



Analisis Kestabilan Turap PVC (*Polyvinyl Chloride*) Sebagai Alternatif Konstruksi Pengendali Banjir Pada Sungai Pulisan Di Desa Pulisan Kecamatan Likupang Timur

Mikhael O. Rogaga^{#a}, Roski R. I. Legrans^{#b}, Lanny D. K. Manaroinsong^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^amikhaelrogaga25@gmail.com, ^blegransroski@unsrat.ac.id, ^clanny.manaroinsong@unsrat.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas turap dari material PVC (*Polyvinyl Chloride*) sebagai alternatif konstruksi pengendali banjir pada Sungai Pulisan di Desa Pulisan. Analisis ini meliputi analisis terhadap kestabilan guling, kapasitas penampang, deformasi, kestabilan lereng dan kestabilan pada dasar galian. Beban yang bekerja pada turap adalah akibat tekanan tanah lateral aktif dan pasif, tekanan hidrostatik dan beban konstruksi permukiman di sisi sungai yang dianalogikan sebagai beban permukaan merata. Data yang digunakan dalam analisis adalah data sekunder berupa data hasil penyelidikan tanah CPT/sondir yang dikorelasikan untuk mendapatkan parameter-parameter tanah yang digunakan dalam analisis dan penampang melintang Sungai Pulisan yang melintas di area permukiman Desa Pulisan. Analisis kestabilan mengacu pada kode SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik. Perangkat lunak Finesoftware GEO5 dan Rocscience SLIDE digunakan untuk membantu proses analisis. Hasil analisis menunjukkan bahwa untuk desain optimum menggunakan PVC tipe VPA VNZ-324 menghasilkan panjang turap teoritis sebesar 3.68 m, dengan momen lentur maksimum 5.98 kN.m/m yang menghasilkan defleksi sebesar 6.5 mm. Faktor keamanan lereng minimum yang dihasilkan adalah 5.53 (statis) dan 1.87 (gempa). Faktor keamanan pada kestabilan terhadap *piping* adalah 3.86 dan terhadap *heave* adalah 7.37. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa turap PVC tipe VPA VNZ-324 dapat digunakan sebagai konstruksi pengendali banjir pada Sungai Pulisan.

Kata kunci: turap PVC (Polyvinyl Chloride), kestabilan, Sungai Pulisan

1. Pendahuluan

Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) adalah kebijakan strategis Pemerintah sebagai pengembangan pusat pertumbuhan ekonomi, pemerataan ekonomi nasional mendukung industrialisasi, dan memperbesar penyerapan tenaga kerja di Indonesia. Kawasan dengan fasilitas dan kemudahan yang *ultimate* dihadirkan bagi investor dalam dan luar negeri. Pantai Pulisan yang terletak di Kecamatan Likupang Timur, Kab. Minahasa Utara, memiliki keunggulan geostrategis yang menjadikan tempat ini sebagai Kawasan Ekonomi Khusus di sektor pariwisata dengan tema resor (*resort*) dan wisata budaya (*cultural tourism*). Dasar Hukum KEK Likupang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 84 Tahun 2019 tentang Kawasan Ekonomi Khusus Likupang. Sebagai lokasi yang termasuk dalam Kawasan Ekonomi Khusus (KEK), infrastruktur desa Pulisan harus diperhatikan. Hal ini diperlukan untuk menunjang setiap akses baik bagi masyarakat setempat, wisatawan dan investor. Desa Pulisan memiliki aliran Sungai Pulisan yang mengalir melewati pemukiman masyarakat. Dengan Kondisi ini potensi daerah rawan banjir sangat mungkin terjadi. Berdasarkan data dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I (BWSS I) terdapat kenaikan muka air dengan ketinggian 1,8 m dari keadaan normal aliran sungai. Pengelolaan infrastruktur yang baik di sepanjang aliran sungai sangat dibutuhkan, termasuk konstruksi pengendali banjir. Konstruksi pengendali banjir dapat berupa dinding penahan,

embedded wall, *soil nailing*, dinding MSE dan ankur tanah. Untuk kondisi Desa Pulisan, tipe konstruksi pengendali banjir yang dapat digunakan adalah konstruksi turap (*sheet pile*) dengan material PVC (*Polyvinyl Chloride*). Penggunaan material PVC (*Polyvinyl Chloride*) merupakan alternatif yang efektif untuk tiang pancang material baja, *bulkheads*, *seawalls*, dan *cutoff walls* material ini juga lebih unggul dari bahan lain seperti beton dan kayu. Keuntungan utama dari PVC adalah ketahanan korosi terutama saat terkena air.

