

Analisis Safety Factor dengan Perkuatan Corrugated Concrete Sheet Pile Menggunakan Geolistrik dan Cone Penetration Test (Studi Kasus pada Proyek Perbaikan Lereng Pt. Komatsu Remanufacturing Asia)

Shafira Indah Chairunissa, Totok Sulisty, Lilik Damayanti

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Balikpapan

shafiraindahca@gmail.com

Info Artikel	Abstract
<p>Diajukan: 31 Agustus 2020 Diperbaiki Disetujui</p> <p>Keywords: Landslide, Sheet Pile, Safety Factor, Geoelectric, Cone Penetration Test.</p> <p>Kata kunci: Tanah Longsor, Dinding Turap, Faktor Keamanan, Geolistrik, Sondir</p>	<p><i>One of the cities prone to the dangers of avalanche is Balikpapan City because it has safety factors between 0.52 - 1.94. Avalanches can occur on any kind of slope caused by a greater thruster force than the retaining force, the weight of the soil itself, coupled with the great influence of groundwater fracturing, as well as other forces from outside the slope. One way that avalanches can be avoided is by the building of sheet piles as a retaining wall. The research method used in this final task is a quantitative analysis method. While the method used in the calculation is the trial and error method which is a manual calculation method used for analysis of the stability of sheet piles. The result of the calculation was obtained a recapitulation value of forces that works on the sheet piles of: (1) 718,078 kN/m for active ground pressure and 2,255,727 kN/m for passive ground pressure at a depth of 10 meters. (2) 577,567 kN/m for active ground pressure and 2,087,479 kN/m for passive ground pressure at a depth of 9 meters. (3) 443,932 kN/m for active ground pressure and 1,927,247 kN/m for passive ground pressure at a depth of 8 meters. (4) 414,812 kN/m for active ground pressure and 1,357,445 kN/m for passive ground pressure at a depth of 7 meters. (5) 387,716 kN/m for active ground pressure and 815,209 kN/m for passive ground pressure at a depth of 6 meters. The safety factor value: (1) at a depth of 10 meters is 3,141. (2) At a depth of 9 meters of 3,614. (3) At a depth of 8 meters of 4,341. (4) At a depth of 7 meters of 3,272. (5) At a depth of 6 meters of 2,103. And it gets the required depth value of 10 m which is the same as the depth of the plan.</i></p> <p>Abstrak</p> <p>Salah satu kota yang rawan terhadap bahaya kelongsoran ialah Kota Balikpapan karena mempunyai faktor keamanan antara 0,52 - 1,94. Kelongsoran dapat terjadi pada setiap macam lereng yang disebabkan gaya pendorong yang lebih besar dari gaya penahan, berat tanah sendiri, ditambah dengan pengaruh yang besar dari rembesan air tanah, serta gaya lain dari luar lereng. Salah satu cara agar kelongsoran dapat dihindari ialah dengan dibuatnya dinding turap sebagai dinding penahan tanah. Metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode analisis yang bersifat kuantitatif. Sedangkan metode yang digunakan dalam perhitungan ialah metode <i>trial and error</i> yang merupakan metode perhitungan manual yang digunakan untuk analisa stabilitas dinding turap. Hasil dari perhitungan didapatkan nilai rekapitulasi gaya – gaya yang bekerja pada dinding turap, yaitu: (1) 718,078 kN/m untuk tekanan tanah aktif dan 2.255,727 kN/m untuk tekanan tanah pasif pada kedalaman 10 meter. (2) 577,567 kN/m untuk tekanan tanah aktif dan 2.087,479 kN/m untuk tekanan tanah pasif pada kedalaman 9 meter. (3) 443,932 kN/m untuk tekanan tanah aktif dan 1.927,247 kN/m untuk tekanan tanah pasif pada kedalaman 8 meter. (4) 414,812 kN/m untuk tekanan tanah aktif dan 1.357,445 kN/m untuk tekanan tanah pasif pada kedalaman 7 meter. (5) 387,716 kN/m untuk tekanan tanah aktif dan 815,209 kN/m untuk tekanan tanah pasif pada kedalaman 6 meter. Nilai faktor keamanan yaitu: (1) pada kedalaman 10 meter sebesar 3,141. (2) Pada kedalaman 9 meter sebesar 3,614. (3) Pada kedalaman 8 meter sebesar 4,341. (4) Pada kedalaman 7 meter sebesar 3,272. (5) Pada kedalaman 6 meter sebesar 2,103. Dan didapatkan nilai kedalaman yang dibutuhkan sebesar 10 m yang hasilnya adalah sama dengan kedalaman pemancangan rencana.</p>

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Kota Balikpapan merupakan salah satu wilayah di Kalimantan Timur yang rawan terhadap bahaya kelongsoran. Kurang lebih 85% wilayah Kota Balikpapan terdiri dari daerah perbukitan dan hanya sekitar 15% daerah datar yang

sempit dan terletak di daerah sepanjang pantai, dengan kemiringan lereng berkisar 8% sampai lebih dari 40%. Hasil pengamatan lapangan, pengujian laboratorium dan pemodelan komputer menunjukkan daerah rentan longsor di

Kota Balikpapan mempunyai faktor keamanan antara 0,52 - 1,94^{[6][7]}.

