

PENGGUNAAN SHEET PILE SEBAGAI PERKUATAN TEBING SUNGAI DONDANG DI LOKASI PROYEK BLC2 PT. KUTAI ENERGI, KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA, KALIMANTAN TIMUR

Arief Nugraha Pontoh^{1,*}, Muhammad Fachri W. Ramadhan¹

*¹) Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Kalimantan
Jl. Soekarno Hatta KM 15, Karang Joang, Kec. Balikpapan Utara,
Kota Balikpapan, Kalimantan Timur, 76127*

**⁾Email : arief.nugraha@lecturer.itk.ac.id*

Abstract

The collapse of the banks of the Dondang river at the BLC2 project site of PT. Kutai Energi caused the barge to not dock and the conveyor to be unusable. One of the causes of landslides is changes in river water levels which cause the soil around the river banks to become saturated and unstable. The research begins with a survey and data collection related to the research location. Analysis using GeoStudio (Slope/W) 2012 software was carried out with two models, namely when the river water level is normal and when the river water level is in a flooded condition. The results of the analysis show that the critical condition occurs in the second condition where the river water level is in a flood condition. In these conditions, it is known that in the existing condition of the slope without reinforcement, the value of safety number (SF) = 1.125 is obtained. On the other hand, when the pile reinforcement is given, the slope safety score increases to 1.741 which indicates that the plaster can overcome the sliding on the cliff due to the influence of the river water level.

Kata kunci : *perubahan tinggi muka air, sheet pile, stabilitas lereng*

PENDAHULUAN

PT. Kutai Energi merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan batubara dan berlokasi di Kalimantan Timur. Saat ini perusahaan tersebut sedang menjalankan proyek BLC (*Barge Loading Conveyor*) 2, yaitu proyek pembangunan konveyor untuk memaksimalkan pengelolaan batubara. Proyek BLC2 berada di tepi sungai Dondang daerah Teluk Dalam Batuah, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Sungai Dondang merupakan salah satu sungai yang membentang di wilayah selatan Kabupaten Kutai Kertanegara dan

bermuara pada delta Sungai Mahakam. Putra (2014) menyatakan sungai dapat diartikan sebagai aliran terbuka yang mengalirkan air dari hulu menuju hilir. Setiap sungai memiliki bentuk dan karakteristik yang berbeda. Proses pembentukan, iklim, dan juga topografi menjadi faktor penyebabnya. Bagian tebing sungai merupakan bagian yang rawan terjadi keruntuhan sehingga dapat menimbulkan kerugian terhadap infrastruktur yang ada.

Stabilitas lereng adalah salah satu hal yang penting pada pekerjaan ada hubungannya dengan galian, timbunan, dll (Indrawahjuni, 2011).

Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan kestabilan lereng adalah dengan perkuatan lereng dengan menggunakan *sheet pile*. *Sheet pile* sendiri merupakan konstruksi yang dapat menahan tekanan tanah di sekelilingnya, mencegah terjadinya kelongsoran dan biasanya terdiri dari *sheet pile* dan penyanggahnya. Konstruksi *sheet pile* tersusun dari lembaran *sheet pile* yang dipancang ke

dalam tanah, juga membentuk formasi menerus vertikal digunakan sebagai penahan timbunan atau lereng tanah. Penggunaan turap (*sheet pile*) jika dibandingkan dengan *gravity wall* dapat lebih menghemat lahan proyek karena dimensinya yang relatif tipis (Hertiany dan Asyifa, 2014) namun tetap memenuhi persyaratan nilai angka keamanan (Agatha dkk, 2017).



Gambar 1. Kondisi Tebing Sungai di Lokasi Proyek BLC2 PT. Kutai Energi

Gambar 1 memperlihatkan kondisi tebing sungai Dondang di lokasi Proyek BLC2 yang mengalami kelongsoran akibat pengaruh air sungai. Longsor tersebut mengakibatkan kapal tongkang tidak dapat bersandar dan konveyor tidak dapat digunakan. Perubahan tinggi muka air sungai mengakibatkan tekanan air pori meningkat serta kuat geser tanah pada tebing sungai menurun. Selain itu, akibat tingginya muka air sungai, berat tanah pada tebing lereng pun semakin bertambah akibat banyaknya kandungan air yang membuat kondisi tebing menjadi jenuh dan tidak stabil (Nofrizal

dan Silfia, 2020). Berdasarkan permasalahan yang terjadi di lokasi, maka pada penelitian ini penulis akan merencanakan konstruksi *sheet pile* dan menganalisis pengaruh dari perubahan tinggi muka air sungai Dondang terhadap stabilitas *sheet pile* dan stabilitas lereng sungai.