2. Tahapan Analisis

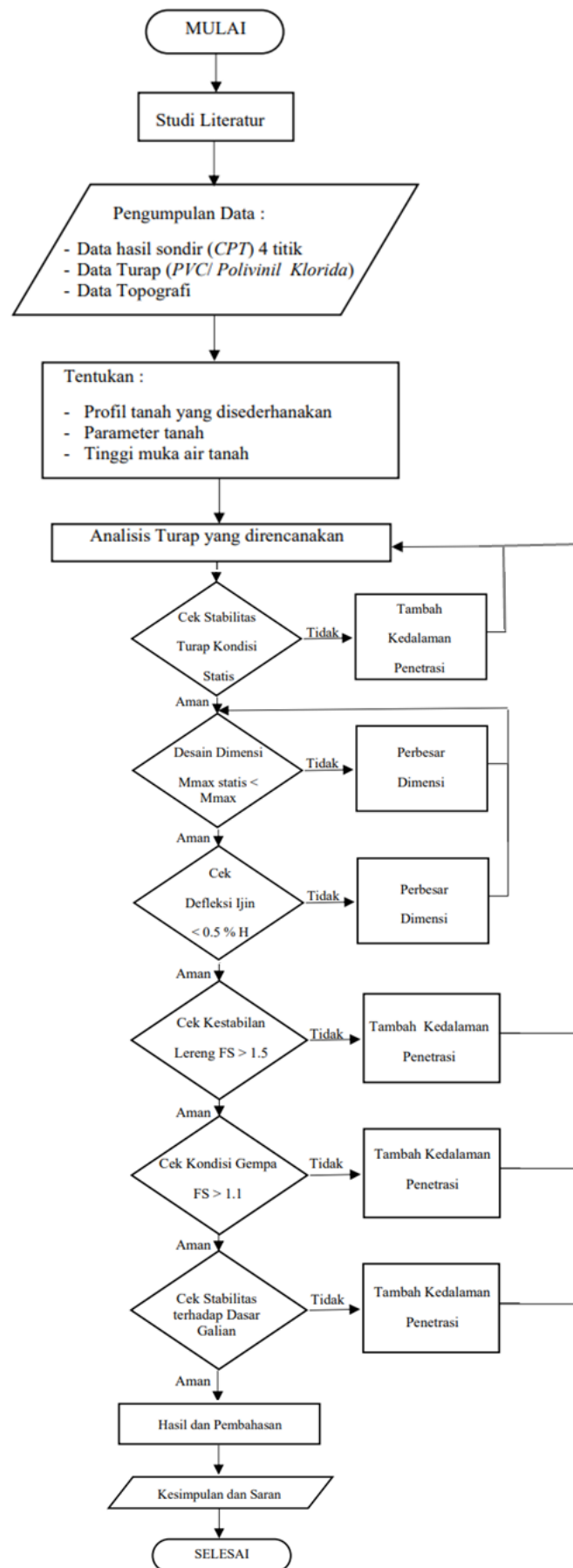
Analisis diawali dengan pengumpulan data, dimana data tersebut adalah data sekunder berupa data hasil uji CPT (*Cone Penetration Test*), data topografi berupa gambar potongan Sungai Pulisan yang melintas area permukiman penduduk Desa Pulisan dan data hidrolika berupa tinggi elevasi tertinggi dan terendah muka air sungai. Untuk mendapatkan parameter tanah yang akan digunakan dalam analisis, digunakan korelasi hasil uji CPT terhadap parameter tanah yang dibutuhkan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Desa Pulisan
(Sumber: Google Earth)



Gambar 2. Kondisi Titik Tinjauan secara berurutan yakni PL 10, PL 11, PL 12
(Sumber: Google Earth)



Gambar 2. Tahap Analisis

Berikut ini adalah urutan analisis kestabilan turap PVC (*Polyvinyl Chloride*) sebagai alternatif konstruksi pengendali banjir pada Sungai Pulisan di Desa Pulisan, Kecamatan Likupang Timur:

