

## **EVALUASI PENGGUNAAN METODE NON TANGGUL DAN TANGGUL PADA LAHAN REKLAMASI PENGEMBANGAN TERMINAL PETI KEMAS PELABUHAN TANJUNG MAS SEMARANG**

Ranggi Sanggawuri, Defri Maulana, Y.I Wicaksono<sup>\*)</sup>, Wahyudi Kushardjoko<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### **ABSTRAK**

Adanya keterbatasan lahan pada pengembangan TPKS menimbulkan pembangunan lahan reklamasi dengan metode non tanggul dan metode tanggul. Perkuatan kontruksi struktur turap dan pile miring pada tiap metode akan dianalisis menggunakan software Plaxis 2D. Hasil analisis yang didapatkan dari Plaxis adalah faktor keamanan dan gaya dalam.. Variasi 1 menggunakan metode non tanggul mempunyai safety factor 1,27 dan biaya tambahan yang diperlukan sebesar Rp.3,880,854,789 dari nilai kontrak (variasi 2B); variasi 2A menggunakan metode tanggul dengan dredging sd – 9 m mempunyai safety factor 1,4203 dan biaya yang dihemat sebesar Rp.1,193,035,512 dari nilai kontrak (variasi 2B); variasi 2B menggunakan metode tanggul dengan dredging sd – 12.5 m mempunyai safety factor 1.3387 dengan nilai biaya sesuai dengan kontrak proyek sebesar Rp.211,090,224,932; variasi 3 menggunakan metode tanggul dengan penambahan geotextile mempunyai safety factor 1.6614 dan biaya tambahan yang diperlukan sebesar Rp.1,233,863,485 dari nilai kontrak (variasi 2B); variasi 4 menggunakan metode tanggul dengan penambahan jangkar mempunyai safety factor 2.3044 dan biaya tambahan yang diperlukan sebesar Rp.3,963,658,400 dari nilai kontrak (variasi 2B). Perbandingan penggunaan metode non tanggul dengan metode tanggul menghasilkan bahwa metode tanggul lebih baik digunakan dibandingkan metode non tanggul.

**kata kunci :** *Geotextile, Jangkar, Metode Tanggul, Metode Non Tanggul, PLAXIS 2D, Pile Miring, Reklamasi, Turap*

### **ABSTRACT**

*There are limitations on the land development in TPKS lead to make reclamation land with non levee and levee method. The strength of steel pile and batter pile structure construction in each method will be analyzed using Plaxis 2D. The analysis result from Plaxis 2D are safety factor and structure force. The result from first variation uses non levee method has safety factor about 1,27 and has additional cost about Rp.3,880,854,789 from contract (second B variation); the result from second A variation uses levee method with dredging until – 9 m has safety factor about 1,4203 and save the cost about Rp.1,193,035,512 from contract (second B variation); the result from second B variation uses levee method with dredging until – 12,5 m has safety factor about 1.3387 and cost equal to contract about Rp.*

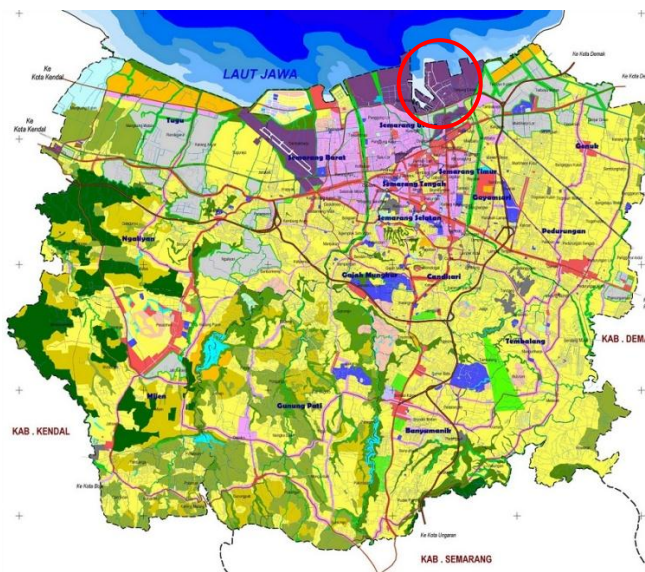
<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

211,090,224,932; the result from third variation uses levee method with add geotextile has safety factor about 1,6614 and has additional cost about Rp.1,233,863,485 from contract (second B variation); the result from fourth variation uses levee method with add anchor has safety factor about 2,3044 and has additional cost about Rp.3,963,658,400 from contract (second B variation). Comparation between non levee method and levee method has result that levee method is better than non levee method.