Analisis Stabilitas Lereng

Hardiyatmo (2018) menyatakan analisis stabilitas lereng umumnya berdasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Tujuan dari analisis stabilitas lereng yaitu untuk menentukan faktor aman (*safety*

factor) dari bidang longsor yang berpotensi. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor. Bowles (1984) membagi tiga kelompok rentang faktor keamanan (*SF*) yang

ditinjau dari intensitas kelongsorannya (Tabel 1). Menurut Bowles (1984) lereng dikatakan stabil jika memiliki faktor keamanan yang tinggi ($SF > 1.25$) sedangkan lereng yang tidak stabil memiliki nilai faktor keamanan yang rendah ($SF < 1.07$).

Tabel 1. Hubungan faktor keamanan dan intensitas longsor (Bowles, 1984)

Faktor Keamanan (<i>SF</i>)	Kejadian atau Intensitas Longsor
$SF < 1.07$	Longsor biasa terjadi/ sering (Kondisi Lereng Tidak Stabil)
$1.07 \leq SF \leq 1.25$	Longsor pernah terjadi (Kondisi Lereng Kritis)
$SF > 1.25$	Longsor jarang terjadi (Kondisi Lereng Stabil)

Kemajuan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang geoteknik seperti berkembangnya program bantu, dapat membantu proses perencanaan dan perhitungan stabilitas tanah yang menjadikan hasil analisis menjadi lebih maksimal (Atibrata, 2020). Untuk memudahkan proses analisis dalam penelitian ini, maka akan digunakan program bantu *SLOPE/W* yang merupakan bagian dari GeoStudio 2012 yang berfungsi untuk menganalisis angka keamanan lereng (*SF*). *SLOPE/W* juga bisa digunakan untuk melakukan analisis terintegrasi dengan program lain seperti *SEEP/W*, *SIGMA/W*, dan *QUAKE/W* sehingga hasil satu dan yang lainnya dapat dianalisis secara komprehensif (Chasanah, 2012).

Metode yang digunakan dalam analisis *SLOPE/W* adalah metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium*) dengan menghitung rasio perbandingan antara *force equilibrium* (gaya dorong) dan *moment equilibrium* (gaya tahan) dengan asumsi bidang longsor

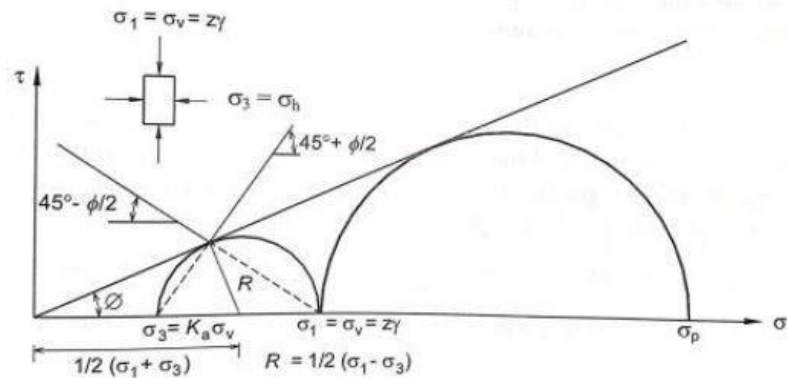
potensial dan membagi-baginya menjadi beberapa irisan (*slices*) untuk memudahkan perhitungan. Salah satu pengembangan metode *limit equilibrium* adalah metode *Morgenstern-Price* yang menganggap bahwa kemiringan gaya geser antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan (Takwin dkk, 2017). Teori rankine digunakan untuk menghitung nilai koefisien tekanan tanah aktif (K_a) dan koefisien tekanan tanah pasif (K_p) yang terjadi pada struktur perkuatan lereng. Dikatakan tekanan tanah aktif jika tekanan yang bekerja mengakibatkan dinding menjauhi tanah yang ditahan. Gambar 2 menjelaskan tentang teori rankine menggunakan lingkaran Mohr, dimana terbentuk sudut keruntuhan sebesar $(45^\circ + \phi/2)$ akibat tegangan yang terjadi pada tanah.