- **Tahap 1:** Menghitung tekanan tanah lateral aktif dan pasif menggunakan metode *Rankine* (1857).
- **Tahap 2:** Menghitung kedalaman tertanam turap dan faktor keamanan terhadap guling.
- **Tahap 3:** Menganalisis defleksi yang dihasilkan berdasarkan kedalaman tertanam turap yang direncanakan pada Tahap 2. Analisis defleksi menggunakan perangkat lunak Finesoftware GEO5 modul Sheeting Check.
- **Tahap 4:** Menghitung faktor keamanan lereng minimum dengan Metode *Bishop Simplified* (1955). Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Finesoftware GEO5 modul Slope Stability.
- **Tahap 5:** Menghitung tekanan tanah lateral aktif dan pasif pada kondisi gempa menggunakan Metode *Mononobe-Okabe* (1929).
- **Tahap 6:** Menghitung faktor keamanan terhadap guling pada kondisi gempa berdasarkan kedalaman tertanam yang telah ditetapkan.
- **Tahap 7:** Menghitung nilai faktor keamanan dasar galian terhadap *piping* dan *heaving*. Perangkat lunak Rocscience SLIDE digunakan untuk menggambarkan *flow net* yang akan digunakan dalam analisis kestabilan terhadap *piping* dan *heaving*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Korelasi Hasil Uji CPT terhadap Parameter Tanah

Korelasi terhadap hasil uji CPT/sondir bertujuan untuk mendapatkan parameter tanah yang dibutuhkan pada analisis yakni berat isi tanah, kuat geser tanah, koefisien permeabilitas tanah dan *Soil Behavior Type* dari lapisan tanah. Hasil korelasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Tanah untuk Analisis Berdasarkan Hasil Korelasi terhadap Hasil Uji CPT

<i>Soil Behavior Type</i>	γ (kN/m ³)	ϕ (deg)	c' (kPa)
Silt Mixture: Clayey Silt and Silty Clay	18.76	36.7	13.3

3.2 Kedalaman Turap Tertanam

Perhitungan tekanan tanah lateral aktif dan pasif menggunakan metode Rankine. Perhitungan gaya dan momen aktif dan pasif dengan menggunakan metode FMM. Dengan *Gross Pressure Method* diperoleh panjang turap tertanam melalui cara coba-coba untuk menyelesaikan persamaan kubik. Tabel 2 sd. Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan kedalaman turap tertanam pada titik tinjauan PL 10.

Persamaan kubik untuk menghitung kedalaman turap tertanam pada titik tinjauan PL 10 adalah $2.96 d^3 = 1.87 + 3.91d + 2.69d^2 + 0.38 d^3$. Pada Tabel 2 diperoleh $d_{\text{trial}} = 1.99$, maka $d = 1.2 \cdot d_{\text{trial}} = 1.2 \cdot (1.99) = 2.38$ m. Sehingga panjang turap yang dibutuhkan adalah: $L = H + d = 1.3 + 2.38 = 3.68$ meter. Selanjutnya dilakukan kontrol terhadap guling yang menghasilkan $FK = 1.74$ ($> FK_{\min} = 1.5$).

Untuk mendapatkan momen maksimum, dilakukan diferensiasi terhadap persamaan momen sehingga $(\frac{d}{dx} \Sigma M_{\max}) = 3.91 + 5.38 \cdot x = 7.75x^2$. x diperoleh dengan cara coba-coba (Tabel 4). Berdasarkan nilai x , dihitung momen maksimum sehingga diperoleh $M_{\max} = 5.98$ kN/m.

Tabel 2. Perhitungan do

do trial	Mp/Fp	Ma
1	3.0	8.8
1.2	5.1	11.1
1.3	6.5	12.3
1.40	8.1	13.6
1.50	10.0	15.1
1.60	12.1	16.5
1.70	14.5	18.1
1.80	17.3	19.8
1.90	20.3	21.6
1.95	22.0	22.5
1.99	23.3	23.3

Tabel 3. Kontrol terhadap Guling.

