



Konstruksi *Tieback* Sebagai Upaya Pencegahan Deformasi Pada Struktur Tanggul Pengaman Pantai di Jakarta

Muhammad Danny Achdan*, Aries Susanty, M. Arief Budiharjo

Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*Corresponding author: achdandannym@gmail.com

(Received: November 7, 2023; Accepted: December 12, 2023)

Abstract

Tieback Construction as an Effort to Prevent Deformation in Coastal Safety Embankment Structures in Jakarta. The development of coastal protection in Jakarta or NCICD (National Capital Integrated Coastal Development) is a National Strategic Project (Projek Strategis Nasional) which aims to protect against tidal flooding that increases as a result of land subsidence and the rising of sea levels. The results of the soil investigation show that locations that have a layer of mud can cause deformation of the spun pile structure. In this case an additional construction is planned, specifically tieback construction which functions as a counterweight in an effort to prevent slope (deformation). The tieback structure is planned to have 3 main structures which include the steel pipe structure as the foundation pile, the pilecap structure to unite the steel pipes while being the main load of the counterweight itself, and the steel beam structure as a binder between the tieback and the embankment structure. The plans that have been analyzed include the work of steel pipe foundation structures, counterweight pilecap structures and steel beam structures. The results of the analysis show that the tieback structure can prevent deformation of the Jakarta beach embankment structure analytically.

Keywords: the coast protection, tieback, counterweight

Abstrak

Pembangunan pengaman pantai di Jakarta atau NCICD (*National Capital Integrated Coastal Development*) merupakan Proyek Strategis Nasional (PSN) yang bertujuan sebagai upaya perlindungan terhadap banjir rob yang meningkat akibat dari penurunan muka air tanah (*land subsidence*) dan kenaikan muka air laut. Dari hasil penyelidikan tanah menunjukkan bahwa terdapat lokasi yang memiliki lapisan lumpur yang dapat mengakibatkan kemiringan (deformasi) terhadap struktur *spun pile*. Dalam hal ini direncanakan konstruksi tambahan yaitu konstruksi *tieback* yang berfungsi sebagai *counterweight* dalam upaya pencegahan terjadinya kemiringan (deformasi). Struktur *tieback* direncanakan memiliki 3 struktur utama yaitu struktur *steel pipe* sebagai tiang pondasi, struktur *pilecap* untuk menyatukan *steel pipe* dan sebagai beban utama *counterweight* itu sendiri dan struktur balok baja sebagai pengikat antara *tieback* dengan struktur tanggul. Perencanaan yang telah dianalisis meliputi pekerjaan struktur pondasi *steel pipe*, struktur *counterweight pilecap* dan struktur balok baja. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur *tieback* dapat mencegah terjadinya deformasi pada struktur tanggul pengaman pantai Jakarta secara analitis.

Kata kunci: *tanggul pengaman pantai, konstruksi tieback, counterweight*

How to Cite This Article: Achdan, M. D., Susanty, A., Budiharjo, M. A. (2023). Konstruksi *Tieback* Sebagai Upaya Pencegahan Deformasi Pada Struktur Tanggul Pengaman Pantai di Jakarta. *JPII*, 1(8), 362-368. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2023.23910>

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir Ibukota Jakarta merupakan wilayah yang sangat rawan banjir selama musim hujan. Jakarta terletak di dataran rendah dengan ketinggian tidak lebih dari 25 meter di atas permukaan air laut. Namun sebagian dari dataran di utara Jakarta berada di bawah permukaan air laut. Hal ini terjadi akibat dampak dari laju penurunan tanah mencapai 20 cm yang diakibatkan banyaknya kegiatan abrasi air tanah dan tekanan dari gedung-gedung tinggi.