Metode Ujung Bebas

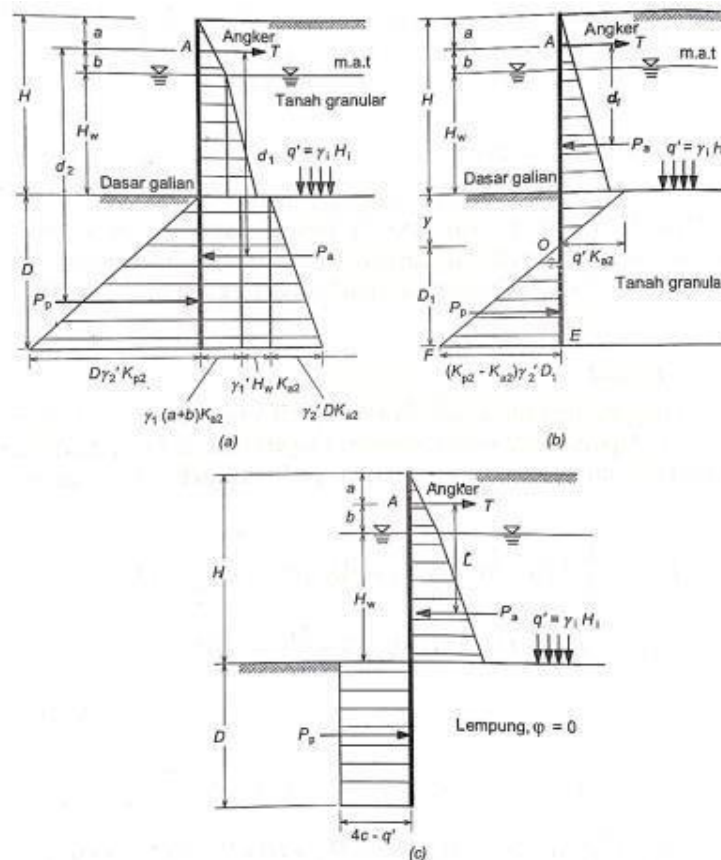
Metode ujung bebas didasarkan atas asumsi bahwa kedalaman *sheet pile*

pada dasar galian tidak cukup untuk menahan tekanan tanah yang terjadi pada bagian atas dinding *sheet pile* (Hardiyatmo, 2018). Disebut ujung bebas dikarenakan adanya anggapan bahwa tanah dibawah galian tidak dapat menahan tekanan tanah yang berada di

atas dinding turap, sehingga keruntuhan terjadi akibat dinding yang berputar terhadap ujung bawahnya. Diagram tekanan tanah yang bekerja pada dinding turap untuk tanah granuler dan tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Tegangan Rankine Menggunakan Lingkaran Mohr



Gambar 3. (a) Turap pada Tanah Granuler Cara 1; (b) Turap pada Tanah Granuler Cara 2; (c) Turap pada Tanah Kohesif (Hardiyatmo, 2018)

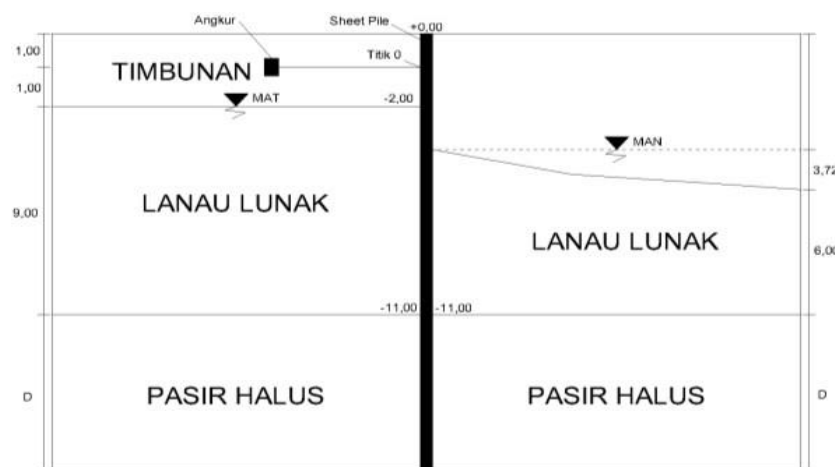
METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, akan dilakukan pengumpulan data berupa primer dan sekunder. Dimana data primer terdiri dari observasi lapangan dan pengukuran tinggi lereng longsor, sedangkan data sekunder terdiri dari data sondir, boring, dan elevasi muka air sungai dondang yang berasal dari PT. Kutai Energi. Langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan analisis numerik untuk mengetahui stabilitas lereng sebelum adanya perkuatan dengan mempertimbangkan kondisi muka air sungai normal dan banjir. Untuk perhitungan koefisien tekanan tanah aktif dan pasif digunakan teori tekanan tanah rankine.

Langkah kedua yaitu melakukan penentuan spesifikasi *sheet pile* dan menghitung kedalaman pemancangan minimum *sheet pile*. Selanjutnya akan dilakukan analisis terhadap stabilitas *sheet pile*. Perhitungan kedalaman dan analisis stabilitas *sheet pile* menggunakan metode ujung bebas (*free*

end method). Software yang digunakan untuk membantu proses analisis adalah SLOPE/W yang merupakan bagian dari GeoStudio 2012 yang digunakan untuk menganalisis faktor keamanan lereng dengan menggunakan kesetimbangan batas dengan konsep kuat geser yang digunakan adalah kriteria Mohr-Coulomb (Geostudio, 2022). Dalam penelitian ini metode kesetimbangan batas yang digunakan adalah metode *morgenstern-price* dengan asumsi kemiringan gaya geser antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan.

