

Analisis Perkuatan Stabilitas Struktur Dinding Penahan Tanah (*Sheet Pile*) Dermaga yang Tidak Sesuai *Detail Engineering Design* (DED)

Farid Irawan¹, Agus Sulaeman¹, dan Xbal Meiprasyo²

¹Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

farid.irw@gmail.com, agussulaeman@lecture.unjani.ac.id, xbal.meiprasyo@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Dermaga merupakan suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang. konstruksi pada tebing dermaga harus direncanakan sekuat mungkin supaya kapal bisa berlabuh dengan aman. Pada perkuatan tebing yang digunakan dalam proyek dermaga adalah konstruksi berbentuk *sheet pile*. Dalam merencanakan *sheet pile* yang perlu di perhatikan adalah kedalaman *sheet pile* dan jenis tanah. Dalam pembangunan dermaga terdapat kendala pada pelaksanaan pengerjaan konstruksi perkuatan stabilitas dermaga, di mana konstruksi yang di aplikasikan pada lapangan tidak sesuai dengan desain yang sudah di rencanakan pada *Detail Engineering Design* (DED). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah perkuatan tersebut memenuhi kriteria dan persyaratan untuk meminimalisir kegagalan konstruksi pada dermaga, salah satunya dilakukan rekayasa sipil berupa analisis ulang perkuatan stabilitas perkuatan yang sudah direalisasikan pada lapangan. Metode dari penelitian ini yaitu menghitung stabilitas perkuatan pada dermaga dengan perkuatan *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP), *Concrete Sheet Pile* (CSP), dan Tie Rod dengan perhitungan dan analisis menggunakan program Plaxis.

Kata kunci: Dermaga, Stabilitas Perkuatan, *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP), *Concrete Sheet Pile* (CSP), Tie Rod.

Abstract

A wharf is a key infrastructure at a port that functions as a place for ships to dock and moor while conducting the loading and unloading of cargo, as well as passenger activities. The structural integrity of the wharf, especially along the bank, must be carefully designed to ensure ships can anchor securely. In pier construction, slope reinforcement is often done using sheet piles. When designing sheet piles, important factors such as pile depth and soil type must be considered. However, in practice, challenges arise when the construction in the field does not align with the specifications outlined in the Detail Engineering Design (DED), potentially compromising the wharf's stability. This research aims to determine whether the reinforcement already implemented meets safety standards and technical requirements to prevent structural failure. A civil engineering approach is applied by reanalyzing the stability of existing reinforcements. The method involves evaluating the strength of the pier structure using various reinforcement types, including Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP), Concrete Sheet Pile (CSP), and Tie Rods. These evaluations are carried out through numerical calculations and structural analysis using the Plaxis program to simulate performance and ensure the design's reliability under both normal and seismic conditions.

Keywords: Ship dock, Reinforcement Stability, Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP), Concrete Sheet Pile (CSP), Tie Rod

1. Pendahuluan

Dermaga adalah bagian dari pelabuhan yang di bangun untuk menghubungkan antara darat dengan laut atau sungai dan terdiri dari balok, pelat lantai dan tiang pancang untuk mendukung bangunan di atas dermaga. Dalam pembangunan dermaga terdapat kendala dalam pelaksanaan pengerjaan konstruksi perkuatan lereng, dimana konstruksi yang di aplikasikan pada lapangan tidak sesuai dengan desain yang sudah direncanakan. Sebelumnya. Berdasarkan permasalahan tersebut studi penelitian ini melakukan analisis terhadap perkuatan stabilitas dinding penahan tanah pada suatu dermaga yang dilakukan secara komputerisasi menggunakan *Software Plaxis*. sehingga dengan uraian yang telah dikemukakan diatas penulis melakukan penelitian ini dengan judul "Analisis Perkuatan Stabilitas Struktur Dinding Penahan Tanah (*Sheet Pile*) Dermaga yang Tidak Sesuai *Detail Engineering Design* (DED)" guna menganalisa dan memastikan kembali aplikasi di lapangan aman dan tidak bermasalah di kemudian hari.

Pokok permasalahan pada penelitian ini berkaitan dengan analisis perkuatan stabilitas dinding penahan tanah pada dermaga yang tidak sesuai DED antara lain: bagaimana hasil pelaksanaan perkuatan dan pengecekan stabilitas dinding penahan tanah pada dermaga sesuai dengan kondisi di lapangan, bagaimana hasil analisa stabilitas *Tie Rod* dan *Concrete Sheet Pile* (CSP) yang tidak sesuai *Detail Engineering*

Info Makalah:

Dikirim : 06-05-23;
Revisi 1 : 08-01-24;
Revisi 2 : 10-28-24;
Diterima : 02-13-25.

Penulis Korespondensi:

Telp : -
e-mail : agussulaeman@lecture.unjani.ac.id

Design (DED), bagaimana hasil analisa pelaksanaan perkuatan stabilitas (kedalaman dan kemiringan) dinding penahan tanah pada dermaga yang tidak sesuai dengan *Detail Engineering Design (DED)*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui stabilitas perkuatan dermaga pada lapangan dengan memberikan beberapa alternatif perkuatan.

1.1. Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah (*Retaining wall*) adalah suatu bangunan yang dibangun untuk mencegah keruntuhan tanah yang curam atau lereng yang dibangun di tempat dimana kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri, dipengaruhi oleh kondisi gambaran topografi tempat itu. Bila jalan dibangun berbatasan dengan sungai atau danau tanah paya, dinding penahan itu dibangun untuk melindungi kemiringan tanah dan melengkapi kemiringan dengan fondasi yang kokoh. Dinding penahan tipe kantilever dibuat dari beton bertulang yang tersusun dari suatu dinding vertikal dan tapak lantai. Masing-masing berperan sebagai balok atau pelat kantilever. Dinding penahan tanah massa (*Gravity Retaining Wall*) digunakan untuk menahan tekanan tanah lateral pada tebing-tebing yang landai. (Nazir, Muhammad Shahid et al. 2018).

1.2. Stabilitas Lereng

Lereng adalah bidang miring tanah yang menghubungkan permukaan tanah dengan elevasi yang lebih tinggi dengan permukaan tanah dengan elevasi yang lebih rendah, lereng dapat terbentuk secara alamiah maupun dengan bantuan manusia

(Ciptaning dkk., 2018). Faktor keamanan lereng yang disyaratkan untuk analisis kestabilan lereng tanah menurut SNI Perancangan Geoteknik 8460-2017 digunakan untuk mengidentifikasi stabilitas lereng yang didefinisikan sebagai perbandingan antara kuat geser tanah (τ_f) dan tegangan geser (τ_d) yang bekerja pada massa tanah.

$FK > 1.5$ menunjukkan lereng stabil;

$FK < 1.5$ menunjukkan lereng tidak stabil; dan

$FK = 1.5$ menunjukkan lereng dalam kondisi keseimbangan batas kritis.

1.3. Sheet Pile

Dinding penahan tanah *Sheet Pile* adalah dinding vertikal relatif tipis yang berfungsi kecuali untuk menahan tanah juga berfungsi untuk menahan masuknya air ke dalam lubang galian. *Sheet pile* merupakan salah satu jenis *retaining wall*. *Sheet Pile* sendiri terbuat dari beberapa bahan yaitu baja, beton, kayu atau *Sheet pile* dari plastik yang berhubungan satu sama lainnya membentuk sebuah dinding kontinu sepanjang tebing saluran karena pemasangan yang mudah dan biaya pelaksanaan yang relatif murah. *Sheet Pile* banyak digunakan pada pekerjaan-pekerjaan seperti: penahan tebing galian sementara, bangunan-bangunan di pelabuhan, dinding penahan tanah, bendungan elak dan lain-lain. (Anbya, Yasinta dkk., 2015).