**keywords:** *Geotextile, Jangkar, Metode Tanggul, Metode Non Tanggul, PLAXIS 2D, Pile Miring, Reklamasi, Turap*

## **PENDAHULUAN**

Perkembangan jumlah kapal di Pelabuhan Tanjung Mas yang semakin bertambah banyak mendorong PT. Pelindo III untuk memperbaiki fasilitas pelabuhan dengan melakukan Perpanjangan Dermaga dan Pengembangan *Countainer Yard*. Adanya perpanjangan dan pengembangan tersebut mengakibatkan perlunya pembuatan lahan baru seperti reklamasi dengan metode non tanggul dan tanggul dalam pelaksanaannya. Perbedaan metode inilah yang nantinya akan mempengaruhi kekuatan tiang pancang dan faktor keamanan yang ada sehingga perlu diadakannya evaluasi terhadap setiap metode. Adapun lokasi studi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Pelabuhan Tanjung Mas

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Sistem Reklamasi**

Ada beberapa sistem yang menyangkut pertimbangan-pertimbangan reklamasi, yaitu tujuan reklamasi itu sendiri, kondisi dan lokasi lahan, serta ketersediaan sumber daya. Beberapa sistem tersebut, yaitu sistem kanalisasi, sistem polder dan sistem urugan.

## **Parameter Desain**

Dalam merencanakan atau mengevaluasi suatu konstruksi tanggul diperlukan beberapa parameter desain seperti stratifikasi tanah yang menggambarkan jenis lapisan tanah, perilaku karakteristik tanah, dan parameter tanah yang diperlukan sebagai masukan data model material *Mohr-Coulomb* pada *software plaxis*. Adapun parameter-parameter tanah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kohesi ( $c$ )
2. Sudut geser dalam ( $\phi$ )
3. Modulus young ( $E_{ref}$ )
4. Poisson's ratio ( $\nu$ )
5. Sudut dilatasi ( $\psi$ )
6. Berat isi tanah kering ( $\gamma_{dry}$ )
7. Berat isi tanah jenuh air ( $\gamma_{sat}$ )
8. Permeabilitas arah vertikal ( $k_y$ ) dan permeabilitas arah horizontal ( $k_x$ )

Untuk mendapatkan nilai-nilai parameter tanah tersebut maka terlebih dahulu dilakukan beberapa pengujian lapangan dan laboratorium seperti, uji *standard penetration test (SPT)*, uji triaxial, dan *soil test*

## **Perbaikan Tanah dengan *Vertical Drain***

Fungsi utama digunakannya *vertical drain* dalam suatu lapisan tanah lempung "*compressible*" adalah untuk mempercepat proses konsolidasi primer.

Terdapat 2 jenis *vertical drain*, yaitu:

1. *Vertical Sand Drain*, yaitu dengan membuat lubang bor pada lapisan lempung dan diisi dengan pasir dengan gradasi tertentu.
2. *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* yang berupa *band-shaped (rectangular cross section)* yang terdiri dari *synthetic geotextile jacket* di sekeliling *plastic core*. Jacket tersebut umumnya dibuat dari bahan *non-woven poly-ester* atau *polypropylene geotextile*.

## ***Geotextile***

*Geotextile* meliputi *woven* (tenun) dan *non woven* (tanpa tenun). Tenun dihasilkan dari '*interlaying*' antara benang-benang melalui proses tenun, sedangkan *non woven* dihasilkan dari beberapa proses seperti: *heat bonded* (dengan panas), *needle punched* (dengan jarum), dan *chemical bonded* (menggunakan bahan kimia). Perbedaan dari dua jenis *geotextile* terletak pada kekuatan tariknya dikarenakan *geotextile woven* memiliki *tensile strength* (kuat tarik) yang lebih tinggi dibandingkan dengan *geotextile non woven*.