Sketsa penampang melintang dan rencana perkuatan *sheet pile* yang akan digunakan pada tebing sungai Dondang di Lokasi Proyek BLC2 PT. Kutai Energi dapat dilihat pada Gambar 4. Adapun data-data tanah hasil pengujian di laboratorium terhadap tanah timbunan dan tanah asli yang dilakukan oleh PT. Bumi Indonesia disajikan dalam Tabel 2.



Gambar 4. Perencanaan *sheet pile* di Lokasi Proyek BLC2 PT. Kutai Energi

Tabel 2. Data Tanah Hasil Pengujian Laboratorium

Parameter Tanah	Satuan	Jenis Lapisan Tanah		
		Tanah Timbunan	Lapisan 1 (Lanau Lunak)	Lapisan 2 (Pasir Halus)
Klasifikasi Tanah (USCS)	-	-	MH	SM
Kadar Air (ω)	%	10.12%	55.96%	40.71%
Liquid Limit (LL)	%	-	51.13%	-
Kohesi (c)	-	0.00	0.181	0.190
Sudut Geser Dalam (ϕ)	$^{\circ}$	25.00 $^{\circ}$	26.57 $^{\circ}$	38.44 $^{\circ}$
Berat Volume (γ)	kN/m ³	17.65	18.01	18.20
Berat Volume Efektif (γ')	kN/m ³	-	8.21	8.40
Permeabilitas (k)	-	-	1×10^{-6}	1×10^{-3}

Dalam melakukan analisis *sheet pile*, dilakukan beberapa model simulasi untuk mengidentifikasi kemungkinan yang akan terjadi pada struktur perkuatan. Model yang digunakan dalam menganalisis *sheet pile* adalah dengan mempertimbangkan

perubahan tinggi muka air dalam keadaan normal dan banjir pada sungai Dondang kecamatan muara jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara. Data yang elevasi muka air sungai diperoleh dari PT. Kutai Energi dan disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Model Simulasi Analisis *Sheet Pile*

Kondisi	Kondisi Muka Air Sungai	Elevasi (m)
1	Tinggi Air Sungai Normal	3.720
2	Tinggi Air Sungai Banjir	4.276

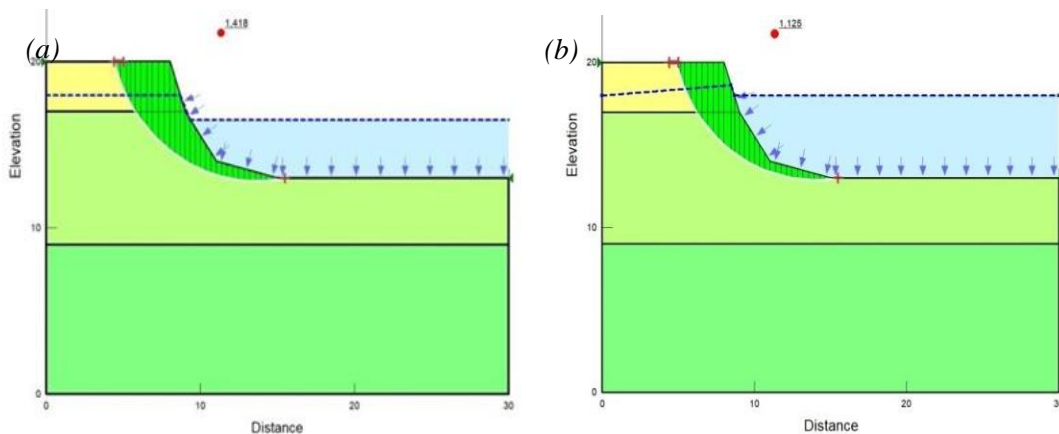
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan (Kondisi Eksisting)

SLOPE/W digunakan dengan mendapatkan hasil akhir faktor keamanan lereng dengan menggunakan metode analisis *morgenstern-price*. Metode ini dapat memperhitungkan adanya pengaruh *momen equilibrium* (gaya tahan) dan *force equilibrium* (gaya dorong) pada lereng berdasarkan asumsi bidang longsoran yang potensial dan membaginya menjadi beberapa irisan (*slices*). Untuk menambahkan muka air digunakan *PWP conditional* berupa *piezometric line*. Adapun hasil dari permodelan dibedakan menjadi 2 kondisi, yaitu kondisi 1 menggunakan

elevasi muka air sungai saat keadaan normal. Sedangkan kondisi 2 menggunakan elevasi muka air sungai saat kondisi banjir.