Setiap perencanaan konstruksi harus mempertimbangkan *safety factor* dalam desainnya, termasuk dalam konstruksi tanah. Seperti pada dinding penahan tanah pada lereng dengan menggunakan *sheet pile* dengan panjang 12 m yang sebelumnya telah mengalami kelongsoran tepatnya di lokasi PT. Komatsu Remanufacturing Asia Km.13 sehingga harus dilakukan perhitungan *safety factor* terhadap gaya – gaya yang akan bekerja. Hal tersebut bertujuan agar *landslide* tidak terjadi lagi dan mengakibatkan kerugian.

1.2 Rumusan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan tersebut, adapun rumusan masalah adalah sebagai berikut:

- 1). Berapakah rekapitulasi gaya-gaya yang bekerja pada *sheet pile*?
- 2). Berapakah nilai *safety factor* pada setiap kedalaman?
- 3). Apakah kedalaman pemancangan *sheet pile* telah sesuai dengan perhitungan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini ialah sebagai berikut:

- 1). Mengetahui nilai rekapitulasi gaya-gaya yang bekerja pada *sheet pile*.
- 2). Mengetahui nilai *safety factor* pada setiap kedalaman.
- 3). Mengetahui kedalaman pemancangan sesuai dengan standar perhitungan atau tidak.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan-batasan masalah yaitu sebagai berikut:

- 1). Turap yang digunakan ialah turap beton dengan tipe corrugated sheet pile yang berbentuk seperti huruf W.
- 2). Penelitian ini menggunakan data geolistrik dan data CPT yang sudah jadi.

3). Jenis tanah yang dijadikan sebagai objek penelitian ialah tanah lempung.

4). Variasi kedalaman pemancangan ialah 6 m, 7 m, 8 m, 9 m dan 10 m.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, yaitu sebagai berikut:

- 1). Menambah pengetahuan terkait hubungan atau korelasi data geolistrik dengan data CPT.
- 2). Dapat menerapkan ilmu yang diperoleh kepada masyarakat.
- 3). Dapat digunakan sebagai acuan atau referensi penelitian selanjutnya.

2. Studi Pustaka

2.1 Tanah Longsor

Tanah longsor adalah pergerakan massa tanah dan atau batuan dari tempat asal ke tempat yang lebih rendah, disebabkan oleh proses gangguan keseimbangan lereng. Pembentukan tanah longsor terjadi pada lereng tanah / batuan yang mempunyai hambat geser lebih kecil dari berat massa tanah / batuan. Kelongsoran dapat terjadi pada setiap macam lereng, akibat berat tanah sendiri, ditambah dengan pengaruh yang besar dari rembesan air tanah, serta gaya lain dari luar lereng^[5].

2.1.1 Penyebab Tanah Longsor

Faktor-faktor penyebab tanah longsor^[8] ialah:

- Kondisi morfologi,
- Kondisi geologi,
- Kondisi klimatologi,
- Aktivitas manusia,

2.1.2 Dampak Tanah Longsor

a). Dampak Negatif

- Dapat mengancam keselamatan dan korban jiwa.

- Dapat menghancurkan infrastruktur dan kerugian material.
- Perekonomian daerah yang mengalami bencana tanah longsor mengalami kerugian.

b). Dampak Positif

- Mampu meningkatkan kesadaran masyarakat pentingnya menjaga alam.
- Meningkatkan kepedulian antar masyarakat.
- Dapat meningkatkan kewaspadaan bagi masyarakat.
- Wilayah yang mengalami tanah longsor dapat dijadikan tempat penelitian oleh ahli-ahli geologi.

2.2 Sheet Pile

Sheet pile merupakan dinding turap vertikal relatif tipis yang berfungsi untuk menahan tanah, juga berfungsi untuk menahan masuknya air kedalam lubang galian. Dinding turap ini banyak digunakan pada pekerjaan-pekerjaan seperti: penahan tebing galian sementara, bangunan-bangunan di pelabuhan, dinding penahan tanah, bendungan elak dan lain-lain. Sheet pile banyak digunakan dikarenakan pemasangan yang mudah dan biaya pelaksanaan yang relatif murah^[3].

2.2.1 Jenis – Jenis *Sheet Pile*

1. Dinding Turap Kayu

Dinding turap kayu biasanya digunakan pada bangunan yang tidak permanen, seperti bangunan perancah untuk penggalian pondasi dan sebagainya.

2. Dinding Turap Beton

Dinding turap beton biasanya digunakan pada bangunan permanen atau pada detail-detail konstruksi yang agak sulit. Terdapat 2 tipe dinding turap beton atau *sheet pile* berdasarkan bentuknya, yaitu:

a). *Flat Sheet Pile*

Dinding turap yang berbentuk balok – balok. Biasanya diaplikasikan pada proyek dermaga, bantaran sungai, dan konstruksi dinding penahan tanah.

b). *Corrugated Sheet Pile*

Dinding turap yang berbentuk seperti huruf W. Tipe ini biasa digunakan pada proyek penggalian dan lereng.