1.4. Bored Pile

Bored pile adalah suatu pondasi yang dipasang dengan cara mengebor tanah dengan diameter tertentu hingga mencapai kedalaman yang sudah ditentukan, kemudian tulangan baja yang telah dirakit dimasukkan ke dalam lubang bor tersebut dan dilanjutkan dengan pengisian agregat material beton ke dalam lubang. *Bored pile* digunakan apabila lokasi pekerjaan memiliki sifat tanah yang kokoh/stabil sehingga mempunyai daya dukung besar dengan kedalaman kurang lebih 15 meter. (Putranto dkk., 2017).

1.5. Tie Rod

Tie rod berfungsi sebagai perletakan dan penyangga *sheet pile* sehingga ujung atasnya dalam posisi terjepit (tidak balok bebas). Umumnya, *Tie rod* dibuat dengan menggunakan besi beton yang disambungkan pada plat besi dan as drat. *Tie rod* paling banyak digunakan dan umumnya dipasang dengan kombinasi adanya dinding angker. Namun sistem *Tie rod* ini dapat dipasang sendirian ataupun dalam jumlah lebih dari satu dan tanpa adanya *deadman* angker. *Tie rod* ini ditempatkan di tengah-tengah lekukan penampang *Sheet pile*, pada setiap interval 2 lembaran atau 4 lembaran jadi spasinya antara 0,8 m hingga 2 m bergantung pada ukuran per lembar *Sheet pile*. (Alfianty, Desi dkk., 2019).

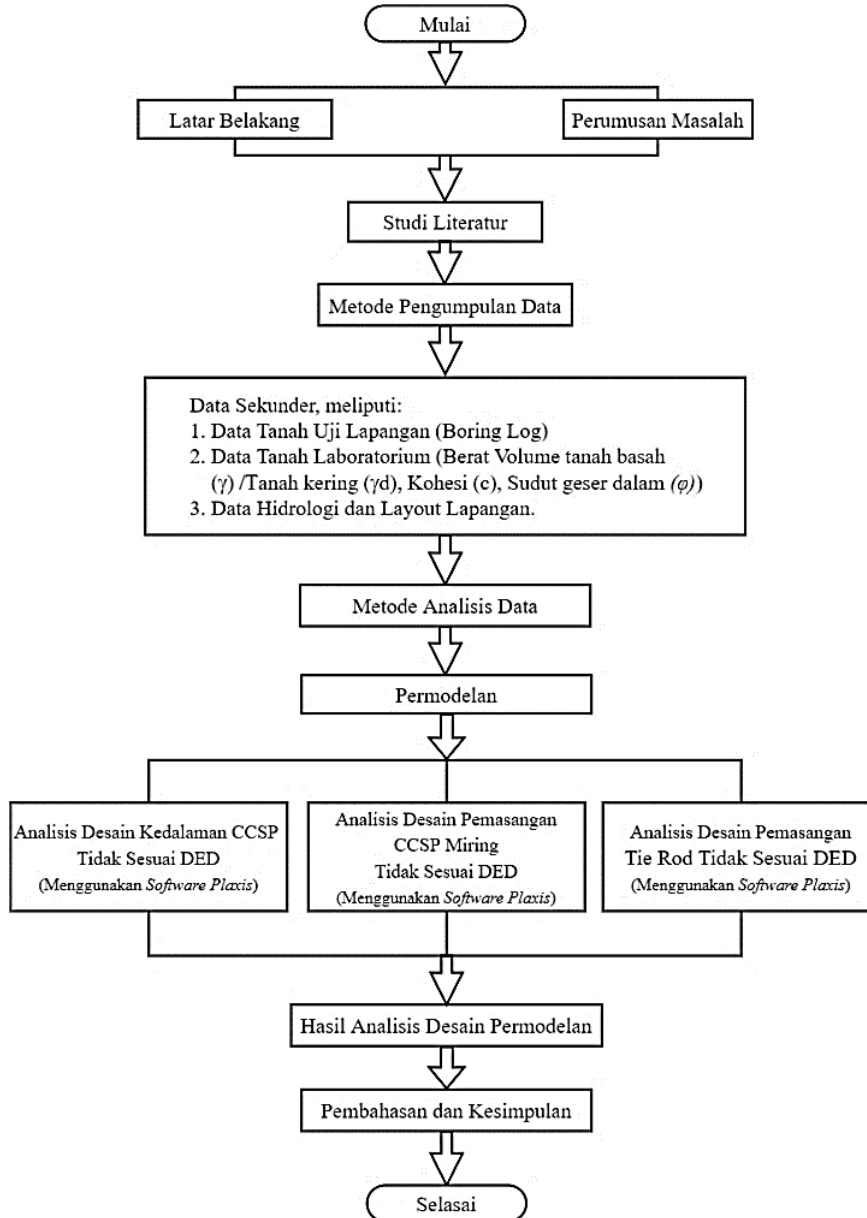
1.6. Detail Engineering Design (DED)

Detail Engineering Design (DED) adalah produk perencanaan (detail gambar kerja) yang dibuat oleh konsultan perencanaan untuk pekerjaan bangunan sipil seperti gedung, kolam renang, jalan, jembatan, bendungan, dan pekerjaan konstruksi lainnya. Selain sebagai rencana gambar kerja, DED juga bisa digunakan sebagai pedoman dalam pelaksanaan perawatan dan perbaikan sebuah gedung atau bangunan. Proyek yang membutuhkan DED pada umumnya merupakan proyek EPC (*Engineering, Procurement, dan Construction*), dimana yang dimaksud EPC sendiri yaitu sistem proyek pembangunan berbasis proses dengan lingkup tanggung jawab kegiatan pada teknik, pengadaan dan bangunan yang dilaksanakan oleh suatu unit usaha atau perusahaan kontraktor. Perusahaan kontraktor

di bidang EPC tersebut, dapat memulai pekerjaan dari tahap atau pada tahap penyusunan DED (*Detail Engineering Design*). (Lamudi.co.id/journal., 2023)