Gambar 5 menunjukkan hasil analisis pada saat kondisi eksisting dimana tebing sungai belum mendapatkan perkuatan. Gambar 5(a) menunjukkan kondisi 1 (kondisi muka air normal), diketahui bahwa lereng masing dalam keadaan aman/ stabil ($SF > 1.25$) ditunjukkan dengan nilai angka aman sebesar 1.418, sedangkan pada Gambar 5(b) menunjukkan saat kondisi 2 (kondisi muka air banjir) tebing sungai dalam kondisi kritis ($1.07 \leq SF \leq 1.25$) ditunjukkan dengan nilai faktor keamanan sebesar 1.125.



Gambar 5. Hasil pemodelan menggunakan *SLOPE/W*
 (a) Kondisi 1 (muka air normal); (b) kondisi 2 (muka air banjir)

Perkuatan *Sheet Pile* pada Tebing Sungai

Dalam analisis ini digunakan tipe *sheet pile* diangkur dengan metode ujung bebas (*free end method*). Cara ini digunakan dengan menganggap bahwa dinding di bawah galian tidak dapat menahan tekanan tanah di atasnya. Analisis *sheet pile* yang didasarkan

pada tanah granuler menggunakan cara-1 (Gambar 3.a). Struktur *sheet pile* yang digunakan adalah *sheet pile* dengan bahan beton dari Wika Beton, adapun spesifikasi *sheet pile* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4. Perhitungan dengan menggunakan teori rankine diperoleh nilai K_a dan K_p disajikan pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 4. Spesifikasi *Sheet Pile* (Wika Beton, 2017)

Corrugated Concrete Sheet Pile	
Type	W – 400 Class A
Width (mm)	996
Cross Section (cm ²)	1598
Section Inertia (cm ⁴)	248691
Unit Weight (kg/m)	400
Momen Crack (ton.m)	20.10
Length (m)	10 - 18

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai K_a

No.	Lapisan Tanah	Nama	K_a
1	Timbunan	K_{a1}	0.41
2	Lapisan 1	K_{a2}	0.38
3	Lapisan 2	K_{a3}	0.23

Tabel 6. Rekapitulasi Nilai K_p

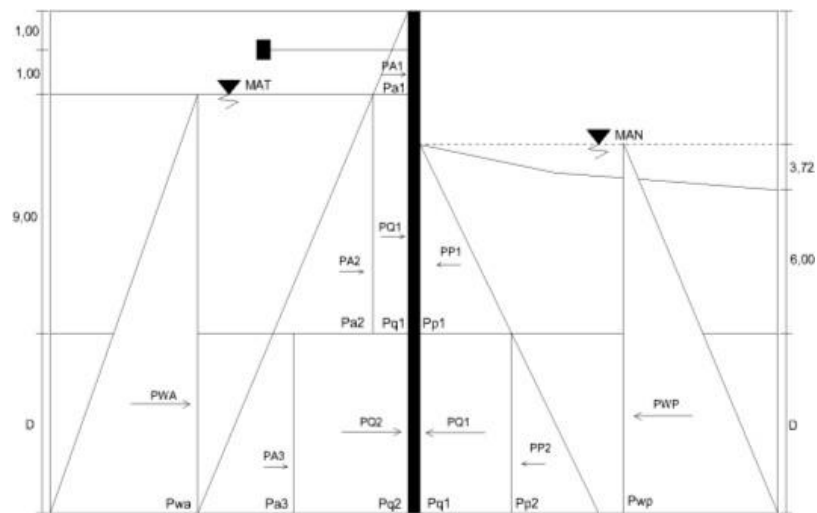
No.	Lapisan Tanah	Nama	K_p	K_p' ($K_p/1.5$)
1	Lapisan 1	K_{p1}	2.62	1.75
2	Lapisan 2	K_{p2}	4.29	2.86

Analisis Sheet Pile Kondisi 1 (Kondisi Muka Air Sungai Normal)

a) *Diagram Tegangan Tanah*

Diagram tegangan tanah digunakan untuk menentukan gaya yang terjadi pada struktur *sheet pile*. Diagram tegangan tanah dibedakan menjadi

tegangan tanah akibat tanah aktif dan tegangan tanah akibat tanah pasif. Tegangan tanah aktif berada di belakang *sheet pile*, sedangkan tegangan tanah pasif berada di depan *sheet pile*.