Momen Guling		Momen Penahan	
Eq1	2.48		-
Pa1	8.70		-
Eq2	1.79		-
Pa2	13.48	Pp1	80.05
Pa3	5.07		
Pwa	33.73	Pwp	33.73
$\Sigma Ma =$	65.25	$\Sigma Mp =$	113.78

Tabel 4. Perhitungan x

Xtrial	3.91	+	5.38	x	7.7582	X ²
0.5		7				1.9
0.6		7.1				2.8
0.7		7.7				3.8
0.8		8.2				5.0
0.9		8.8				6.3
1		9.3				7.8
1.1		9.8				9.4

Tabel 5. Hasil Perhitungan

Keterangan	Manual
<i>Safety Factor</i>	1,74
Kedalaman tertanam (d)	1,99 m
Panjang turap (L)	3,68 m
Mmax	5,98 kN.m/m

3.3 Profil Turap PVC (Polyvinyl Chloride)

Material turap yang digunakan adalah PVC (*Polyvinyl chloride*) tipe VPA Infra ESTACAS PRANCHA DE PVC VANIL. Pemilihan profil turap adalah berdasarkan kapasitas momen dari profil tersebut. Selain itu, profil yang dipilih harus memiliki kekakuan yang cukup sehingga defleksi pada turap tidak melebihi defleksi yang diizinkan. Gambar 2 berisi spesifikasi profil turap PVC yang akan digunakan dalam analisis.

3.4 Defleksi

SNI 8460:2017 menjelaskan bahwa toleransi ijin defleksi jika lingkungan sekitar tidak mensyaratkan defleksi maksimum yang lebih ketat adalah 0,5% H (H = tinggi galian). Dengan mengacu pada syarat tersebut maka untuk nilai δ ijin adalah $= 0.5\% (1.3) = 0.0065 \text{ m} = 6.5 \text{ mm}$.

Analisis defleksi dengan bantuan perangkat lunak Finesoftware GEO5 terhadap profil-profil yang ada dalam Gambar 2 menunjukkan bahwa profil **VPA - VNZ 324** menghasilkan defleksi maksimum sebesar 5.8 mm (<6.5 mm) sehingga profil ini dapat digunakan.

MODELO	FORMATO	LARGURA(L)	ALTURA(A)	ESPESSURA(e)	MÓDULO DE RESISTÊNCIA (cm ² /m)	MOMENTO DE INÉRCIA (cm ⁴ /m)	MOMENTO ADMISSÍVEL (kN-m/m)	MOMENTO MÁXIMO (kN-m/m)
VPA VNZ-26	Z	270 mm	150 mm	3,5 mm	332	2.632	5,60	11,20
VPA VNU-53	U	610 mm	178 mm	6,4 mm	559	5.326	13,17	26,34
VPA VNU-127	U	610 mm	229 mm	8,9 mm	1.034	12.773	23,72	47,44
VPA VNZ-227	Z	457 mm	254 mm	11,18 mm	1.717	22.709	39,02	77,92
VPA VNZ-324	Z	457 mm	305 mm	11,7 mm	2.132	32.486	45,22	90,43
VPA VNZ-472	Z	457 mm	305 mm	18,1 mm	3.102	47.236	67,37	134,74

Gambar 2. Katalog Turap PVC (*Polyvinyl Chloride*)
(Sumber : *Eustaquio@ypainfra.com.br*)

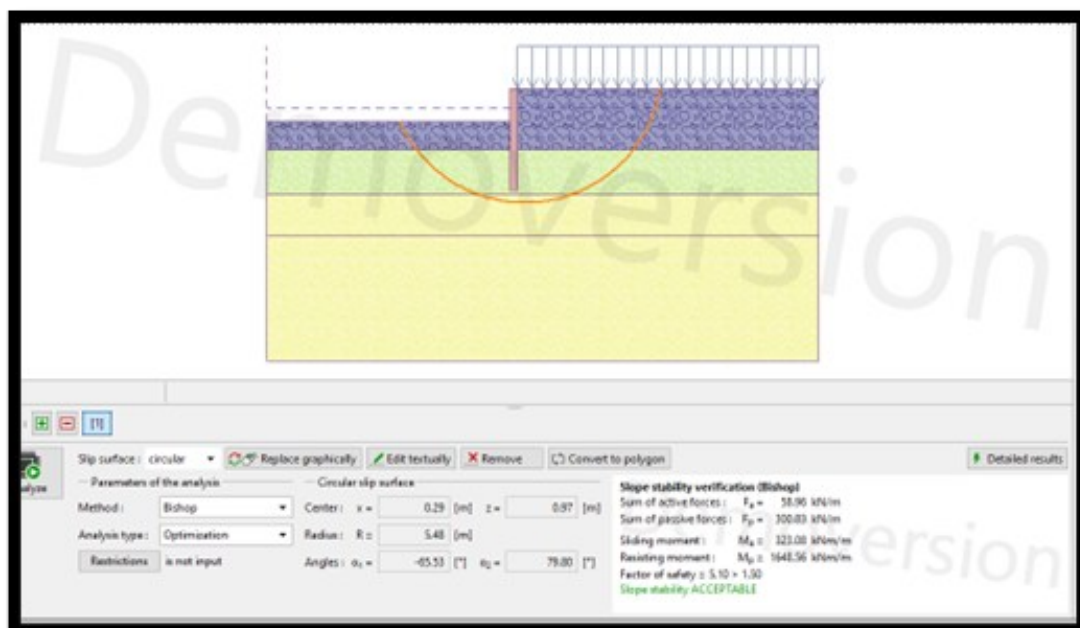
Tabel 6. Hasil Perhitungan Defleksi pada Profil PVC