Terdapat 4 tipe dinding turap beton atau *sheet pile* berdasarkan metode pemancangannya^[4] yaitu:

- a). *Sheet Pile* Kantilever.
- b). *Sheet Pile* Diangker.
- c). *Sheet Pile* dengan Landasan/Panggung yang Didukung Tiang – Tiang.
- d). *Sheet Pile* Bendungan Elak Seluler.

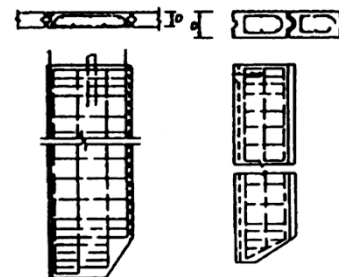
3. Dinding Turap Baja

Dinding turap baja biasanya digunakan pada bangunan permanen. Beberapa variasi konstruksi baja ialah:

- a). Variasi di daerah Eropa seperti: *Laarsen, Krupp, De Wendell DPF*
- b). Variasi di daerah Amerika seperti: *DP Type, ZP Type*

2.3 Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)

Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) atau turap beton merupakan balok – balok beton yang telah dicetak sebelum dipasang dengan bentuk tertentu. Balok – balok turap dibuat saling mengkait satu sama lain.



Gambar 1. Penampang Turap Beton
(Sumber: Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015)

2.3.1 Kelebihan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*

1. Kemudahan pelaksanaan
2. Biaya
3. Tahan terhadap korosif.
4. Dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama.

5. Dapat diaplikasikan di tanah yang mudah dan tidak berbatu.
6. Waktu pekerjaan yang digunakan relatif singkat karena mudah untuk dikerjakan.
7. Cukup fleksibel karena dapat digunakan pada konstruksi besar ataupun kecil.

2.3.2 Gaya – Gaya yang Bekerja pada *Sheet Pile* Kantilever

Pada sebuah konstruksi turap beton, gaya – gaya yang bekerja dapat digolongkan menjadi dua, yaitu :

1. Tekanan tanah aktif (*active earth pressure*)

Tekanan tanah aktif adalah gaya yang cenderung mengurangi keseimbangan dinding penahan tanah. Tekanan tanah aktif berfungsi untuk mendorong *sheet pile* menjauh dari tanah timbunannya (*backfill*). Nilai tekanan tanah aktif lebih kecil dari nilai tekanan saat diam.

2. Tekanan tanah pasif (*passive earth pressure*).

Tekanan pasif di depan dan di belakang dinding turap (*sheet pile*) berfungsi untuk menahan pergerakan. Nilai tekanan tanah pasif lebih besar dari nilai koefisien tekanan tanah saat diam dan koefisien tekanan tanah aktif ($K_p > K_0 > K_a$).

Untuk memperhitungkan tekanan lateral tanah, kondisi yang cocok untuk dinding turap dengan jenis tanah berpasir kohesif adalah kondisi Rankine seperti pada persamaan berikut.

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (1)$$

$$K_p = \frac{1}{K_a} \quad (2)$$

dengan K_a = koefisien tekanan tanah aktif, ϕ = sudut geser dalam ($^\circ$), K_p = tekanan tanah pasif

Tekanan aktif dan tekanan pasif merupakan luasan dari diagram tekanan tanah yang terjadi dikalikan dengan koefisien tekanan tanahnya seperti pada persamaan berikut.

$$P_a = \gamma \cdot H^2 \cdot K_a \quad (3)$$

$$P_p = \gamma \cdot H^2 \cdot K_p \quad (4)$$

Dengan P_a = tekanan tanah aktif, P_p = tekanan tanah pasif, H = kedalaman titik yang ditinjau dari permukaan tanah (m), γ = Berat isi tanah (g/cm^3)

2.4 *Safety Factor* (Angka Keamanan)

Menganalisa stabilitas lereng adalah dengan menentukan angka keamanan. Umumnya, angka keamanan didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan. Dimana digunakan rumus pada persamaan berikut.

$$SF = \frac{\sum P_p}{\sum P_a} \quad (6)$$

dengan $\sum P_p$ = total tekanan tanah pasif, $\sum P_a$ = total tekanan tanah aktif. Jika $SF = 1$, maka lereng dalam keadaan akan longsor. Rentang *safety factor* ditinjau dari intensitas kelongsorannya menurut Bowles (1984) dibagi menjadi 3, yaitu nilai $SF < 1,07$ berarti lereng sering terjadi longsor, nilai $SF < 1,25$ berarti lereng pernah terjadi longsor (lereng kritis) dan nilai $SF > 1,25$ berarti lereng relatif stabil. Nilai *safety factor* sebesar 1,25 inilah yang dapat dijadikan batas keamanan untuk stabilitas lereng.