Gambar 6. Diagram tekanan tanah pada kondisi 1

b) *Perhitungan Gaya*

Dalam menghitung gaya yang terjadi pada struktur *sheet pile*, maka digunakan rumus luasan bidang pada

Gambar 6. Hasil perhitungan dan rekapitulasi gaya akibat tekanan tanah aktif dan pasif pada Tabel 7 dan Tabel 8 berikut ini:

Tabel 7. Hasil Analisis Gaya Aktif

No	Diagram	Analisis Perhitungan (Luasan)	Gaya(kN)
1.	PA1	$0.5 \times 14.32 \times 2$	14.32
2.	PQ1	60.66×9	545.97
3.	PA2	$0.5 \times 28.21 \times 9$	126.98
4.	PQ2	$(158.85 + 1.88D) \times D$	$158.85D + 1.88D^2$
5.	PA3	$0.5 \times 1.93D \times D$	$0.96D^2$
6.	PWA	$0.5 \times 9.80D \times (9 + D)$	$44.1D + 4.9D^2$
		TOTAL	$687.27 + 202.95D + 7.74D^2$

Tabel 8. Hasil Analisis Gaya Pasif

No	Diagram	Analisis Perhitungan (Luasan)	Gaya (kN)
1.	PP1	$0.5 \times 128.98 \times 6$	386.96
2.	PQ1	$35.22D \times D$	$35.22D^2$
3.	PP2	$0.5 \times 36.03D \times D$	$18.01D^2$
4.	PWP	$0.5 \times (58.8 + 9.8D) \times (D+6)$	$176.4+58.8D+4.9D^2$
		TOTAL	$563.36+58.8D+58.13D^2$

c) *Perhitungan Momen*

Momen putar yang terjadi pada struktur *sheet pile* dengan menggunakan angkur terletak pada angkur. Dengan menghitung gaya dikalikan jarak dari titik gaya ke titik putar, maka akan

didapatkan momen yang terjadi pada struktur *sheet pile*. Adapun rekapitulasi momen tekanan pada tekanan tanah aktif dan pasif ditunjukkan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Hasil Analisis Momen Tekanan Aktif

No	Momen
1.	9.55
2.	3002.84
3.	888.86
4.	$1588.5D+98.22D^2+0.94D^3$
5.	$9.6D^2+0.63D^3$
6.	$306.05D+63.1D^2+3.23D^3$
Total	$3901.25+1894.55D+170.92D^2+4.8D^3$

Tabel 10. Hasil Analisis Momen Tekanan Pasif

No	Momen
1.	3095.68
2.	$352.2D^2+17.61D^3$
3.	$180.1D^2+11.88D^3$
4.	$1404.14+584.46D+77.8D^2+3.23D^3$
Total	$4499.82+584.46D+610.1D^2+32.72D^3$

d) *Mencari Kedalaman dan Panjang Sheet Pile*

Untuk mengetahui kedalaman dan panjang *sheet pile*, maka digunakan persamaan momen total seperti yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum M_{total} &= \sum M_{pasif} - \sum M_{aktif} \\ &= 27.92D^3 + 439.18D^2 - 1310.09D + 598.57 \end{aligned}$$

Dalam kondisi seimbang, maka

$$\sum M_{total} = 0$$

$$27.92D^3 + 439.18D^2 - 1310.09D + 598.57 = 0$$

Dengan *trial and error* maka didapatkan,

$$D = 2.05 \text{ m}$$

Panjang total *sheet pile* dengan memperhatikan faktor keamanan yaitu 1.2, Maka nilai panjang *sheet pile* menjadi:

$$\begin{aligned} \text{Total Panjang sheet pile} &= 1.2D + L = \\ &= 1.2(2.05) + 11 = 13.46 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi panjang *sheet pile* yang pakai pada perencanaan *sheet pile* ini adalah sebesar 13.46 m.

e. Gaya Tarik Angkur

Pada penelitian ini, angkur dianggap mampu menahan gaya yang terjadi akibat adanya tekanan aktif maupun tekanan pasif. Gaya yang terjadi pada angkur didapatkan berdasarkan persamaan berikut ini:

$$T = \sum P_p - \sum P_a$$

Dengan memasukkan nilai D maka didapatkan gaya tarik angkur sebesar:

$$T = 1135.83 - 928.19$$

$$T = 207.64 \text{ kN}$$

f. Diameter Tie Rod

Perhitungan *tie rod* digunakan untuk mengetahui berapakah diameter angkur yang dibutuhkan pada *sheet pile*. Adapun perhitungan diameter angkur sebagai berikut:

$$\text{Gaya pada batang angkur (T)} =$$

$$207.64 \text{ kN} = 21.17 \text{ ton}$$

Direncanakan ada 3 angkur pada 1 angkur, sehingga:

$$T = 21.17 \times 3$$

$$T = 63.51 \text{ ton}$$

Gaya pada batang angkur dikalikan dengan Faktor keamanan antara 1.2-1.4. Dengan memakai faktor keamanan sebesar 1.2. Maka:

$$T = 63.51 \times 1.2$$

$$T = 76.21 \text{ ton}$$

Diketahui f_x baja angkur adalah 3700 kg/cm² sehingga digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \phi &= \sqrt{\frac{T \times 1000}{\frac{1}{4} \pi f_x}} \\ \phi &= \sqrt{\frac{76,21 \times 1000}{\frac{1}{4} \pi (3700)}} \\ \phi &= 7,1 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka didapatkan nilai diameter angkur yang digunakan adalah 7.1 cm

g. Momen Maksimum

Momen maksimum didapatkan dengan cara menghitung turunan (diferensial) pada persamaan momen total, sehingga didapatkan nilai momen maksimumnya.