Dalam mengatasi hal tersebut, dilakukan studi kelayakan untuk membangun tanggul di Teluk Jakarta. Proyek ini lebih dikenal sebagai *National Capital Integrated Coastal Development (NCICD) master plan* atau *Giant Sea Wall* Jakarta. Proyek ini juga memiliki fungsi menghidupkan kembali pantai dan yang paling penting membuka visi jangka panjang untuk Jakarta, dirancang oleh arsitektur firma *Kuiper Compagnons* dari Rotterdam yang melakukan kolaborasi dengan Indonesia dan konsorsium dari perusahaan-perusahaan Belanda (*Witteveen+Bosa* dan *Grontmij*), membentuk *National Capital Integrated Coastal Development* dan semua yang terlibat dalam pembuatan perencanaan dan perancangan yang dimulai sejak tahun 2008. Hal ini dimaksudkan sebagai upaya perlindungan terhadap ancaman banjir *rob* sebagai akibat dari *land subsidence* dan kenaikan muka air laut melalui perkuatan dan peninggian tanggul laut dan tanggul muara sungai serta penataan kawasan pesisir pantai utara Jakarta dan sekitarnya.

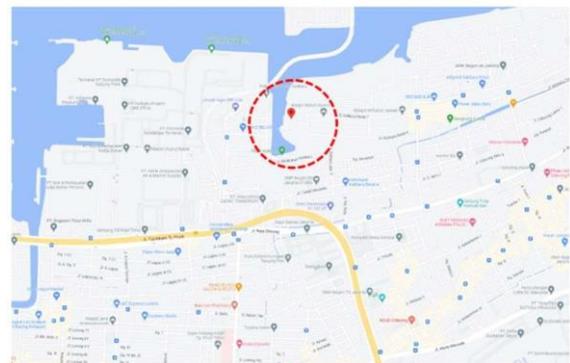
Namun selama pelaksanaan pembangunan, ditemukan kondisi yang dikhawatirkan menyebabkan struktur dari tanggul pengaman pantai mengalami kemiringan dan mengakibatkan keruntuhan. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah menunjukkan bahwa terdapat lapisan lumpur sehingga mengakibatkan perlemahan pada struktur tanggul pengaman pantai pada lokasi-lokasi tertentu. Selain itu juga desain timbunan sirtu yang tinggi menambah gaya lateral pada struktur tanggul pengaman pantai.

Upaya pencegahan kemiringan tanggul pengaman pantai didesain salah satunya dengan perkuatan struktur tambahan yaitu *tieback*. Struktur *tieback* ini direncanakan sebagai *counterweight* yang bekerja untuk menahan beban lateral yang menyebabkan terjadinya kemiringan. Dengan adanya *tieback* tersebut diharapkan stabilitas pada struktur tanggul pengaman pantai tetap aman dan tidak terjadi kemiringan yang mengakibatkan keruntuhan.

METODE PENELITIAN

Tempat Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Kelurahan Kalibaru, Kecamatan Cilincing, Kota Jakarta Utara, Provinsi DKI Jakarta pada saat pelaksanaan Proyek Pembangunan Pengaman Pantai di Jakarta Tahap 4 Paket 1 oleh Kementerian PUPR Dirjen SDA – Direktorat Sungai dan Pantai – SNVT PTPIN dengan Konsultan Supervisi PT Inakko Internasional Konsulindo, KSO Indra Karya dan Penyedia Jasa Konstruksi PT Adhi Karya Persero Tbk.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi 2. Yaitu data primer penelitian yang diperoleh dari pengukuran dan investigasi di lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari data-data yang sudah tersaji.

Adapun data primer tersebut antara lain:

1. Data pengamatan visual di lapangan
 2. Data titik ukur dan koordinat dari alat *total station*
- Sedangkan data sekunder antara lain:
3. Data *Borlog*
 4. *As Built Drawing*

Metode Pelaksanaan Penelitian

Secara umum metode pelaksanaan penelitian ini terbagi menjadi 2, yaitu:

1. Studi Literatur

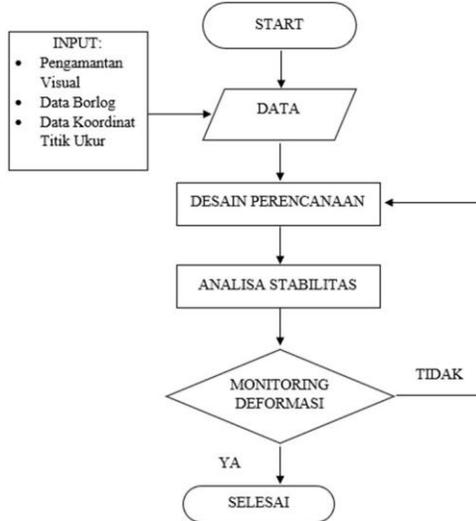
Studi ini dilakukan untuk mendapatkan teori-teori, studi terdahulu, serta berbagai literatur yang mendukung penelitian. Studi kepustakaan dilakukan dengan membaca, meneliti dan memahami segala informasi baik tulisan ataupun gambar.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan informasi data yang akan menyediakan data pengukuran

aktual deformasi dari struktur tanggul pengaman pantai dari hasil marking total station

Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan alir penelitian

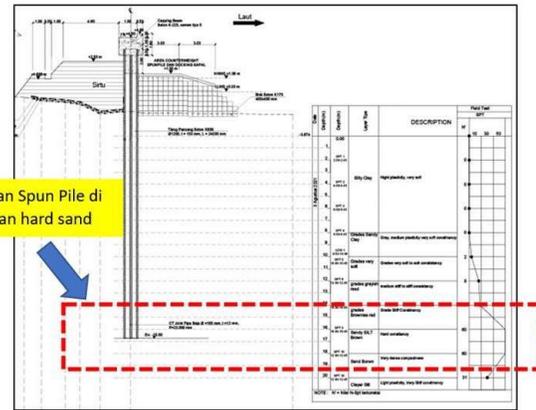
HASIL DAN PEMBAHASAN
Data Tanah

Penyelidikan tanah dilakukan pada 3 (tiga) lokasi Proyek Pembangunan Pengaman Pantai Tahap 4 Paket 1. Hasil dari penyelidikan tanah tersebut diasumsikan mewakili lokasi-lokasi sekitar penyelidikan. Data *borlog* yang disajikan berikut merupakan data *borlog* pada lokasi yang paling mendekati lokasi penelitian.

Tabel 1. Data *Borlog*

Date	Depth (m)	Layer Type	DESCRIPTION	Field Test			
				SPT			
				N	10	30	50
	0.00						
	SPT 1 2.00-2.45	Silty Clay	High plasticity, very soft				
	SPT 2 4.00-4.45						
	SPT 3 6.00-6.45						
	SPT 4 8.00-8.45						
	UDS 1 8.50-10.00	Grades Sandy Clay	Gray, medium plasticity very soft consistency				
	SPT 5 10.00-10.45	Grades very soft	Grades very soft to soft consistency				
	SPT 6 12.00-12.45	grades grayish red	medium stiff to stiff consistency				
	SPT 7 14.00-14.45	grades Brownies red	Grade Stiff Consistency				
	SPT 8 16.00-16.45	Sandy SILT Brown	Hard consistency				
	SPT 10 12.00-12.45	Sand Borwn	Very dense compactness				
	SPT 10 12.00-12.45	Clayer Silt	Light plasticity, Very Stiff consistency				

NOTE : N = Nilai N-Spt terkoreksi



Gambar 3. Data tanah pada lokasi penelitian

Location : KALIBARU, CILINCING-JAKARTA UTARA				
Bore Hole No	BH-2			
Depth	meter	9.50-10.00	13.50-14.00	15.00-16.00
Sample Type		UDS1	UDS2	UDS3
C. GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST				
Gravel	%	0.00	0.00	0.00
Sand	%	6.30	3.40	1.50
Silt	%	37.80	40.60	38.20
Clay	%	56.90	56.00	60.30
Soil Classification (USC)		CH	CH	CH
D. TRIAXIAL TEST				
Cohesion (c)	kg/cm ²	0.19	0.38	0.41
Friction Angle (φ)	°	7.30	6.90	6.90
E. UNCONFINED COMPRESSION STRENGTH TEST				
qu Undisturbed strength compression	kg/cm ²	0.09	0.60	0.64
qu remolded strength compression	kg/cm ²	0.08	0.32	0.34
cu/fir Undisturbed cohesion	kg/cm ²	0.05	0.25	0.27
cu/fir Remolded cohesion	kg/cm ²	0.03	0.16	0.17
Sensitivity		1.45	1.54	1.60
Rate of Sensitivity (Holtz & Kovacs)	kg/cm ²	LOW	LOW	LOW