2.5 Metode Geolistrik

Metode geolistrik adalah salah satu metode yang digunakan untuk menyelidiki tanah, geolistrik merupakan ilmu yang mempelajari struktur bawah permukaan tanah dengan menggunakan sifat-sifat listrik batuan, formasi batuan atau bagian dari suatu batuan di dalam permukaan bumi.

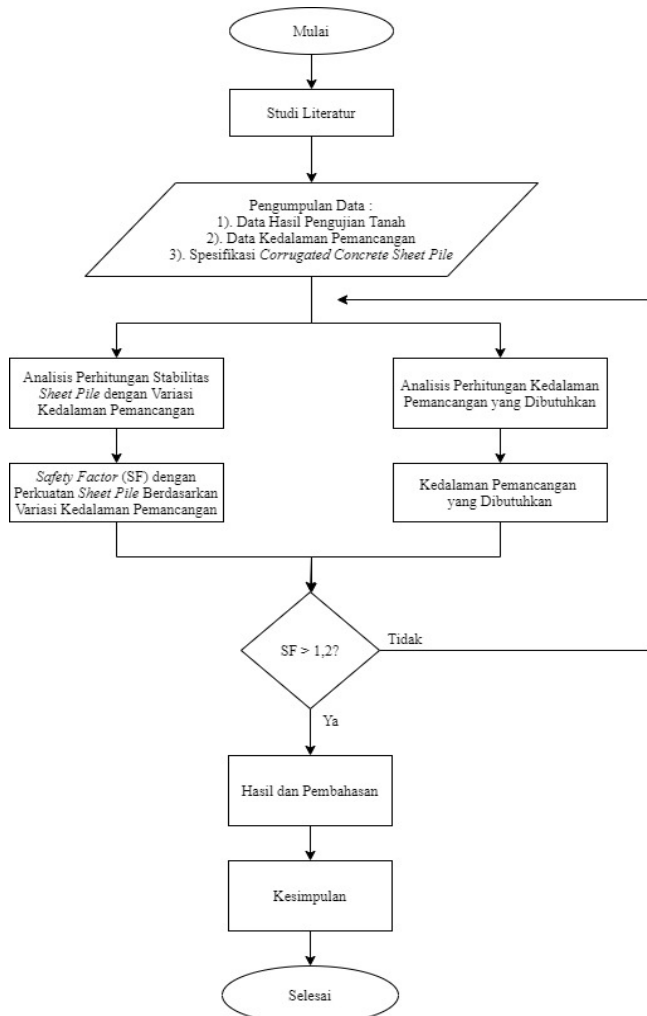
2.6 *Cone Penetration Test* (CPT)

Cone Penetration Test atau uji sondir (uji penetrasi kerucut statis) banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini merupakan suatu pengujian yang digunakan untuk menghitung kapasitas dukung tanah. Nilai-nilai tahanan kerucut statis atau hambatan konus (q_c) yang diperoleh dari pengujian dapat langsung dikorelasikan dengan kapasitas dukung tanah^[2].

3. Metodologi Penelitian

3.1 Flow Chart

Berikut merupakan bagan alir pengerjaan penelitian dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2. Flow Chart

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian ini berada di Jalan Pulau Balang No. 99 RT. 36, Kelurahan Karang Joang, Kecamatan Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. Tepatnya terletak pada kawasan kantor PT. Komatsu Remanufacturing Asia



Gambar 3. Lokasi Penelitian

Waktu penelitian ini dilakukan sejak bulan Maret - Agustus 2020. Semua pekerjaan termasuk penyusunan tugas akhir bertempat di Kampus Politeknik Negeri Balikpapan.

Tabel 1. Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Waktu Penelitian																			
		Maret			April			Mei			Juni			Juli			Agustus				
1	Studi Literatur	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2	Pengumpulan Data																				
3	Penyusunan Proposal Tugas Akhir																				
4	Seminar Proposal Tugas Akhir																				
5	Pengolahan Data																				
6	Penyusunan Tugas Akhir																				
7	Sidang Tugas Akhir																				

3.4 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, rancangan penelitian yang digunakan adalah metode analisis yang bersifat kuantitatif.