2. Metode

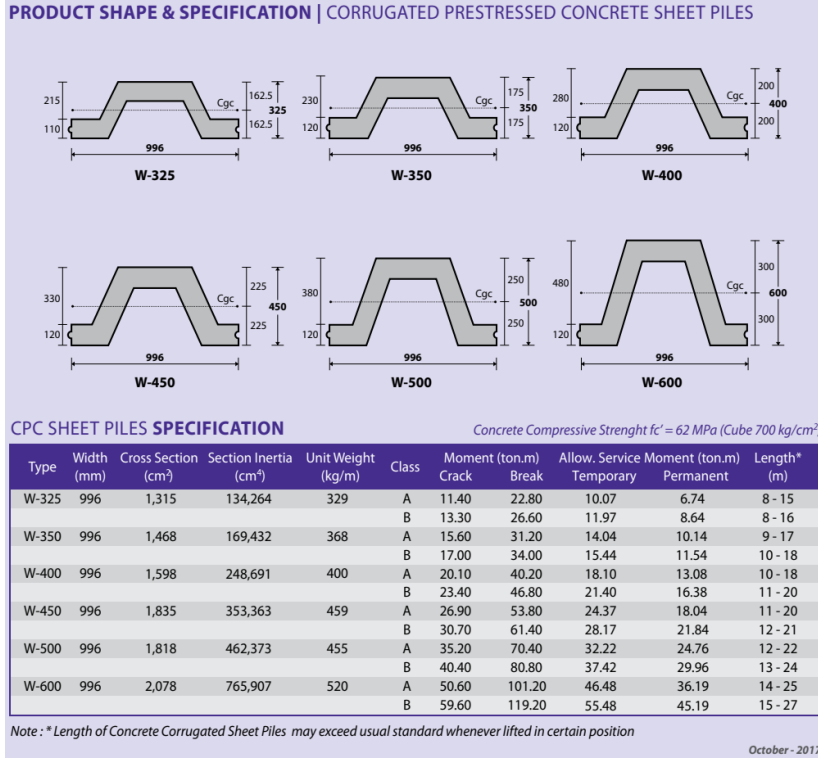
2.1. Tahapan Penelitian



Gambar 1. Bagan Alur Pikir Penelitian

2.2. Kriteria Desain

Dalam kegiatan analisis perkuatan struktur stabilitas tanah (*Sheet Pile*) dermaga harus bertujuan aman dan ekonomis. Metode analisis untuk stabilitas struktur dermaga tidak terlepas dari pengetahuan mengenai mekanisme keruntuhan, jenis material dan beban yang direncanakan pada perkuatan tersebut. Kondisi tersebut menentukan batasan-batasan dari penerapan metode yang dipilih. Umur rancangan dari masa layan dermaga *Dumping 1 Section* sisi timur adalah 50 tahun berdasarkan (Dokumen *Desain and Build Section Dumping 1*). Beban rencana yang diinput pada pemodelan adalah beban merata sebesar 15 kPa berdasarkan (Dokumen *Desain and Build Section Dumping 1*). Analisis perkuatan terhadap stabilitas *sheet pile Section Dumping 1* Sisi Timur akan menggunakan tipe *sheet pile* yaitu W-600-A1000, CSP 600T100 mm dan ankur *pile* CSP 500 T90 mm. Keseluruhan *properties* material bersumber dari tabel *product* material, berikut adalah tabel material *properties* yang digunakan di lapangan baik jenis material *Sheet pile* maupun CSP:



Gambar 2. Product Shape and Spesification Sheet Pile – W-600 A1000

PRESTRESSED CONCRETE PRETENSION SPUN PILES SPECIFICATION
Concrete Compressive Strength $f'_c = 52 \text{ MPa}$ (Cube 600 kg/cm^2)

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm ²)	Section Inertia (cm ⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack * (ton.m)	Break (ton.m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
1000***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
1200***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24					

Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

Note : *) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)
**) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position
***) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe

Gambar 3. Material CSP

2.3. Analisis Desain Stabilitas Perkuatan

Stabilitas perkuatan yang akan digunakan dalam Pengecekan Ketidaksiesuaian pekerjaan dengan DED dalam pelaksanaan stabilitas perkuatan tanah Dermaga Benoa ini adalah *Sheet Pile* CCSP W600 A1000 mm dengan variasi kedalaman dan kemiringan yang berbeda. Analisis yang dilakukan akan dimodelkan dalam bentuk Mohr-Coulomb. Model Mohr-Coulomb menggunakan 5 parameter yaitu kohesi (c) dan sudut geser (ϕ) untuk menggambarkan plastisitas tanah, *Modulus Young* (E) dan *poisson ratio* (ν) untuk menggambarkan elastisitas tanah, sudut dilatasi (ψ) dari tanah dan γ_{sat} serta γ_{unsat} untuk menggambarkan berat isi dari tanah. Pada model Mohr-Coulomb setiap lapisan tanah dimodelkan dengan sebuah nilai kekakuan rata-rata yang konstan. Dengan nilai kekakuan yang konstan tersebut, maka perhitungan cenderung cepat dan dapat diperoleh perkiraan awal dari bentuk deformasi dari pemodelan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Data Tanah

Data yang digunakan dalam kegiatan analisis perkuatan stabilitas struktur dinding penahan tanah (*Sheet Pile*) dermaga yang tidak sesuai dengan *Detail Engineering design (DED)* di Kota Denpasar Bali yaitu berupa data sondir, logbore/bor dalam dan data laboratorium.

Project : PELABUHAN BENOA (AREA DUMPING 1)													
Location : BENOA - BALI		<i>C1</i> : Clay (very soft to soft)											
Borelog : BHL-03 (SISI KOLAM DERMAGA PERIKANAN)		<i>C2</i> : Clay (medium to hard)											
Elevation : + 1.60 mLWS		<i>c</i> : Clay (based on laboratory)											
Date :		<i>S</i> : Sand											
		<i>M</i> : Silt											
Input and Laboratory Parameters													
Depth (m)	Soil Type	PI	c_u or c	OCR	E_u/c_u	K_x	K_y						
		%	(lab) kN/m ²					m/day					
0.0 - 2.0	Fine to Coarse Sand	-	12	-	-	3.4560000	3.4560000						
2.0 - 4.0	Very Soft Clay	-	-	-	-	0.0000864	0.0000864						
4.0 - 6.0	Fine to Coarse Sand	-	11	-	-	3.4560000	3.4560000						
6.0 - 8.0	Very Dense Sand	-	-	-	-	3.4560000	3.4560000						
8.0 - 10.0	Soft Clay	-	-	-	-	0.0000864	0.0000864						
10.0 - 12.0	Very Soft Clay	-	-	-	-	0.0000864	0.0000864						
12.0 - 14.0	Very Stiff Clay	-	-	-	-	0.0000864	0.0000864						
14.0 - 16.0	Very Stiff Clay	28	22	1.53	962	0.0000864	0.0000864						
16.0 - 18.0	Very Dense Sand	-	-	-	-	3.4560000	3.4560000						
18.0 - 20.0	Very Dense Sand	-	-	-	-	3.4560000	3.4560000						
20.0 - 22.0	Limestone and Clay	22	20	1.00	1050	0.0000864	0.0000864						
22.0 - 24.0	Very Dense Sand	-	-	-	-	3.4560000	3.4560000						
24.0 - 26.0	Very Dense Sand	-	-	-	-	3.4560000	3.4560000						
26.0 - 28.0	Loose Sand	-	15	-	-	3.4560000	3.4560000						
28.0 - 30.0	Fine Sand	-	-	-	-	3.4560000	3.4560000						
Recommendation Parameters													
Depth (m)	Soil Type	N - SPT	Symbol	Undrained B				Undrained A & Drained				γ_{sat}	γ_{unsat}
				c_u	ϕ	E_u	ν	c	ϕ'	E_d	ν'		
				kN/m ²		kN/m ²		kN/m ²		kN/m ²		kN/m ³	kN/m ³
0.0 - 2.0	Fine to Coarse Sand	5	S	17	30	5000	0.25	17	30	5000	0.15	17.20	17.20
2.0 - 4.0	Very Soft Clay	1	C1	5	-	1500	0.35	5	23	1200	0.20	15.40	15.40
4.0 - 6.0	Fine to Coarse Sand	9	S	35	30	9000	0.25	35	30	9000	0.15	17.80	17.80
6.0 - 8.0	Very Dense Sand	50	S	80	44	50000	0.25	80	44	50000	0.15	22.00	22.00
8.0 - 10.0	Soft Clay	4	C1	20	-	6000	0.35	6	27	4800	0.20	15.90	15.90
10.0 - 12.0	Very Soft Clay	1	C1	5	-	1500	0.35	5	23	1200	0.20	15.40	15.40
12.0 - 14.0	Very Stiff Clay	24	C2	156	-	46800	0.25	36	37	37440	0.20	19.00	19.00
14.0 - 16.0	Very Stiff Clay	16	C	80	-	20000	0.25	22	34	16000	0.20	17.20	17.20
16.0 - 18.0	Very Dense Sand	38	S	53	41	38000	0.25	53	41	38000	0.15	20.60	20.60
18.0 - 20.0	Very Dense Sand	50	S	80	44	50000	0.25	80	44	50000	0.15	22.00	22.00
20.0 - 22.0	Limestone and Clay	24	C	120	-	30000	0.25	20	36	24000	0.20	19.10	19.10
22.0 - 24.0	Very Dense Sand	50	S	80	44	50000	0.25	80	44	50000	0.15	22.00	22.00
24.0 - 26.0	Very Dense Sand	25	S	40	37	25000	0.25	40	37	25000	0.15	18.70	18.70
26.0 - 28.0	Loose Sand	6	S	24	33	6000	0.25	24	33	6000	0.15	17.60	17.60
28.0 - 30.0	Fine Sand	10	S	16	31	10000	0.25	16	31	10000	0.15	16.50	16.50

