993. Analisis dan Desain Pondasi. Jilid 2. Jakarta: Erlangga
- Brown, William D. 1994. Design Of Sheet Pile Walls, Design Of Sheet Pile Walls.pdf.
- Das, Braja M. 1984. Fundamentals of Soil Dynamics. New York: Elsevier Science Publishing Co. Inc.

- Das, Braja.M. 2011. Principles of Foundation Engineering. Seventh edition. PWS Publishing Company.
- Department of The Army. 1994. Engineering and Design. Design Of Sheet Pile Walls.pdf. US Army Corps of Engineers. Washington DC.
- Hardiyatmo, Hari Christady. 1992. Mekanika Tanah 1. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Martini, Shyama Maricar, Hendra Setiawan. 2012. Perencanaan Konstruksi Turap Sebagai Pengganti Dinding Penahan (Studi Kasus Jalan Lingkar Donggala).