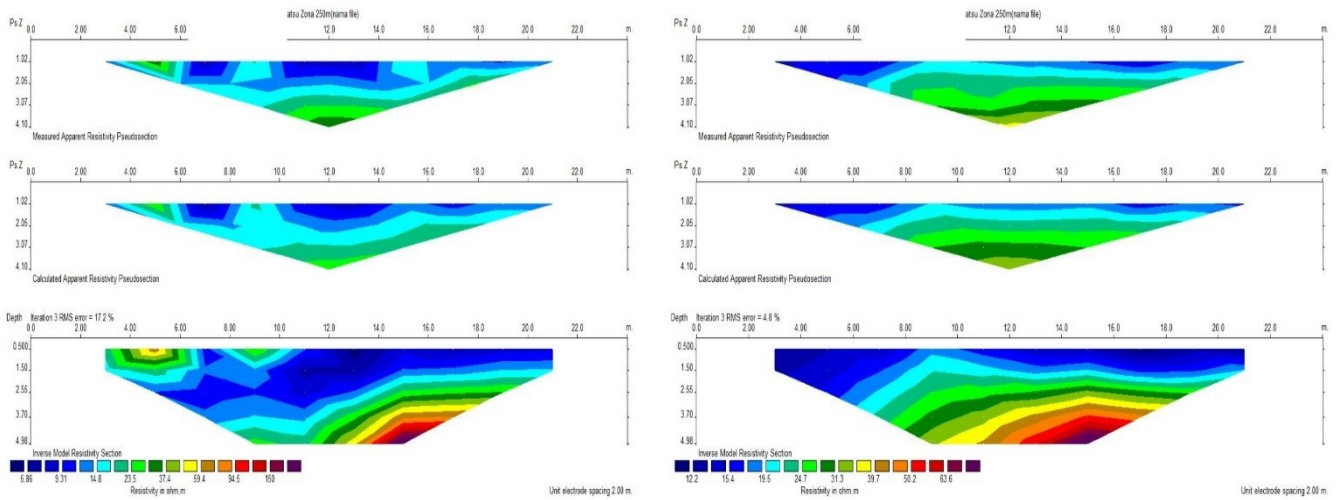
4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil inversi akan didapatkan gambar penampang distribusi resistivitas bawah permukaan pada masing – masing lintasan yang diteliti. Gambar penampang resistivitas dan data hasil pengujian tanah dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Tanah

Jenis Tanah	γ_d (kN / m ³)	C (kPa)	Φ (°)
Lempung Sangat Lunak	16.369	8	1.5
Lempung Teguh	17.224	10.5	2.2
Lempung Kenyal	17.270	40	35
Lempung Keras	22	360	45

(sumber: PT. Rayy Empat Pilar)



Gambar 4. Lintasan 1 dan Lintasan 2

Perhitungan tekanan akibat slab beton (P_q) dengan ketebalan 15 cm dan panjang 3 m dengan menggunakan tinggi total *sheet pile* yang digunakan pada tiap kedalaman pemancangan (h) yaitu sebagai berikut.

Tabel 3. Perhitungan Tekanan Akibat Slab Beton

Kedalaman (meter)	Total Tinggi Sheet Pile (meter)	h_1 (meter)	h_2 (meter)	h_3 (meter)	q (kN/m)	K_{a1}	K_{a2}	K_{a3}	P_q (kN/m)
10	12	7	3	2	3,6	0,949	0,271	0,926	33,5088
9	11	7	3	1	3,6	0,949	0,271	0,926	30,1752
8	10	7	3	0	3,6	0,949	0,271	0	26,8416
7	9	7	2	0	3,6	0,949	0,271	0	25,866
6	8	7	1	0	3,6	0,949	0,271	0	24,8904

Tabel 4. Perhitungan Tekanan Tanah Aktif (Pa)

Kedalaman	Jenis Tanah	Bidang	h (meter)	K_a	γ_d (kN/m ³)	γ_{air} (kN/m ³)	P_a (kN/m)
10	Lempung Sangat Lunak	1	4	0,949	16,369	-	124,271
	Lempung Sangat Lunak	2	3	0,949	16,369	9,8	186,407
	Lempung Sangat Lunak	3	3	0,949	16,369	9,8	28,052
	Lempung Kenyal	4	3	0,271	17,270	9,8	69,251
	Lempung Kenyal	5	3	0,271	17,270	9,8	9,109
	Lempung Teguh	6	2	0,926	17,224	9,8	253,728
	Lempung Teguh	7	2	0,926	17,224	9,8	13,750
Total							684,569
9	Lempung Sangat Lunak	1	4	0,949	16,369	-	124,271
	Lempung Sangat Lunak	2	3	0,949	16,369	9,8	186,407
	Lempung Sangat Lunak	3	3	0,949	16,369	9,8	28,052

	Lempung Kenyal	4	3	0,271	17,270	9,8	69,251
	Lempung Kenyal	5	3	0,271	17,270	9,8	9,109
	Lempung Teguh	6	1	0,926	17,224	9,8	126,864
	Lempung Teguh	7	1	0,926	17,224	9,8	3,438
	Total						
8	Lempung Sangat Lunak	1	4	0,949	16,369	-	124,271
	Lempung Sangat Lunak	2	3	0,949	16,369	9,8	186,407
	Lempung Sangat Lunak	3	3	0,949	16,369	9,8	28,052
	Lempung Kenyal	4	3	0,271	17,27	9,8	69,251
	Lempung Kenyal	5	3	0,271	17,27	9,8	9,109
	Total						
7	Lempung Sangat Lunak	1	4	0,949	16,369	-	124,271
	Lempung Sangat Lunak	2	3	0,949	16,369	9,8	186,407
	Lempung Sangat Lunak	3	3	0,949	16,369	9,8	28,052
	Lempung Kenyal	4	2	0,271	17,27	9,8	46,167
	Lempung Kenyal	5	2	0,271	17,27	9,8	4,049
	Total						
6	Lempung Sangat Lunak	1	4	0,949	16,369	-	124,271
	Lempung Sangat Lunak	2	3	0,949	16,369	9,8	186,407
	Lempung Sangat Lunak	3	3	0,949	16,369	9,8	28,052
	Lempung Kenyal	4	1	0,271	17,27	9,8	23,084
	Lempung Kenyal	5	1	0,271	17,27	9,8	1,012
	Total						