Adapun persamaan momen total adalah:

$$\begin{aligned} Mx &= 27.92D^3 + 439.18D^2 - \\ &1310.09D + 598.57 \end{aligned}$$

$$Mx/Dx = 0$$

$$= 83.76D^2 + 877.36D - 1310.09$$

Dengan menggunakan rumus ABC, maka diperoleh nilai x sebagai berikut:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

dengan $a \neq 0$,

Sehingga diperoleh: $x_1 = 1.8$ (memenuhi), $x_2 = -8.6$ (tidak memenuhi)

Momen maksimum yang diperoleh adalah:

$$\begin{aligned} \sum M_{total} &= 27.92(1.8)^3 + 439.18(1.8)^2 - \\ &1310.09(1.8) + 598.57 \\ &= 173.8 \text{ kNm} \end{aligned}$$

h. Analisis Crack Momen

Setelah didapatkan momen maksimum yang terjadi pada struktur *sheet pile*, selanjutnya dilakukan perbandingan

antara momen maksimum yang terjadi dengan momen yang mampu dipikul oleh profil yang digunakan seperti yang ditampilkan sebagai berikut:

$Crack\ Momen > Momen\ Maksimum$

$21.10\ ton.m > 173.8\ kNm$

$21.10\ ton.m > 19.53\ ton.m$

Berdasarkan analisis di atas, maka dapat diketahui bahwa struktur *sheet pile* dengan menggunakan CCSP W-400 Class A mampu menahan momen maksimum yang terjadi pada *sheet pile*.

Analisis *Sheet Pile* Kondisi 2 (Kondisi Muka Air Sungai Banjir)

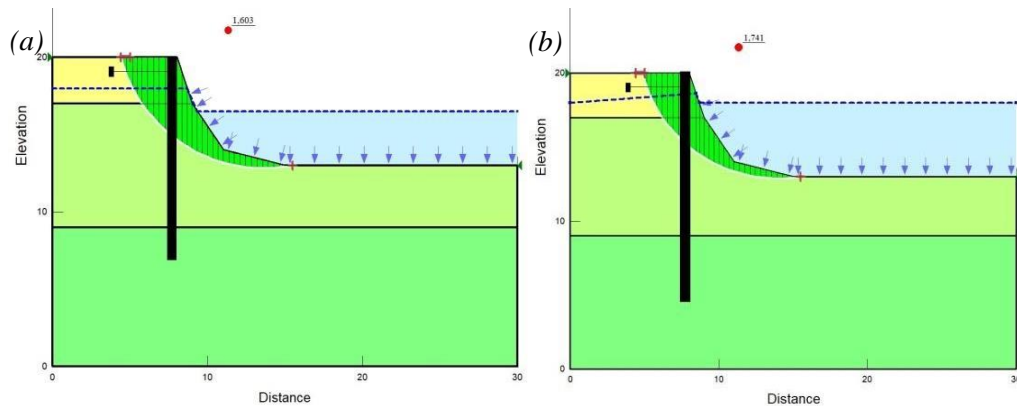
Langkah dan cara yang digunakan pada kondisi 2 sama saja seperti dengan kondisi 1. Perbedaan hanya pada ketinggian muka air sungainya. Sehingga nilai tekanan pasif meningkat. Maka setelah dilakukan perhitungan yang serupa dengan kondisi 1, didapatkan rekapitulasi analisis struktur *sheet pile* pengaruh elevasi air sungai Dondang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Rekapitulasi Analisis Struktur *Sheet Pile*

Total Kedalaman (m)	Elevasi Muka Air (m)	Crack Momen (ton.m)	Crack Ijin (ton.m)	Hasil
13.46	3.720	19.53	21.10	Aman
15.93	4.276	12.80	21.10	Aman

Berdasarkan Tabel 11, Pada penelitian ini dilakukan perencanaan *sheet pile* dengan menggunakan metode ujung bebas (*free and Method*) didapatkan nilai analisis *sheet pile* dengan nilai crack momen sebesar 19.53 ton.m pada saat keadaan 1 (muka air normal) dan kedalaman *sheet pile* sebesar 13.46 m. Sedangkan pada kondisi 2 (muka air sungai saat banjir) didapatkan nilai crack momen sebesar 12.80 ton.m dengan kedalaman *sheet pile* 15.93 m. Kedua kondisi menggunakan spesifikasi *sheet pile* W – 400 Class A dengan nilai crack ijin sebesar 21,10 ton.m.