Gambar 4. Parameter Tanah yang Digunakan untuk Pemodelan

3.2. Korelasi Parameter Tanah

Korelasi pada penelitian ini yaitu dengan bantuan grafik maupun tabel yang dibuat oleh para ahli tanah. Penelitian ini melihat sebaran data dan bentuk hubungan antara nilai N-SPT dengan parameter-parameter yang dipakai untuk analisis stabilitas lereng. Analisis korelasi ini diperlukan untuk melengkapi data-data yang kurang, dengan menghubungkan antara dua variabel agar mengetahui nilai yang belum diketahui seperti:

- 1) Nilai modulus elastisitas ditentukan dengan korelasi hasil pengujian lapangan SPT terhadap tanah berdasarkan tabel dari Bowles.
- 2) Konsistensi tanah sama dengan SPT terhadap tanah berdasarkan tabel dari Meyerhoff.
- 3) Nilai kuat geser (*shear strength*) didapatkan dengan korelasi SPT berdasarkan persamaan dari Terzaghi dengan rumus $(2/3 \times N)$.
- 4) Nilai *poisson ratio* ditentukan dengan korelasi hasil pengujian lapangan SPT terhadap tanah lempung dan pasir berdasarkan tabel.
- 5) Berat volume tanah didapatkan dengan korelasi hasil pengujian lapangan SPT terhadap tanah tabel dari Terzaghi dan Peck.
- 6) Nilai sudut geser dalam ditentukan dengan korelasi nilai SPT dengan grafik sudut geser dari Terzaghi atau menghitungnya dengan persamaan $\Phi = \sqrt{12N} + 15$.

Dimana untuk menentukan *Undrained Shear Strength* untuk *cohesive soils* dan diusulkan untuk menggunakan:

$C_u = 6,5 N$ (kN/m²) → Lempung

$C_u = 3,002 N$ (kN/m²) → Lempung Pasiran

Dengan: $C_u = \text{Undrained Shear Strength}$ Berdasarkan hasil review *Danish code of practice foundation* untuk analisa nilai C_u kondisi Undrained menjadi kondisi c' kondisi Drained adalah sebesar ($c' = 0,1 - 0,2 C_u$).

Sedangkan menunjukkan korelasi antara N' -SPT vs ϕ , untuk hal tersebut digunakan:

$$\phi = \sqrt{12N'} + 20 \rightarrow \text{Pasir} \quad (1)$$

$$\phi = -0.004N^2 + 0.441N + 25.55 \rightarrow \text{Pasir Lempungan} \quad (2)$$

Sedangkan Korelasi nilai modulus tanpa menggunakan parameter IP (*indeks plastisitas*) dan kondisi parameter *drained* modulus dari tanah E_d dikorelasikan sebagai berikut (Ref: Padfield, C.J., and Sharrock, M.J., *Settlement of Structures on Clay Soils*, Ciria, 1983):

1. Untuk NC Lempung
Lempung lunak: *undrained modulus*, $E_u = (150-200) C_u$
Lempung keras: *undrained modulus*, $E_u = (250 - 300) C_u$
2. Untuk OC Lempung
 $E_u = (400 - 500) C_u$
 $E_d = 0.7 - 0.8 E_u$
3. Untuk Pasir
 $E_d = 700-1000 N$ [kPa]

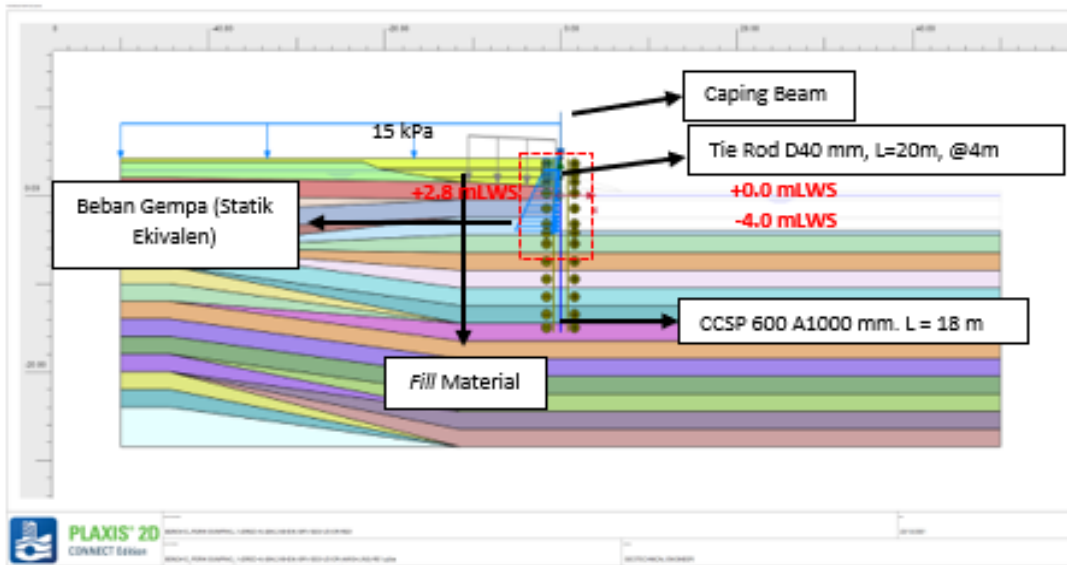
Untuk menentukan nilai berat isi tanah menggunakan korelasi empiris berdasarkan "*Soil Mechanics and Foundation Muni Budhu*"

Sand → $\gamma = 0.1341N + 15.066$

Clay and Silt → $\gamma = 0.1539N + 15.292$

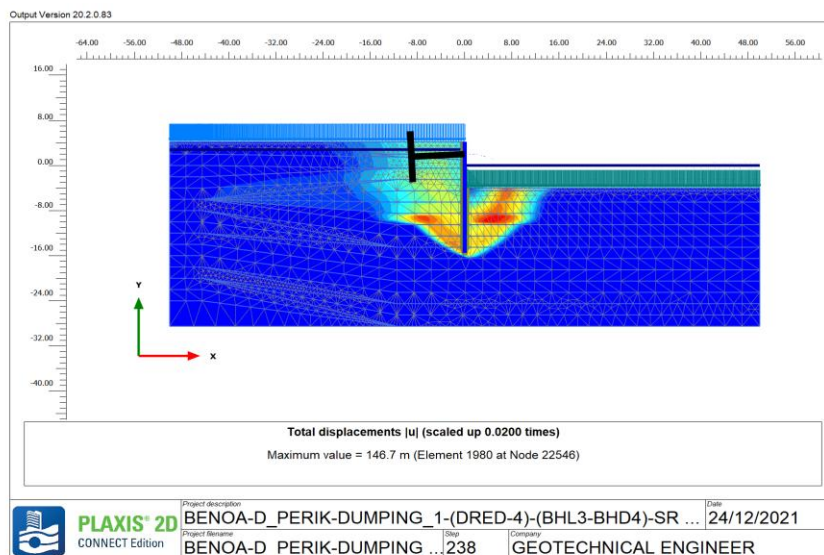
3.3. Pemodelan Hasil DED

Berikut ditampilkan desain stabilitas perkuatan hasil analisa DED mengenai stabilitas *Sheet Pile* CCSP W600 A1000 mm dengan panjang total *Sheet Pile* 18 m menggunakan perkuatan *tie rod* D40 mm dengan spasi 4 m pada elevasi +2,0 mLWS dan tiang angkur CSP 500 T90 mm dengan panjang 18 m dengan kondisi rencana kolam dermaga akan di keruk hingga el -4 mLWS. Muka air yang digunakan dalam analisa adalah menggunakan muka air kondisi kritis dimana muka air HWL +2,8 mLWS pada sisi darat *Sheet Pile* dan pada sisi laut menggunakan LWS +0,0 mLWS.