Tabel 5. Perhitungan Tekanan Tanah Pasif

Kedalaman	Jenis Tanah	Bidang	h (meter)	Kp	γ_d (kN/m ³)	γ_{air} (kN/m ³)	Pp (kN/m)
10	Lempung Sangat Lunak	1	2	1,054	16,369	-	34,498
	Lempung Sangat Lunak	2	3	1,054	16,369	9,8	103,494
	Lempung Sangat Lunak	3	3	1,054	16,369	9,8	31,150
	Lempung Kenyal	4	3	3,690	17,270	9,8	580,593
	Lempung Kenyal	5	3	3,690	17,270	9,8	124,045
	Lempung Teguh	6	2	1,080	17,224	9,8	225,158
	Lempung Teguh	7	2	1,080	17,224	9,8	16,033
	Total						
9	Lempung Sangat Lunak	1	2	1,054	16,369	-	34,498
	Lempung Sangat Lunak	2	3	1,054	16,369	9,8	103,494
	Lempung Sangat Lunak	3	3	1,054	16,369	9,8	31,150
	Lempung Kenyal	4	3	3,690	17,270	9,8	580,593
	Lempung Kenyal	5	3	3,690	17,270	9,8	124,045

	Lempung Teguh	6	1	1,080	17,224	9,8	112,579
	Lempung Teguh	7	1	1,080	17,224	9,8	4,008
	Total						
8	Lempung Sangat Lunak	1	2	1,054	16,369	-	34,498
	Lempung Sangat Lunak	2	3	1,054	16,369	9,8	103,494
	Lempung Sangat Lunak	3	3	1,054	16,369	9,8	31,150
	Lempung Kenyal	4	3	3,690	17,270	9,8	580,593
	Lempung Kenyal	5	3	3,690	17,270	9,8	124,045
	Total						
7	Lempung Sangat Lunak	1	2	1,054	16,369	-	34,498
	Lempung Sangat Lunak	2	3	1,054	16,369	9,8	103,494
	Lempung Sangat Lunak	3	3	1,054	16,369	9,8	31,150
	Lempung Kenyal	4	2	3,690	17,270	9,8	387,062
	Lempung Kenyal	5	2	3,690	17,270	9,8	55,131
	Total						
6	Lempung Sangat Lunak	1	2	1,054	16,369	-	34,498
	Lempung Sangat Lunak	2	3	1,054	16,369	9,8	103,494
	Lempung Sangat Lunak	3	3	1,054	16,369	9,8	31,150
	Lempung Kenyal	4	1	3,690	17,270	9,8	193,531
	Lempung Kenyal	5	1	3,690	17,270	9,8	13,783
	Total						

Tabel 6. Perhitungan Tekanan Tanah Pasif Akibat Kohesif

Kedalaman	Jenis Tanah	Bidang	h (meter)	Kp	\sqrt{Kp}	c (kPa)	Pp kohesif (kN/m)
10	Lempung Sangat Lunak	1	2	1,054	1,027	8	32,849
	Lempung Sangat Lunak	2	3	1,054	1,027	8	49,273
	Lempung Sangat Lunak	3	3	1,054	1,027	8	49,273
	Lempung Kenyal	4	3	3,690	1,921	40	461,036
	Lempung Kenyal	5	3	3,690	1,921	40	461,036
	Lempung Teguh	6	2	1,080	1,039	10,5	43,644
	Lempung Teguh	7	2	1,080	1,039	10,5	43,644
	Total						
9	Lempung Sangat Lunak	1	2	1,054	1,027	8	32,849
	Lempung Sangat Lunak	2	3	1,054	1,027	8	49,273
	Lempung Sangat Lunak	3	3	1,054	1,027	8	49,273
	Lempung Kenyal	4	3	3,690	1,921	40	461,036
	Lempung Kenyal	5	3	3,690	1,921	40	461,036
	Lempung Teguh	6	1	1,080	1,039	10,5	21,822
	Lempung Teguh	7	1	1,080	1,039	10,5	21,822