PL 10 Dengan Kedalaman L = 4								
Profil	Thickness	Mmax(s) < Mmax ©		δmax < δijin		Kestabilan lereng		Kontrol
	(mm)	kN/m		(mm)				
VPA VNZ - 26	3.5	5.98	11.2	32	6.5	4.79	1.5	Tidak Memenuhi
VPA VNZ -127	4.9	5.98	26.34	18.4	6.5	5.14	1.5	Tidak Memenuhi
VPA VNZ - 53	6.4	5.98	47.44	10.1	6.5	4.60	1.5	Tidak Memenuhi
VPA VNZ -227	11.18	5.98	77.92	7.1	6.5	4.76	1.5	Tidak Memenuhi
VPA VNZ -324	11.7	5.98	90.43	5.8	6.5	4.82	1.5	Memenuhi
VPA VNZ -472	18.1	5.98	134.74	4.8	6.5	5.10	1.5	Memenuhi

(Sumber: Hasil Analisis)

3.5 Kestabilan Lereng

Perhitungan faktor keamanan lereng menggunakan metode Bishop Simplified dengan bantuan perangkat lunak Finesoftware GEO5. Hasil analisis menunjukkan bahwa $FK_{min} = 5.53$.



Gambar 3. Hasil Analisis Kestabilan Lereng

3.6 Kestabilan Guling pada Kondisi Gempa

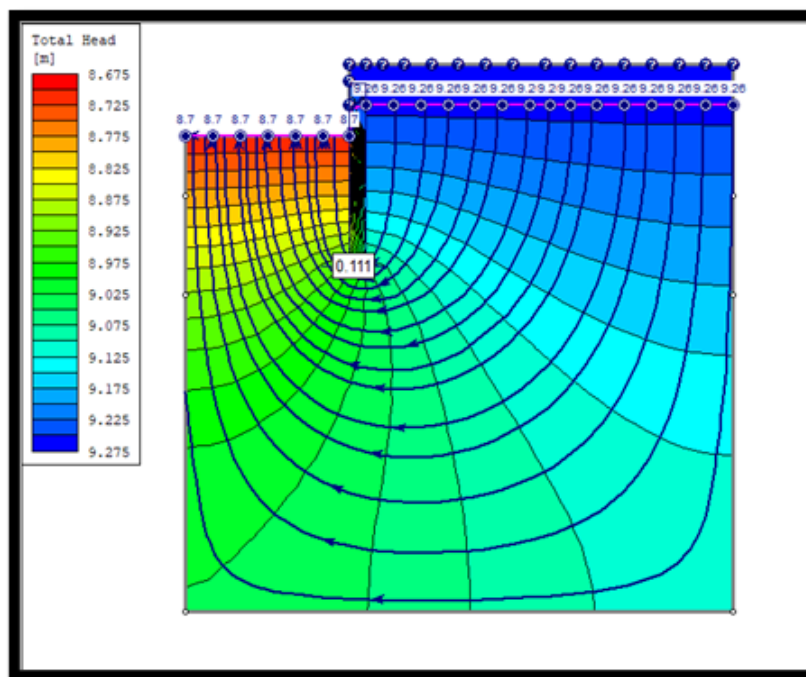
Nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) pada lokasi konstruksi adalah 0.4649. Nilai ini akan digunakan untuk menghitung k_h dan k_v dalam analisis kestabilan pada kondisi dinamis. Perhitungan koefisien tekanan tanah aktif dan pasif menggunakan metode Mononobe-Okabe. Perhitungan turap pada kondisi dinamis adalah untuk memenuhi kondisi: $\frac{Mr}{Mo} > 1.1$. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Dinamis

Kontrol Dinamis				
Mr =	247.38	=	1.87	> 1
Mo =	132.27			
Status: Stabil				

3.7 Kestabilan pada Dasar Galian

Kestabilan terhadap dasar galian adalah kestabilan terhadap *piping* dan *heaving*. Analisis ini memerlukan parameter *hydraulic conductivity* (k). Nilai k diperoleh dari korelasi terhadap hasil uji CPT/sondir. Selanjutnya adalah menggambarkan *flow net* dengan bantuan perangkat lunak RocScience SLIDE. Hasil analisis kestabilan dasar galian bersama kestabilan lereng dan kestabilan guling pada kondisi gempa dirangkum dalam Tabel 8.