Gambar 5. Pemodelan Dermaga Sisi Timur *Section 3* dengan PLAXIS 2D

1. Analisa Kestabilan Dermaga Sisi Timur *Section 3* Kondisi Normal



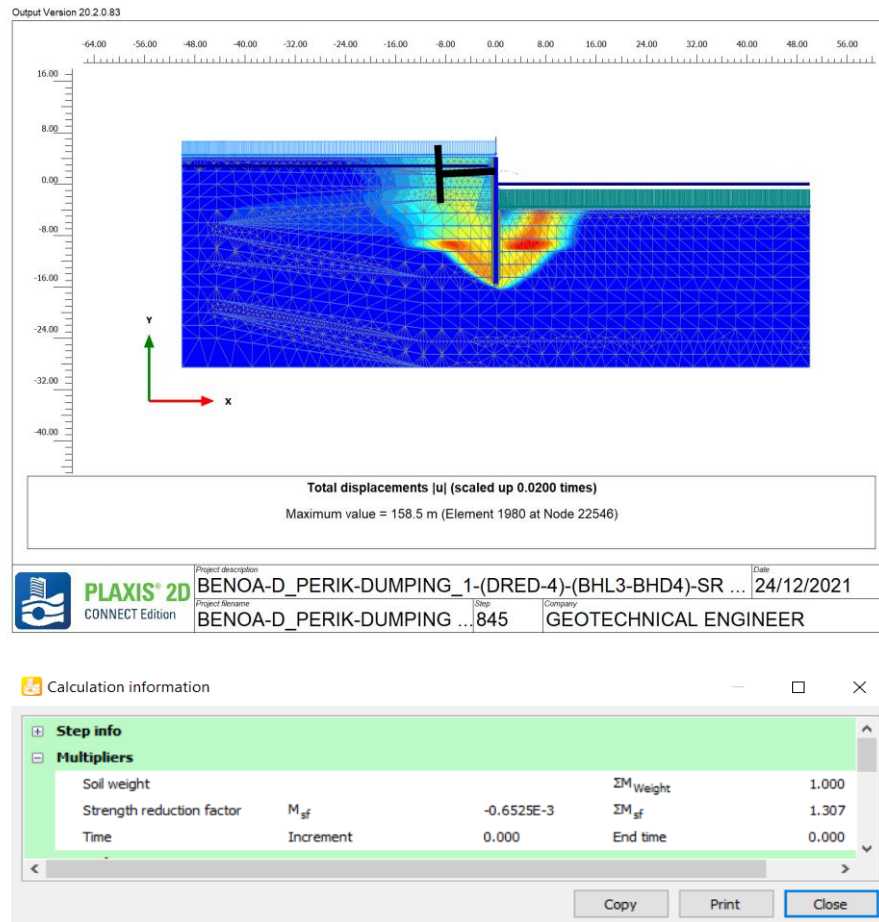
Calculation information

Step info				
Multipliers				
Soil weight			Σ Weight	1.000
Strength reduction factor	M_{sf}	-0.08021E-3	ΣM_{sf}	4.103
Time	Increment	0.000	End time	0.000

Gambar 6. Stabilitas Global Dermaga *Section 3* Kondisi Normal, SF = 4,103

Berdasarkan hasil analisa kestabilan lereng kondisi normal dermaga Sisi Timur *Section 3* angka keamanan yang dihasilkan adalah $SF_{pred} = 4,103$ lebih besar dari angka keamanan minimum lereng berdasarkan SNI GEOTEKNIK 8460:2017 dimana $SF_{min} = 1,5$.

2. Analisa Kestabilan Dermaga Sisi Timur *Section 3* Kondisi Gempa



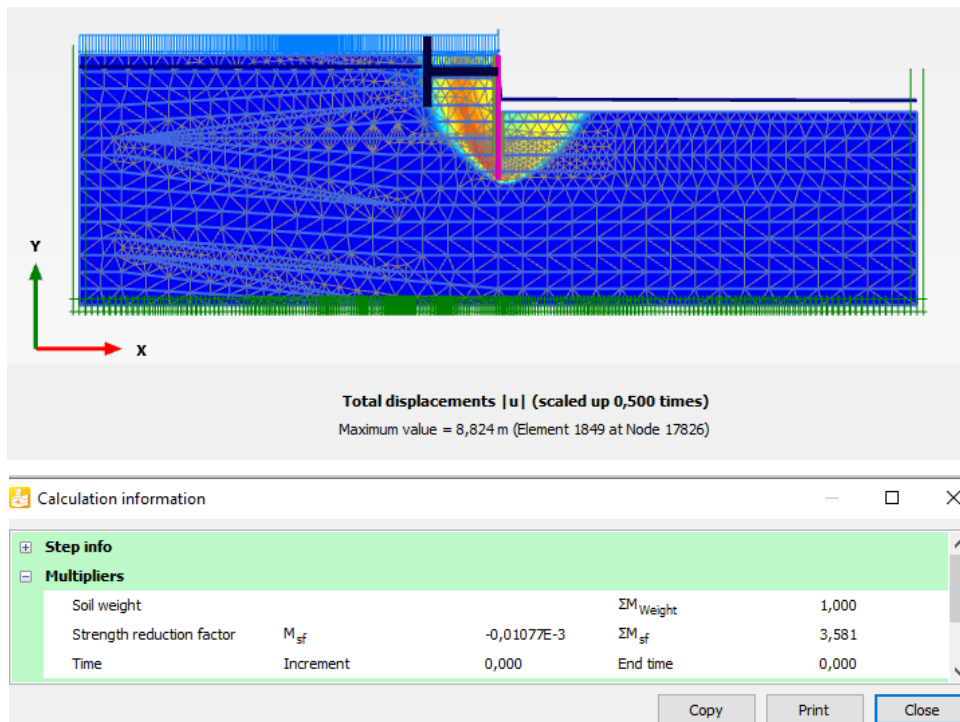
Gambar 7. Stabilitas Global Dermaga *Section 3* Kondisi Gempa, SF = 1,307

Berdasarkan hasil analisa kestabilan lereng kondisi gempa dermaga Sisi Timur *Section 3* angka keamanan yang dihasilkan adalah $SF_{pred} = 1,307$ lebih besar dari angka keamanan minimum lereng berdasarkan SNI GEOTEKNIK 8460:2017 dimana $SF_{min} = 1,1$.

3.4. Pemodelan Tidak Sesuai dengan DED

Berdasarkan pengaplikasian pemasangan perkuatan pada lapangan yang tidak sesuai dengan desain rencana yang sudah di tuangkan pada *Detail Engineering Design (DED)*., diperlukan analisis lebih lanjut terkait stabilitas perkuatan yang ada pada lapangan.