Hasil dari permodelan lereng sungai dengan adanya perkuatan *sheet pile* dan memperhatikan elevasi muka air sungai normal dan banjir ditunjukkan pada Gambar 7. Gambar 7 menunjukkan bahwa tebing sungai Dondang dengan perkuatan *sheet pile* pada saat kondisi 1 (tinggi muka air normal), lereng berada dalam kondisi stabil dengan angka aman sebesar 1.603 (>1.5). Hal tersebut juga berlaku untuk kondisi 2 (tinggi muka air banjir) dimana lereng berada dalam kondisi stabil dengan angka aman sebesar 1.741 (>1.5).



Gambar 7. Analisis Lereng dengan Perkuatan *Sheet Pile*
(a) Kondisi 1; (b) Kondisi 2

SIMPULAN

Analisis dengan menggunakan program bantu *SLOPE/W* dengan kondisi 1 (muka air normal) untuk eksisting tebing sungai didapatkan angka keamanan tanpa adanya perkuatan sebesar $SF = 1.418$ (lereng aman) sedangkan pada kondisi 2 (muka air banjir) diperoleh $SF = 1.125$ (lereng kritis). Setelah diberikan perkuatan *sheet pile*, angka keamanan lereng meningkat dan tebing sungai dalam keadaan aman ($SF > 1.5$). Adapun besaran angka aman pada kondisi 1 (muka air normal) dan pada kondisi 2 (muka air banjir) berturut-turut adalah 1.603 dan 1.741.

Perkuatan dengan *sheet pile* jenis *Corrugated Concrete Sheet Piles* atau *sheet pile* beton memerlukan panjang total sebesar 13.46 m dengan diameter anker 7.1 cm pada kondisi 1 (muka air sungai normal). Sedangkan untuk kondisi 2 (muka air sungai banjir) diperlukan panjang total *sheet pile* sebesar 15.93 m dengan diameter anker 8.6 cm.

Rekomendasi perkuatan tebing sungai Dondang pada proyek BLC2 PT.

Kutai Energi adalah menggunakan perkuatan *sheet pile* tipe CCSP W-400 Class A dengan panjang total 16 m yang dipancang sedalam (D) 3 m, kemudian menggunakan anker dengan diameter 9 cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini diolah dari penelitian tugas akhir penulis ketika menyelesaikan studi di Institut Teknologi Kalimantan pada Tahun 2022. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua dosen dan rekan-rekan civitas akademika pada Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Kalimantan yang telah memberikan bantuan, bimbingan, saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Agatha, M.N., Adha, I., dan Zakaria, A., 2017, *Perencanaan Sheet Pile dengan menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus : Jalan Padang Tambak – Liwa KM.227+400)*, Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD), Vol. 5 No. 2. E-ISSN: 2715-0690.

- Atibrata, A.L., 2020, *Perencanaan Dinding Penahan Tanah Jenis Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) Pada Pekerjaan Galian Apartemen Bengawan Malang*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Bowles, J.E., 1984, *Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Erlangga, Jakarta.
- Chasanah. U., 2012, *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope*, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- GeoStudio, 2022. *SLOPE/W: Slope Stability Analysis*. <https://www.geoslope.com/products/slope-w> diakses 25 Juni 2022.
- Hardiyatmo, H.C., 2018, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hertiany, I.R., dan Asyifa A., 2017, *Perencanaan Konstruksi Sheet Pile Wall Sebagai Alternatif Pengganti Gravity Wall (Studi Kasus Proyek Sindu Kusuma Edupark, Yogyakarta)*, *Jurnal INERSIA*, Vol. 10 No.1, Mei 2014. <http://dx.doi.org/10.21831/inersia.v10i1.4429>.
- Indrawahjuni, H., 2011, *Mekanika Tanah II*, Penerbit Bargie Media, Malang.
- Nofrizal, N., Silfia, F., 2020. *Analisa Pengendalian Banjir Akibat Peluapan Debit Aliran Dengan Perkuatan Tebing Tipe Sheet Pile “Studi Kasus Sungai Batang Lumbo Kabupaten Pesisir Selatan”*, *Rang Teknik Journal*, Vol. 3 No.2. <https://doi.org/10.31869/rtj.v3i2.1822>.
- Putra., 2014, *Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Sungai Musi (Ruas Sungai: Pulau Kemaro sampai dengan Muara Sungai Komerling)*, *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol.2 No. 3 September 2014, ISSN: 2355-374x.
- Takwin, G.A., Turangan, A.E., Rondonuwu, S.G., 2017, *Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus: Diamond Hill Citraland)*. *Jurnal TEKNO*, Vol. 15 No. 67 April 2017, ISSN: 0215-9617.
- Wika Beton, 2017, *Brochure PC Sheet Piles - Corrugated Concrete Sheet Pile*, <https://produk.wika-beton.co.id/portfolio/corrugated-concrete-sheet-pile/> diakses 25 Juni 2022.