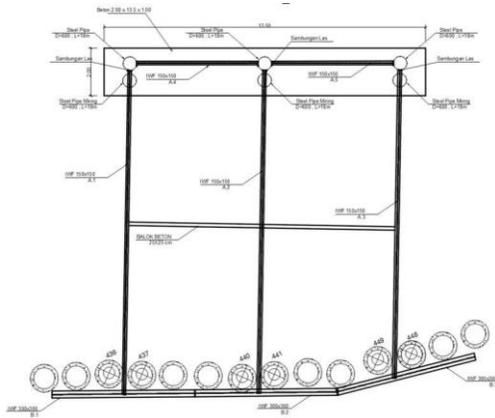
Gambar 4. Hasil uji laboratorium

Desain Perencanaan

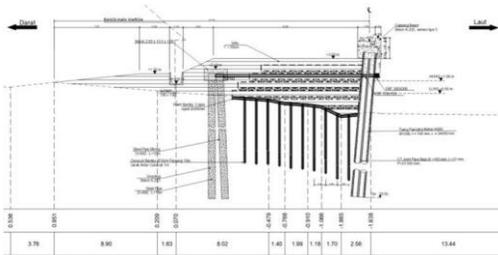
Tieback direncanakan dengan mempertimbangkan berbagai macam faktor seperti pasang surut air laut, beban pelaksanaan dan gaya lateral akibat beban rencana. *Tieback* berikut ini dipilih karena dapat memenuhi aspek-aspek yang dibutuhkan baik dari segi pelaksanaan pekerjaan maupun dari segi fungsi setelah seluruh pekerjaan selesai. *Tieback* didesain dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:

1. **Tiang Pancang**
Material : *Steel Pipe*
Diameter : 600 mm
Tebal : 12 mm
Panjang : 18.0 m
Grouting : Beton K-225
Elv. Top : +3.01
Elv. Bottom : -20.50
2. **Pilecap**
Panjang : 13.50
Lebar : 2.50 s
Tebal : 1.00 m
Mutu Beton : K-225

3. Beam Sisi Darat
H-Beam : IWF 150x150
Fy : 240 Mpa
Fu : 370 Mpa
4. Beam Sisi Laut
H-Beam : IWF 300x300
Fy : 240 Mpa
Fu : 370 Mpa



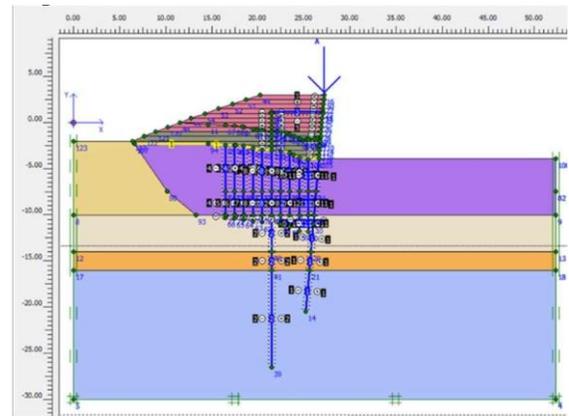
Gambar 5. Desain layout tieback



Gambar 6. Desain potongan tieback

Analisa Stabilitas

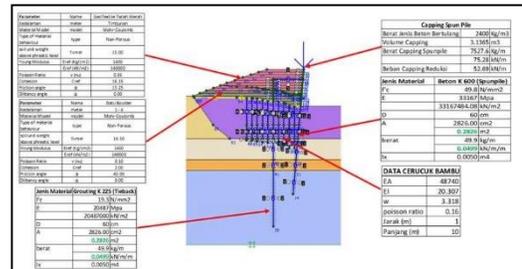
1. Input Parameter
Pemodelan stabilitas tanah dilakukan menggunakan perangkat lunak *PLAXIS V8* dengan mempertimbangkan data yang ada. Berikut adalah parameter tanah yang di input pemodelan.