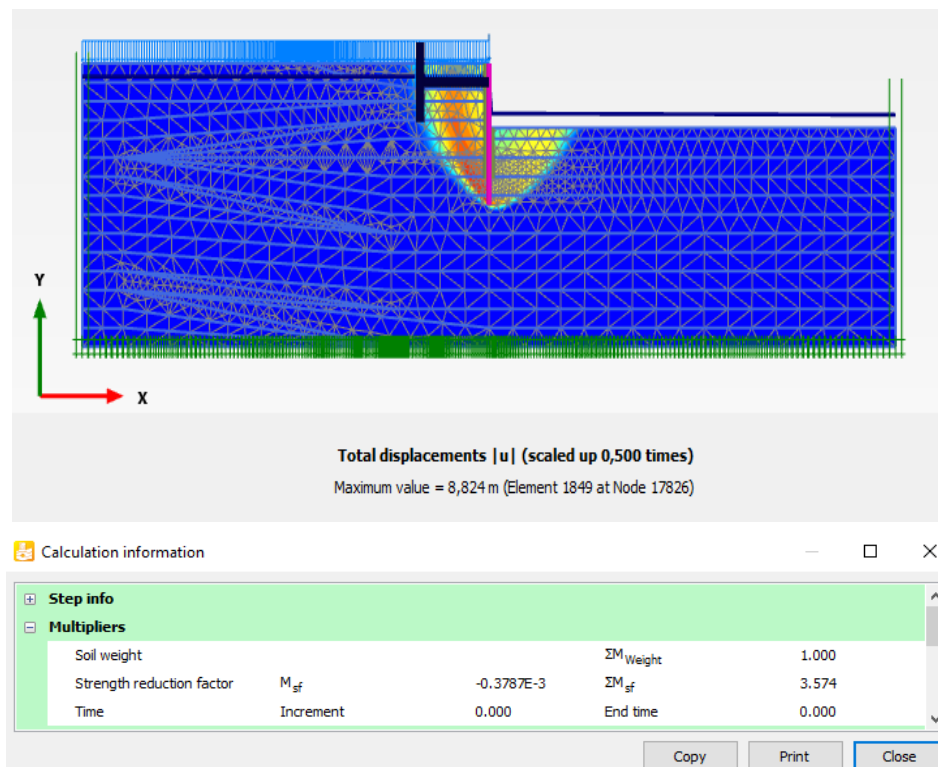
1. Analisa Stabilitas dengan Sheet Pile L 15 m Kondisi Normal



Gambar 8. Stabilitas Global Dermaga *Section 3* Kondisi Normal, SF = 3.581

Berdasarkan hasil analisa kestabilan lereng kondisi normal dermaga Sisi Timur *Section 3* dengan *Sheet Pile* L 15 m angka keamanan yang dihasilkan adalah $SF_{pred} = 3.581$ lebih besar dari angka keamanan minimum lereng berdasarkan SNI GEOTEKNIK 8460:2017 dimana $SF_{min} = 1.5$.

2. Analisis Stabilitas dengan Sheet Pile L 15 m dan L Spacing Tie Rod 2 m Kondisi Normal



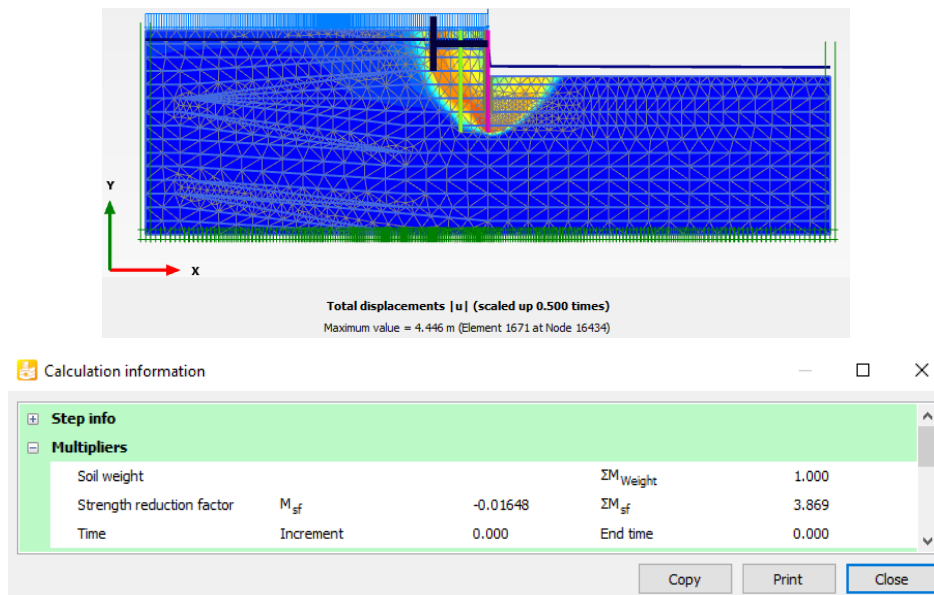
Gambar 9. Stabilitas Global Dermaga *Section 3* Kondisi Normal, SF = 3.574

Berdasarkan hasil analisa kestabilan lereng kondisi normal dermaga Sisi Timur *Section 3* dengan *Sheet Pile* L 15 m dan perkuatan L *Spacing Tie Road* 2 m angka keamanan yang dihasilkan adalah $SF_{pred} = 3.574$ lebih besar dari angka keamanan minimum lereng berdasarkan SNI GEOTEKNIK 8460:2017 dimana $SF_{min} = 1.5$.

3.5. Pemodelan Alternatif Perkuatan

Berdasarkan hasil analisa stabilitas sheet pile pada lapangan yang tidak sesuai dengan desain rencana yang sudah di tuangkan pada DED, diperlukan analisis lebih lanjut terkait stabilitas perkuatan yang ada pada lapangan. Maka dari itu dilakukan analisis dengan beberapa alternatif yang kemungkinan diaplikasikan pada lapangan, seperti penambahan Tiang Pancang dengan Tie Road L spacing 2 m, penambahan Tiang Pancang dengan jarak Anchor-Tie Road 10 meter, dan penambahan Tiang Pancang dengan Tie Road sesuai DED .

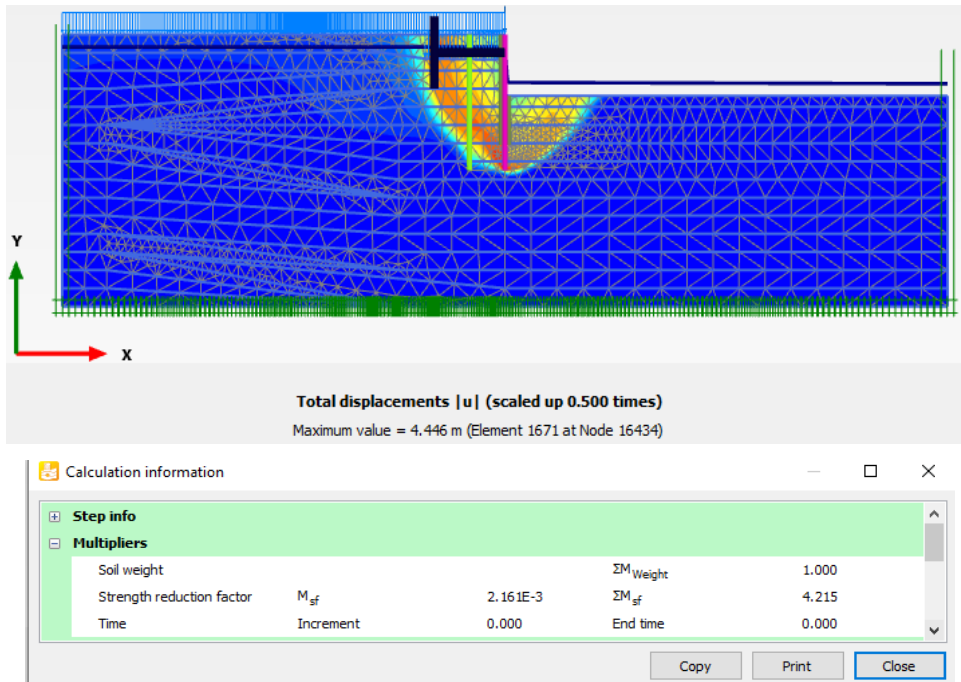
1. Alternatif Perkuatan Analisis Stabilitas Dermaga dengan Sheet Pile L 15 m, Tiang Pancang 15 m, dan L Spacing Tie Rod 2 m Kondisi Normal



Gambar 10. Stabilitas Global Dermaga *Section 3* dengan *Sheet Pile* L 15 m, Tiang Pancang 15 m dan L *Spacing Tie Road* 2 m Kondisi Normal, $SF = 3.869$

Berdasarkan hasil analisa kestabilan lereng kondisi normal dermaga Sisi Timur *Section 3* dengan *Sheet Pile* L 15 m, Tiang Pancang 15 m dan perkuatan L *Spacing Tie Road* 2 m angka keamanan yang dihasilkan adalah $SF_{pred} = 3,869$ lebih besar dari angka keamanan minimum lereng berdasarkan SNI GEOTEKNIK 8460:2017 dimana $SF_{min} = 1,5$.