		Total					1.097,112
8	Lempung Sangat Lunak	1	2	1,054	1,027	8	32,849
	Lempung Sangat Lunak	2	3	1,054	1,027	8	49,273
	Lempung Sangat Lunak	3	3	1,054	1,027	8	49,273
	Lempung Kenyal	4	3	3,690	1,921	40	461,036
	Lempung Kenyal	5	3	3,690	1,921	40	461,036
	Total					1.053,467	
7	Lempung Sangat Lunak	1	2	1,054	1,027	8	32,849
	Lempung Sangat Lunak	2	3	1,054	1,027	8	49,273
	Lempung Sangat Lunak	3	3	1,054	1,027	8	49,273
	Lempung Kenyal	4	2	3,690	1,921	40	307,357
	Lempung Kenyal	5	2	3,690	1,921	40	307,357
	Total					746,110	
6	Lempung Sangat Lunak	1	2	1,054	1,027	8	32,849
	Lempung Sangat Lunak	2	3	1,054	1,027	8	49,273
	Lempung Sangat Lunak	3	3	1,054	1,027	8	49,273
	Lempung Kenyal	4	1	3,690	1,921	40	153,679
	Lempung Kenyal	5	1	3,690	1,921	40	153,679
	Total					438,753	

Tabel 7. Rekapitulasi Gaya – Gaya Sheet Pile

Kedalaman (m)	$\sum Pa + Pq$ (kN/m)	$\sum Pp + \sum Pp$ kohesif (kN/m)
10	718,078	2.255,727
9	577,567	2.087,479
8	443,932	1.927,247
7	414,812	1.357,445
6	387,716	815,209

Tabel 8. Analisa Stabilitas

Kedalaman	Safety Factor		Safety Factor (Izin)	Keterangan
10	3,141	\geq	1,25	Aman
9	3,614	\geq	1,25	Aman
8	4,341	\geq	1,25	Aman
7	3,272	\geq	1,25	Aman
6	2,103	\geq	1,25	Aman

Tabel 9. Tekanan Tanah Aktif

Bidang	Tanah Aktif	Pa (kN/m)
1	$\frac{1}{2} \cdot 4^2 \cdot 0,949 \cdot 16,369$	124,271
2	$4 \cdot (d/3) \cdot 0,949 \cdot 16,369$	20,712 d
3	$\frac{1}{2} \cdot (d/3)^2 \cdot 0,949 \cdot (16,369-9,8)$	0,346 d ²
4	$(d/3) \cdot 0,271 \cdot ((16,369-9,8) \cdot (d/3) + (16,369 \cdot 4))$	0,197 d ² + 5,893 d
5	$\frac{1}{2} \cdot (d/3)^2 \cdot 0,271 \cdot (17,270 - 9,8)$	0,112 d ²
6	$(d/3) \cdot 0,926 \cdot (((17,270 - 9,8) \cdot (d/3) + (17,270 \cdot (4 + d/3))))$	2,548 d ² + 21,345 d
7	$\frac{1}{2} \cdot (d/3)^2 \cdot 0,926 \cdot (17,224 - 9,8)$	0,382 d ²

Tabel 10. Momen Tekanan Tanah Aktif

Bidang	Pa (kN/m)	Lengan	Momen per meter
1	124,271	d + 4 / 3	124,271 d + 165,695
2	20,712 d	5 d / 6	17,260 d ²
3	0,346 d ²	7 d / 9	0,269 d ³
4	0,197 d ² + 5,893 d	3 d / 6	0,099 d ³ + 2,947 d ²
5	0,112 d ²	4 d / 9	0,050 d ³
6	2,548 d ² + 21,345 d	d / 6	0,425 d ³ + 3,558 d ²
7	0,382 d ²	d / 9	0,042 d ³
ΣM			124,271 d + 23,765 d ² + 0,885 d ³ + 165,695

Tabel 11. Tekanan Tanah Pasif

Bidang	Tanah Pasif	Pp (kN/m)
1	$\frac{1}{2} \cdot 2^2 \cdot 1,054 \cdot 16,369$	34,506
2	$2 \cdot (d/3) \cdot 1,054 \cdot 16,369$	11,502 d
3	$\frac{1}{2} \cdot (d/3)^2 \cdot 1,054 \cdot (16,369 - 9,8)$	0,385 d ²
4	$(d/3) \cdot 3,690 \cdot (((16,369 - 9,8) \cdot d/3) + (16,369 \cdot 2))$	2,693 d ² + 40,268 d
5	$\frac{1}{2} \cdot (d/3)^2 \cdot 3,690 \cdot (17,270 - 9,8)$	1,531 d ²
6	$(d/3) \cdot 1,054 \cdot (((17,270 - 9,8) \cdot d/3) + (17,270 (d + 2)))$	6,936 d ² + 12,124 d
7	$\frac{1}{2} \cdot (d/3)^2 \cdot 1,080 \cdot (17,224 - 9,8)$	0,445 d ²

Tabel 12. Momen Tekanan Tanah Pasif

Bidang	Pp (kN/m)	Lengan	Momen per meter
1	34,506	d + 2 / 3	34,506 d + 23,004
2	11,502 d	5 d / 6	9,585 d ²
3	0,385 d ²	7 d / 9	0,299 d ³