Gambar 7. Geometri pemodelan

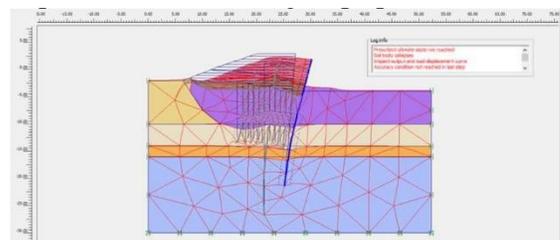
Tabel 2. Data parameter tanah

Parameter	Name	Lumpur	Medium Clay	Hard Clay	Hard Sand	GeoTextile Tanah Merah	Batu Boulder
Kedalaman	meter	4-10	10-14	14-16	16-30	Timbunan	1-4
Material Model	model	Mohr-Coulumb	Mohr-Coulumb	Mohr-Coulumb	Mohr-Coulumb	Mohr-Coulumb	Mohr-Coulumb
Type of material behaviour	type	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Non-Porous	Non-Porou
Soil unit weight above phreatic level	Yunsat	8.00	12.00	12.00	17.00	15.00	14.50
Soil unit weight below phreatic level	Ysat	15.00	17.20	17.30	21.00	-	-
Permeability in hor. Direction	Kx	0.001	0.001	0.001	0.500	-	-
Permeability in ver. Direction	Ky	0.001	0.001	0.001	0.500	-	-
Young Modulus	Eref (kg/cm ²)	300	45	45	120	1400	1400
	Eref (kN/m ²)	30000	4500	4500	12000	140000	140000
Poisson Ratio	v (nu)	0.49	0.35	0.33	0.30	0.05	0.10
Cohesion	Cref	5.00	38.00	41.00	1.00	16.15	2.00
Friction angle	φ	1.00	6.90	6.90	33.00	13.25	40.00
Dilatancy angle	ψ	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00

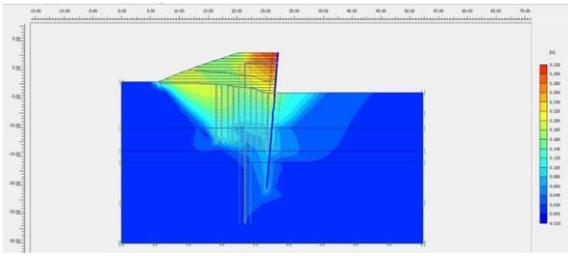


Gambar 8. Input material struktur

2. Pemodelan Kondisi Eksisting
Berikut adalah hasil pemodelan *spun pile* pada kondisi eksisting tanpa perkuatan.



Gambar 9. Deformed mesh pada kondisi eksisting



Gambar 10. Maksimum deformasi yang terjadi pada kondisi eksisting

Berdasarkan hasil pemodelan pada kondisi eksisting tanpa perkuatan *pile back*, struktur *spun pile* mengalami kegagalan struktur tanah sehingga diperlukan perkuatan untuk melindungi *spun pile* agar tidak terjadi kegagalan struktur tanah.

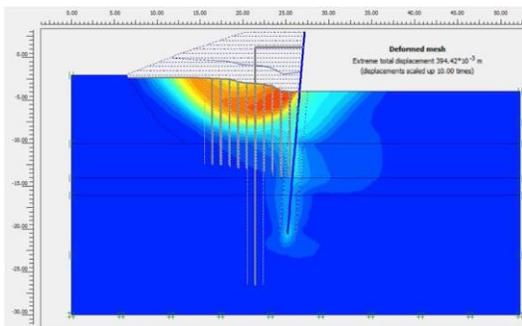
3. Pemodelan Kondisi Desain

Pemodelan kondisi desain dilakukan dengan melakukan pemasangan *tieback* dan penimbunan batu *boulder* sebagai penahan material lumpur untuk mengurangi *settlement* pada struktur atas. Berikut adalah tahap konstruksi kondisi desain.