Gambar 4. Flow Net dengan Perangkat Lunak Rocscience SLIDE
(Sumber: Hasil Analisis)

Tabel 8. Rangkuman Hasil Analisis Kestabilan Lereng, Guling pada Kondisi Gempa dan Dasar Galian
(Sumber : Hasil Analisis)

Titik Tinjauan	Fk Kestabilan Lereng		FK Dinamis		Piping		Heaving	
	FK > 1.5		FK > 1.1		Harza > 1.25		Harr > 1.25	
PL 10	5,53	Aman	1,87	Aman	3,86	Aman	10,32	Aman
PL 11	5,53	Aman	1,44	Aman	2,53	Aman	5,82	Aman
PL 12	6,11	Aman	1,33	Aman	15,22	Aman	6,08	Aman

4. Kesimpulan

Hasil analisis memberikan kesimpulan yakni turap PVC dapat digunakan sebagai alternatif konstruksi pengendali banjir Sungai Pulisan di Desa Pulisan. Profil PVC yang digunakan adalah VPA VNZ – 324 dengan panjang turap yang dibutuhkan adalah 3,68 m \approx 4 m. Profil ini dapat menahan momen maksimum yang timbul sebesar 5.98 kN.m/m dan memiliki kekakuan yang menghasilkan defleksi maksimum sebesar 5.8 mm, lebih kecil dari defleksi maksimum yang diizinkan. Dengan panjang tertanam sebesar 2.38 m, konstruksi turap memenuhi kestabilan lereng pada kondisi statis (>1.5) dan gempa (>1.1) serta kestabilan guling pada kondisi gempa (>1.1). Panjang tertanam tersebut memenuhi kestabilan dasar galian yakni kestabilan terhadap *piping* (>1.25) dan *heaving* (>1.25).

Referensi

- Anonymous.2024. *CPT Data Interpretation Theory Manual*. RocScienceInc.
- Bowles, J. E. 1997. *Foundation Analysis And Design* Fifth Edition. McGraw-Hill Book Co.Singapore.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
- Department Of The Army (1995). *Engineering and design. Design of Coastal Revetments, Seawaalls, and Bulkheads*. JAMES D. CARIG .USA.
- Department of Materials Science and Engineering (2005). *Design and Analysis of a PVC Seawaall System for Waterfront Protection*. Uday K. Vaidya, Adolf A. Villalobos and Juan C.Serrano- Perez.
- ESC (2024) . *ESC VINYL SHEET PILES CATALOG*. USA
- Estaca Prancha De PVC Vanil- VPA Catalog. Minas Gerais. BRAZIL.
- Harr, M. E. 1962. *Groundwater and Seepage*. McGraw-Hill. New York.
- Harza, L. F. 1935. *Uplift and Seepage Under Dams on Sand*. ASCE. No. 100, pp. 1352-1406.
- Kawasan Ekonomi Khusus. <https://kek.go.id/id/investment/distribution/kek-likupang> Diakses Pada 06 September 2024.
- Kawasan Ekonomi Khusus. <https://kek.go.id/id/media/press/kek-likupang-siap-hadirkan-sustainable-tourism-dengan-kekayaan-alam-dan-budaya-minahasa-utara> Diakses Pada 06 September 2024.
- Legrans, R. 2011. *Analisa Turap Kantilever Pada Tanah pasr Mengandung Belerang*. TEKNO, Vol. 9 , Is. 55, pp. 8-13.
- Pietrucha Establishe 1960. *Aplikasi Vinyl Sheet Pile Sebagai Alternatif Tanggul Pengendalian Banjir*. POLAND.
- SNI 8460 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Robertson, P. K dan Cabal, K. L. 2010. *Guide to Cone Penetration Testing for Geo Environmental Engineering*. Gregg Drilling & Testing, Inc. California.