4	$2,693 d^2 + 40,268 d$	$3 d / 6$	$1,347 d^3 + 20,134 d^2$
5	$1,531 d^2$	$4 d / 9$	$0,680 d^3$
6	$6,936 d^2 + 12,124 d$	$d / 6$	$0,531 d^3 + 1,979 d^2$
7	$0,445 d^2$	$d / 9$	$0,049 d^3$
ΣM			$34,506 d + 27,74 d^2 + 2,906 d^3 + 23,004$

Dengan menyamakan jumlah aljabar momen terhadap O dengan nol, akan dihasilkan persamaan berikut:

$$\Sigma M = 0$$

$$\Sigma M_{aktif} + \Sigma M_{pasif} = 0$$

$$\begin{aligned}
 &124,271 d + 23,765 d^2 + 0,885 d^3 + 165,695 = 0 \\
 &- 34,506 d - 27,74 d^2 - 2,906 d^3 - 23,004 = 0 \\
 \hline
 &89,765 d - 3,975 d^2 - 2,021 d^3 + 142,691 = 0 \\
 &142,691 - 2,021 d^3 - 3,975 d^2 + 89,765 d = 0 \\
 &- 2,021 d^3 - 3,975 d^2 + 89,765 d = - 142,691 \\
 &2,021 d^3 + 3,975 d^2 - 89,765 d = 142,691
 \end{aligned}$$

Berdasarkan penyelesaian dengan cara *trial and error*, maka diperoleh nilai $d = 6,514643418$ m

Kemudian kedalaman pemancangan yang dibutuhkan dikalikan dengan faktor aman sebesar 1,2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 d_{total} &= (6,514643418 \cdot 1,25) + 2 \\
 &= 8,143304273 + 2 \\
 &= 10,14330427 \approx 10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan kedalaman pemancangan *sheet pile* yang dibutuhkan yaitu sebesar 10 m.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil dan pembahasan dari perhitungan *safety factor* mengenai kedalaman pemancangan *sheet pile* tersebut, ialah:

1. Rekapitulasi gaya – gaya yang bekerja pada *sheet pile* sebesar: Kedalaman 10 meter tekanan tanah aktif (Pa) sebesar 718,078 kN/m dan tekanan tanah pasif (Pp) sebesar 2.255,727 kN/m. Kedalaman 9 meter tekanan tanah aktif (Pa) sebesar 577,567 kN/m dan tekanan tanah pasif (Pp) sebesar 2.087,479 kN/m. Kedalaman 8 meter tekanan

tanah aktif (Pa) sebesar 443,932 kN/m dan tekanan tanah pasif (Pp) sebesar 1.927,247 kN/m. Kedalaman 7 meter tekanan tanah aktif (Pa) sebesar 414,812 kN/m dan tekanan tanah pasif (Pp) sebesar 1.357,445 kN/m. Kedalaman 6 meter tekanan tanah aktif (Pa) sebesar 387,716 kN/m dan tekanan tanah pasif (Pp) sebesar 815,209 kN/m.

2. Semua kedalaman pemancangan masuk kategori aman terhadap geser dengan nilai *safety factor* pada kedalaman 10 meter sebesar 3,141. Pada kedalaman 9 meter sebesar 3,614. Pada kedalaman 8 meter sebesar 4,341. Pada kedalaman 7 meter sebesar 3,272. Pada kedalaman 6 meter sebesar 2,103.

Berdasarkan perhitungan kedalaman pemancangan *sheet pile* yang dibutuhkan, didapatkan nilai d (kedalaman yang dibutuhkan) sebesar 10 m yang hasilnya adalah sama dengan kedalaman pemancangan rencana. Maka kedalaman pemancangan rencana telah sesuai dengan perhitungan.

Daftar Pustaka

- [1] Bowles, J. E. 1984. “*Physical and Geotechnical Properties of Soil.*” McGraw-Hill. New York-USA
- [2] Hardiyatmo, H. C. 2002. “*Mekanika Tanah I.*” Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [3] Hardiyatmo, H. C. 2015. “*Analisis dan Perancangan Fondasi II.*” Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- [4] Respati, N. S. 1995. “*Pondasi.*” Bandung: Penerbit Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik.
- [5] Rajagukguk, O. C. P., Turangan, A. E., Monintja, S. 2014. “*Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland Sta. 1000 m).*” Jurnal Sipil Statik Volume 2 No.3

- [6] T. Sulistyو, 2012. “*Study On Slope Stability In Vulnerable Landslide Area For Evaluation Of General City Spatial Arrangement Plan In South Balikpapan.*” JIP (Jurnal Ilmiah Politeknik), Volume 4 No. 1
- [7] T. Sulistyو, C. Anwar, 2015. “*Analisis Penyebab Kelongsoran Retaining Wall Workshop PT. MHB KM. 13 Balikpapan.*” JTT (Jurnal Teknologi Terpadu), Volume 3 No. 1
- [8] Darsoatmodjo dan Soedrajat dalam Danil, Ahmad. 2008. “*Identifikasi Kejadian Longsor dan Penentuan Faktor-Faktor Utama Penyebabnya di Kecamatan Babakan Madang Kabupaten Bogor*”. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.