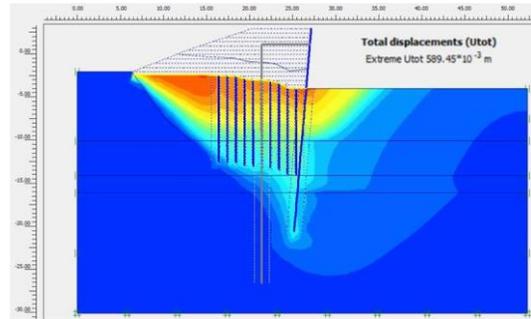
Tabel 3. Tahap konstruksi kondisi desain

Identification	Phase no.	Start #	Calculation	Loading input
Initial phase	0	0	N/A	N/A
✓ Pancang Spun Pile	1	0	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Spun Pile	2	1	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Pasang Cerucuk	3	1	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Cerucuk	4	3	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Boulder 1	5	3	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Boulder 1	6	5	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Boulder 2	7	5	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Boulder 2	8	7	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Boulder 3	9	7	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Boulder 3	10	9	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Boulder 4	11	9	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Boulder 4	12	11	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Boulder 5	13	11	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Boulder 5	14	13	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Boulder 6	15	13	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Boulder 6	16	15	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Boulder 7	17	15	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Boulder 7	18	17	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Boulder 8	19	17	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Boulder 8	20	19	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Boulder 9	21	19	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Boulder 9	22	21	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Tanah Merah 1	23	21	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Tanah Merah 1	24	23	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Pancang Pile Back	25	23	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Pile Back	26	25	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Tanah merah 2	27	25	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Tanah Merah 2	28	27	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Tanah Merah 3	29	27	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Tanah Merah 3	30	29	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Tanah Merah 4	31	29	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Tanah Merah 4	32	31	Phi/C reduction	Incremental multipliers
✓ Timbunan Tanah Merah 5	33	31	Plastic analysis	Staged construction
✓ FK Tanah Merah 5	34	33	Phi/C reduction	Incremental multipliers

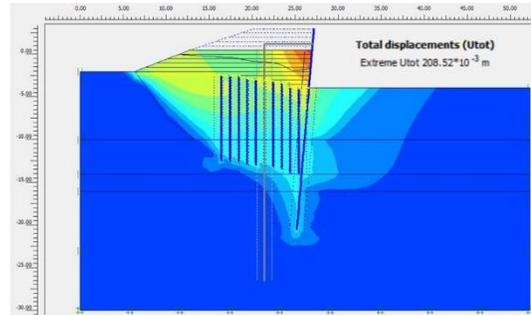
Berikut adalah hasil pemodelan dengan kondisi desain.



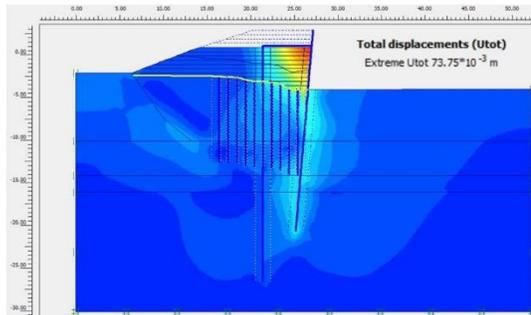
Gambar 11. Total deformasi pada pemancangan *spun pile*



Gambar 12. Total deformasi pada saat pemasangan cerucuk bambu



Gambar 13. Total deformasi pada saat timbunan batu boulder elv. +0.50



Gambar 14. Total deformasi pada saat pemancangan *steel pipe*

Berdasarkan hasil pemodelan pada masing-masing tahap konstruksi didapatkan nilai Faktor Keamanan dan Deformasinya. Berikut adalah faktor keamanan dan deformasi pada setiap tahap pelaksanaan konstruksi.