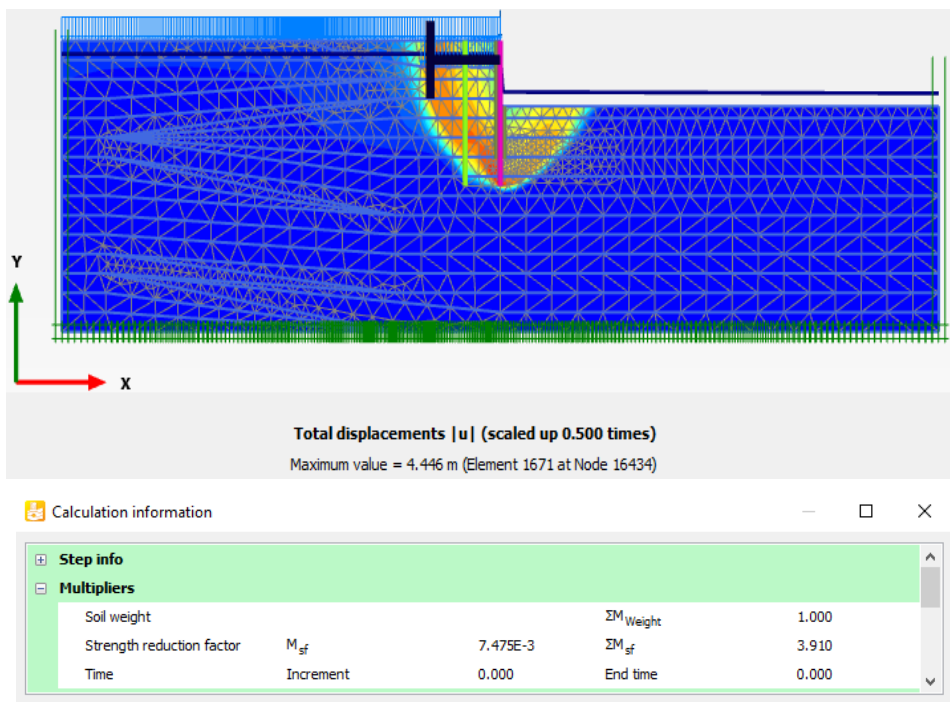
2. Alternatif Perkuatan Stabilitas Dermaga dengan *Sheet Pile* L 15 m, Tiang Pancang 15 m, dan L *Spacing Tie Rod* 2 m dengan jarak *Anchor – Tie Rod* 10 m Kondisi Normal



Gambar 11. Stabilitas Global Dermaga *Section 3* dengan *Sheet Pile* L 15 m, Tiang Pancang 15 m dan L *Spacing Tie Road* 2 m dengan jarak *Anchor – Tie Road* 10 m Kondisi Normal, SF = 4.125

Berdasarkan hasil analisa kestabilan lereng kondisi normal dermaga Sisi Timur *Section 3* dengan *Sheet Pile* L 15 m, Tiang Pancang 15 m dan perkuatan L *Spacing Tie Road* 2 m dengan jarak *Anchor – Tie Road* 10 m angka keamanan yang dihasilkan adalah $SF_{pred} = 4,125$ lebih besar dari angka keamanan minimum lereng berdasarkan SNI GEOTEKNIK 8460:2017 dimana $SF_{min} = 1,5$.

3. Alternatif Perkuatan Penambahan Tiang Pancang dengan Tie Rod Sesuai DED



Gambar 12. Stabilitas Global Dermaga *Section 3* dengan *Sheet Pile* L 15 m, Tiang Pancang 15 m, dan L *Spacing* 4 m Kondisi Normal, SF = 3.918

Berdasarkan hasil analisa kestabilan lereng kondisi normal dermaga Sisi Timur *Section 3* dengan *Sheet Pile* L 15 m, Tiang Pancang 15 m dan perkuatan L *Spacing Tie Road* 4 m angka keamanan yang dihasilkan adalah $SF_{pred} = 3.910$ lebih besar dari angka keamanan minimum lereng berdasarkan SNI GEOTEKNIK 8460:2017 dimana $SF_{min} = 1.5$.

3.6. Rekapitulasi

Tabel 1. Rekapitulasi Perbandingan Antara Pemodelan Sesuai dengan Tidak Sesuai DED

No	Perkuatan	Safety Factor		Defleksi Max (cm)		Banding Moment (kN.m/m)		Gaya Angkur (MAX) kN	Keterangan
		Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa		
		$SF_{min} = 1,5$	$SF_{min} = 1,1$	$D_{max} = 5 \text{ cm}$	$D_{max} = 5 \text{ cm}$	$M_{pred} < M_{crack} (506)$	$M_{pred} < 1,5 \times M_{crack} (759)$		
1	Pemodelan hasil sesuai DED (CCSP 18m)	4,103	1,307	2,83	3,87	184,8	178,4	439,9	OK
2	Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 15m)	3,581	1,305	3,5	12,19	423,9	606,9	886,9	NOT OK
3	Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 12m)	1,945	1,125	6,91	26,1	588,1	772,3	935,2	NOT OK
4	Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 10m)	1,833	1,04	9,88	27,04	650,1	805,6	959,1	NOT OK
5	Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 15m) dan L Spacing Tie Road 2 m	3,574	1,301	2,38	11,94	355,9	545,6	673,2	NOT OK
6	Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 12m) dan L Spacing Tie Road 2 m	1,946	1,125	5,57	24,24	423,9	606,9	698,5	NOT OK
7	Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 10m) dan L Spacing Tie Road 2 m	1,834	1,039	7,15	24,12	588,1	723,3	718,1	NOT OK

Tabel 2. Rekapitulasi Perbandingan Pemodelan Sesuai *Detail Engineering Design* (DED) dengan Alternatif Perkuatan Penambahan Tiang Pancang dengan *Tie Road* L Spacing 2 m

Perkuatan	Safety Factor		Defleksi Max (cm)		Banding Moment (kN.m/m)		Defleksi Max Pancang (cm)		Banding Moment Pancang (kN.m/m)		Gaya Angkur (MAX) kN	Keterangan
	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa		
	$SF_{min} = 1,5$	$SF_{min} = 1,1$	$D_{max} = 5 \text{ cm}$	$D_{max} = 5 \text{ cm}$	$M_{pred} < M_{crack} (506)$	$M_{pred} < 1,5 \times M_{crack} (759)$	$D_{max} = 5 \text{ cm}$	$D_{max} = 5 \text{ cm}$	$M_{pred} < M_{crack} (218)$	$M_{pred} < 1,5 \times M_{crack} (328)$		
Pemodelan hasil sesuai DED (CCSP 18m)	4,103	1,307	2,830	3,870	184,8	178,4	-	-	-	-	439,9	OK
Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 15m)	3,869	1,310	2,660	4,530	398,5	579,7	2,980	4,170	104,2	137,0	405,0	OK
Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 12m)	2,007	1,150	3,240	4,700	448,2	650,1	2,980	4,380	137,7	137,7	439,3	OK
Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 10m)	1,865	1,116	3,870	5,530	536,7	714,8	3,540	4,440	139,0	177,5	460,6	NOT OK