Gambar 15. Deformasi masing-masing tahap konstruksi pada kondisi desain



Gambar 16. Faktor keamanan masing-masing tahap konstruksi pada kondisi desain

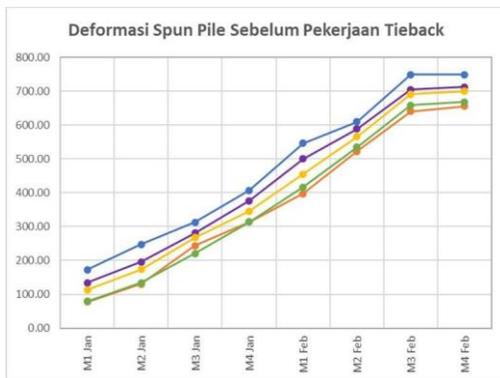
Monitoring Deformasi

Berikut adalah monitoring deformasi spun pile sebelum adanya konstruksi *tieback*.

Tabel 4. Monitoring Deformasi Sebelum Pekerjaan *Tieback*

No.	Nomor Spun Pile	Januari				Februari			
		M1 Jan	M2 Jan	M3 Jan	M4 Jan	M1 Feb	M2 Feb	M3 Feb	M4 Feb
1	SP 448	77.16	130.10	243.28	313.35	397.49	522.73	640.36	655.90
2	SP 449	134.06	196.08	280.74	376.28	500.19	588.47	705.98	712.30
3	SP 450	172.54	247.78	312.62	406.86	516.84	609.73	719.24	749.24
4	SP 451	113.15	173.24	268.11	345.14	455.43	565.69	691.56	700.04
5	SP 452	79.21	133.87	220.62	313.96	416.56	534.58	659.02	668.25

Satuan dalam milimeter



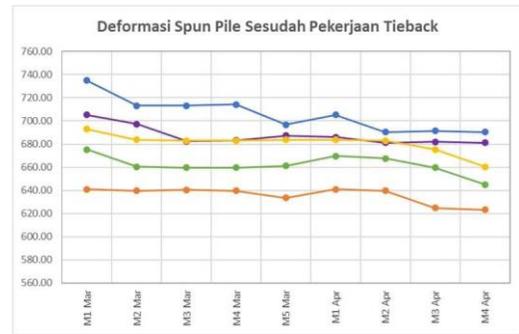
Gambar 17. Monitoring deformasi sebelum pekerjaan *tieback*

Berikut adalah monitoring deformasi *spun pile* sesudah adanya konstruksi *tieback*.

Tabel 5. Monitoring deformasi sesudah pekerjaan *tieback*.

No.	Nomor Spun Pile	Maret				April			
		M1 Mar	M2 Mar	M3 Mar	M4 Mar	M1 Apr	M2 Apr	M3 Apr	M4 Apr
1	SP 448	641.04	639.63	640.36	639.58	640.99	639.58	624.76	623.35
2	SP 449	705.17	697.36	682.50	683.17	685.93	681.23	681.90	681.23
3	SP 450	735.01	713.12	713.22	714.20	705.17	690.28	691.32	690.31
4	SP 451	692.98	683.86	683.07	683.07	683.78	683.07	675.32	660.46
5	SP 452	675.29	660.44	659.73	659.73	669.63	667.55	659.73	645.04

Satuan dalam milimeter

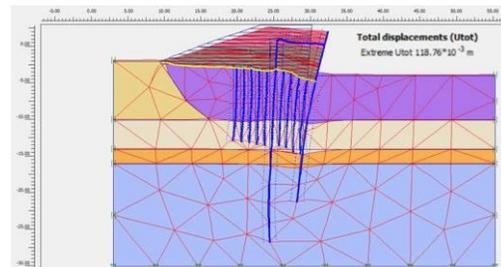


Gambar 18. Monitoring deformasi sesudah pekerjaan *tieback*

Hasil Analisa dan Monitoring

1. Hasil Analisa Stabilitas

Hasil stabilitas tanah pada kondisi desain menunjukkan bahwa pengamanan struktur dengan menerapkan *tieback* didapat nilai Faktor Keamanan sebesar 1,502 dimana nilai minimal yang diizinkan sebesar 1,2 sehingga struktur tanah terhadap desain dapat dikatakan Aman.



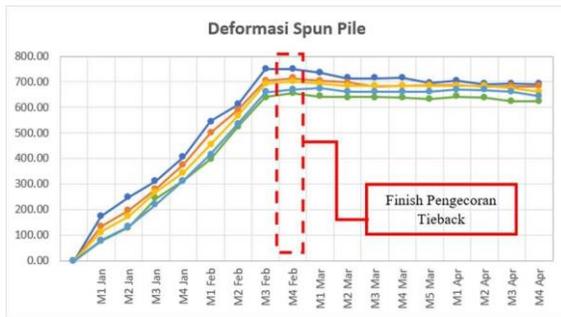
Gambar 19. Deformed mesh spun pile pada kondisi desain

Multipliers	Incremental multipliers	Total multipliers
Prescribed displacements	Mdisp: 0.000	Σ-Mdisp: 1.000
Load system A	MloadA: 0.000	Σ-MloadA: 1.000
Load system B	MloadB: 0.000	Σ-MloadB: 1.000
Soil weight	Mweight: 0.000	Σ-Mweight: 1.000
Acceleration	Maccel: 0.000	Σ-Maccel: 0.000
Strength reduction factor	Msf: 0.12	Σ-Msf: 1.502
Time	Increment: 0.000	End time: 0.000
Dynamic time	Increment: 0.000	End time: 0.000

Gambar 20. Informasi kalkulasi hasil pemodelan

2. Monitoring Deformasi Setelah Pekerjaan *Tieback*

Setelah pekerjaan *tieback* selesai dikerjakan, dilakukan monitoring secara berkala untuk mengetahui nilai deformasi pada struktur tanggul pengamanan pantai. Struktur *tieback* dapat menstabilkan deformasi yang dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 21. Grafik monitoring deformasi

KESIMPULAN

- Dari hasil analisa menggunakan *software plaxis* didapatkan informasi bahwa nilai *safety factor* minimum adalah 1,502 dimana nilai minimal yang diizinkan sebesar 1,2 sehingga struktur tanah terhadap desain dapat dikatakan stabil.
- Struktur tanggul mengalami deformasi kurang lebih senilai **749** mm selama 2 bulan dimana nilai deformasi yang diizinkan sebesar 960 mm sehingga dapat dinyatakan struktur tanggul pengaman pantai **Aman**. Setelah pekerjaan *tieback* selesai dikerjakan nilai dari deformasi menjadi stabil dan tidak mengalami penambahan kemiringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Pejelasan SNI 2847:2019*. Jakarta.
- Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2010. 07/SE/M/2010. Pemberlakuan Pedoman Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Pengaman Pantai. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
- Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. 31/SE/M/2015. Pedoman Pencanaan Tiang Fondasi. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja. 1996. PER.05/MEN/1996. Sistem keselamatan dan Kesehatan Kerja. Jakarta: Kementerian Tenaga Kerja
- Peraturan Pemerintah. 2012. Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 tentang Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia
- Peraturan Menteri Ketenagakerjaan. 2014 Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 05 Tahun 2014 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum. Jakarta: Menteri Ketenagakerjaan

Peraturan Menteri Ketenagakerjaan. 2014 Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 26 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Penilaian Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Kesehatan Kerja. Jakarta: Menteri Ketenagakerjaan

wikipedia.org (2022, Maret). Tieback Geotechnical. Diakses pada 28 April 2023, dari [https://en.wikipedia.org/wiki/Tieback_\(geotechnical\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Tieback_(geotechnical))

lrtjabodetak.adhi.co.id (2018, April) Pilecap. Diakses pada 2 Mei 2023, dari <https://lrtjabodebek.adhi.co.id/pile-cap/>