Tabel 3. Rekapitulasi Perbandingan Pemodelan Sesuai *Detail Engineering Design* (DED) dengan Alternatif Perkuatan Penambahan Tiang Pancang dengan Jarak *Anchor – Tie Road* 10 m

Perkuatan	Safety Factor		Defleksi Max (cm)		Banding Moment (kN.m/m)		Defleksi Max Pancang (cm)		Banding Moment Pancang (kN.m/m)		Gaya Angkur (MAX) kN	Keterangan
	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa		
	SF _{min} = 1,5	SF _{min} = 1,1	D _{max} = 5 cm	D _{max} = 5 cm	M _{pred} < M _{crack} (506)	M _{pred} <1,5× M _{crack} (759)	D _{max} = 5 cm	D _{max} = 5 cm	M _{pred} < M _{crack} (218)	M _{pred} <1,5× M _{crack} = (328)		
Pemodelan hasil sesuai DED (CCSP 18m)	4,103	1,307	2,830	3,870	184,8	178,4	-	-	-	-	439,9	OK
Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 15m)	4,215	1,654	2,187	3,850	398,5	579,7	2,980	4,170	104,2	137,0	374,9	OK
Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 12m)	2,596	1,508	3,713	3,850	400,6	584,5	2,980	4,380	137,7	137,7	388,9	OK
Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 10m)	2,08	1,368	4,26	5,07	448,2	650,1	3,540	4,440	139,0	177,5	398,2	OK

Tabel 4. Rekapitulasi Perbandingan Pemodelan Sesuai *Detail Engineering Design* (DED) dengan Alternatif Perkuatan Penambahan Tiang Pancang dengan Tie Road sesuai *Detail Engineering Design* (DED)

Perkuatan	Safety Factor		Defleksi Max (cm)		Banding Moment (kN.m/m)		Defleksi Max Pancang (cm)		Banding Moment Pancang (kN.m/m)		Gaya Angkur (MAX) kN	Keterangan
	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa	Kondisi Normal	Kondisi Gempa		
	SF _{min} = 1,5	SF _{min} = 1,1	D _{max} = 5 cm	D _{max} = 5 cm	M _{pred} < M _{crack} (506)	M _{pred} <1,5× M _{crack} (759)	D _{max} = 5 cm	D _{max} = 5 cm	M _{pred} < M _{crack} (218)	M _{pred} <1,5× M _{crack} = (328)		
Pemodelan hasil sesuai DED (CCSP 18m)	4,103	1,307	2,830	3,870	184,8	178,4	-	-	-	-	439,9	OK
Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 15m)	3,91	1,326	4,74	7,71	455,7	519	2,980	4,170	104,2	137,0	597,1	NOT OK
Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 12m)	2,006	1,232	7,93	8,27	530,2	621,4	2,980	4,380	137,7	137,7	650,3	NOT OK
Pemodelan tidak sesuai DED (CCSP 10m)	1,798	1,156	8,69	11,93	898	947,8	3,540	4,440	139,0	177,5	685,9	NOT OK

Sehingga Pemodelan yang paling efektif yang di rekomendasikan dari alternatif perkuatan yaitu pemasangan tiang pancang dengan *Lspacing Tie Rod* 2meter pada kedalaman *Sheet Pile* dan tiang pancang 12 meter.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada dermaga *section* 3 sisi Timur dengan pemodelan stabilitas yang tidak sesuai DED dan beberapa alternatif yang diterapkan, maka dapat disimpulkan bahwa hasil deformasi serta reaksi *pile* pada pemodelan stabilitas yang tidak sesuai DED dengan *sheetpile* L15m pada kondisi normal didapat nilai *displacement* D_{pred} sebesar 3,50cm < D_{allow} (kondisi stabil) pada kondisi gempa didapat nilai *displacement* D_{pred} sebesar 12,19cm > D_{allow} (kondisi tidak stabil) nilai banding *moments* kondisi normal M_{pred} sebesar 423 kN,m/m < M_{crack} =506 kN,m/m (kondisi stabil) nilai banding *moments* kondisi gempa M_{pred} sebesar 606,9 kN,m/m < M_{crack} =759 kN,m/m (kondisi stabil), pada *sheet pile* L12m pada kondisi normal didapat nilai *displacement* D_{pred} sebesar 6,91cm < D_{allow} (kondisi tidak stabil) pada kondisi gempa didapat nilai *displacement* D_{pred} sebesar 26,1 cm > D_{allow} (kondisi tidak stabil) nilai banding *moments* kondisi normal M_{pred} sebesar 588,1 kN,m/m < 506 kN,m/m (kondisi stabil) nilai banding *moments* kondisi gempa M_{pred} sebesar 772,3 kN,m/m < M_{crack} =759 kN,m/m (kondisi stabil), pada *sheet pile* L10m kondisi normal didapat nilai *displacement* D_{pred} sebesar 9,88 cm < D_{allow} (kondisi tidak stabil) pada kondisi gempa didapat nilai *displacement* D_{pred} sebesar 27,04 cm > D_{allow} (kondisi tidak stabil) nilai banding *moments* kondisi normal M_{pred} sebesar 650,1 kN,m/m < 506 kN,m/m (kondisi stabil) nilai banding *moments* kondisi gempa M_{pred} sebesar 805,6 kN,m/m > M_{crack} =759 kN,m/m (kondisi tidak stabil),

Daftar Notasi

ϕ = internal friction (°)
 N' = corrected N-SPT

Daftar Pustaka

- Alfianty, Desi, 2019, “Studi Kestabilan Perkuatan Tebing Dermaga Quay Wall Di Matan Kabupaten Kayong Utara,” : 1–10,
- Anbya, Yasinta Yati Nur, 2015, “Studi Perencanaan Desain Turap Baja Dengan Metode Finite Element Di Bantaran Sungai Jelarai Tanjung Selor,”
- Craig, R.F., and Budi Susilo, 1989, “Mekanika Tanah, Edisi IV,”: 6, 19, 109,110, 171,174,176,<https://labmekanikatanah.files.wordpress.com/2013/07/mekanika-tanah-r-f-craig.pdf>,
- Das, Braja M, 1993, “Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2,” *Erlangga*: 239,
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2010, “Mekanika Tanah I, Edisi III,” *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952,
- Ihsan, Pemi, “Fenomena Cerucuk Sebagai Peningkatan Daya Dukung Dan Mereduksi Penurunan Beban Bangunan Di Atas Tanah Lembek,”
- Nazir, Muhammad Shahid et al, 2018, “Analisis Kestabilan Lereng Studi Kasus Kelongsoran Ruas Jalan Sicincin-Malalak KM 27,6 Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam,” *Spectrochimica Acta - Part A*,
- Pasaribu, Bangun, Jupriah Sarifah, and Ahmad Fidel Rifky, 2021, “Analisa Faktor Keamanan Tiang Pada Pembangunan Dermaga SImiando Kabupaten Samosir,”
- SNI-8460 (2017), “Persyaratan Perancangan Geoteknik,” *SNI 8460-2017* 8460:2017,
- Swardana, Ryan, 2019, Universitas Internasional Batam Perencanaan Pembangunan Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi Di Universitas Internasional Batam, Batam,
- Wesley, Laurence D, 2012, “Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan Dan Residu,” : 577, [http://web.ipb.ac.id/~erizal/mektan/2010_Mekanika Tanah untuk Tanah endapan dan residu.pdf](http://web.ipb.ac.id/~erizal/mektan/2010_Mekanika_Tanah_untuk_Tanah_endapan_dan_residu.pdf),
- Zulfikar, A, 2020, “Mengenal Fungsi Dan Jenis Dinding Penahan Tanah, Konstruksi Lahan Miring,”