## **Jangkar Tanah atau *Ground Anchor***

Jangkar merupakan bagian penting dari struktur yang mengirimkan gaya tarik (*tensile force*) dari struktur utama ke tanah di sekitar jangkar. Kekuatan geser dari tanah disekitarnya digunakan untuk melawan gaya tarik jangkar itu dan, untuk mengikat jangkar pada tanah yang cocok. Kebanyakan dari jangkar biasanya terdiri dari baja tendon dengan

kekuatan tinggi yang dipasang pada sudut kemiringan (inklinasi) tertentu dan pada kedalaman yang diperlukan untuk melawan beban yang ada.

Adapun 3 fungsi dasar penjangkaran pada tanah yaitu:

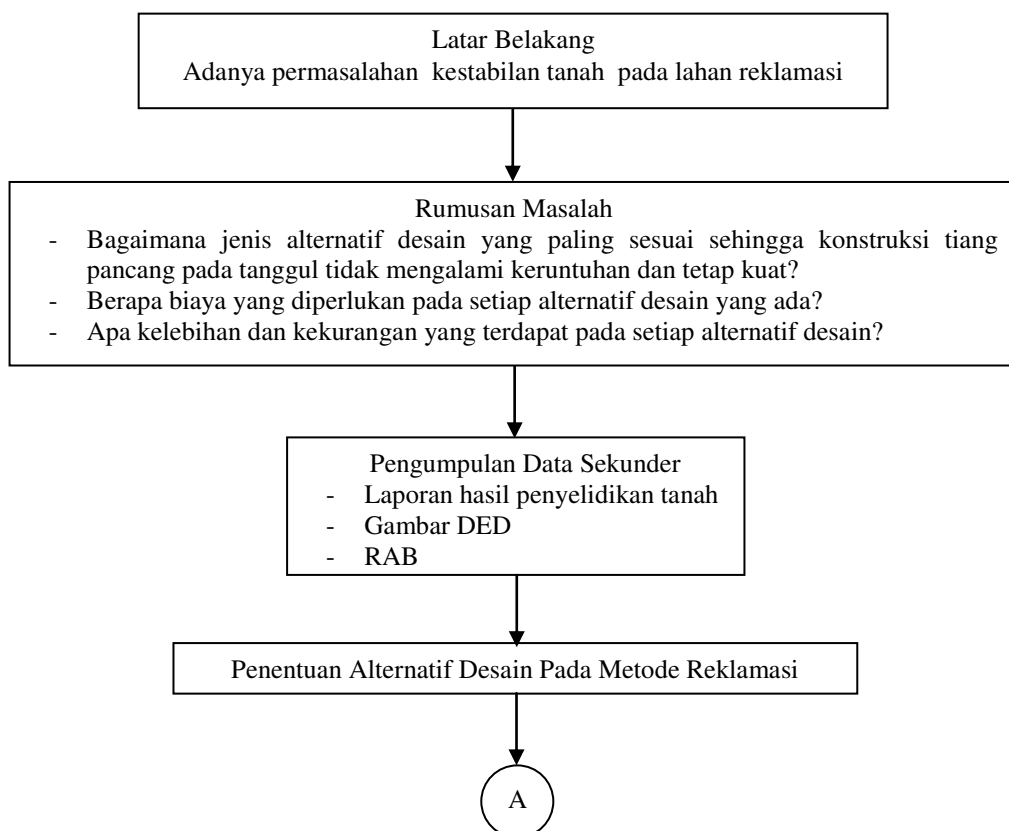
1. Menimbulkan gaya-gaya yang merupakan interaksi antara struktur dengan tanah.
2. Menimbulkan tegangan pada dasar tanah.
3. Membuat gaya prategang (prestress) pada struktur jangkar tersebut.

### Tinjauan Software

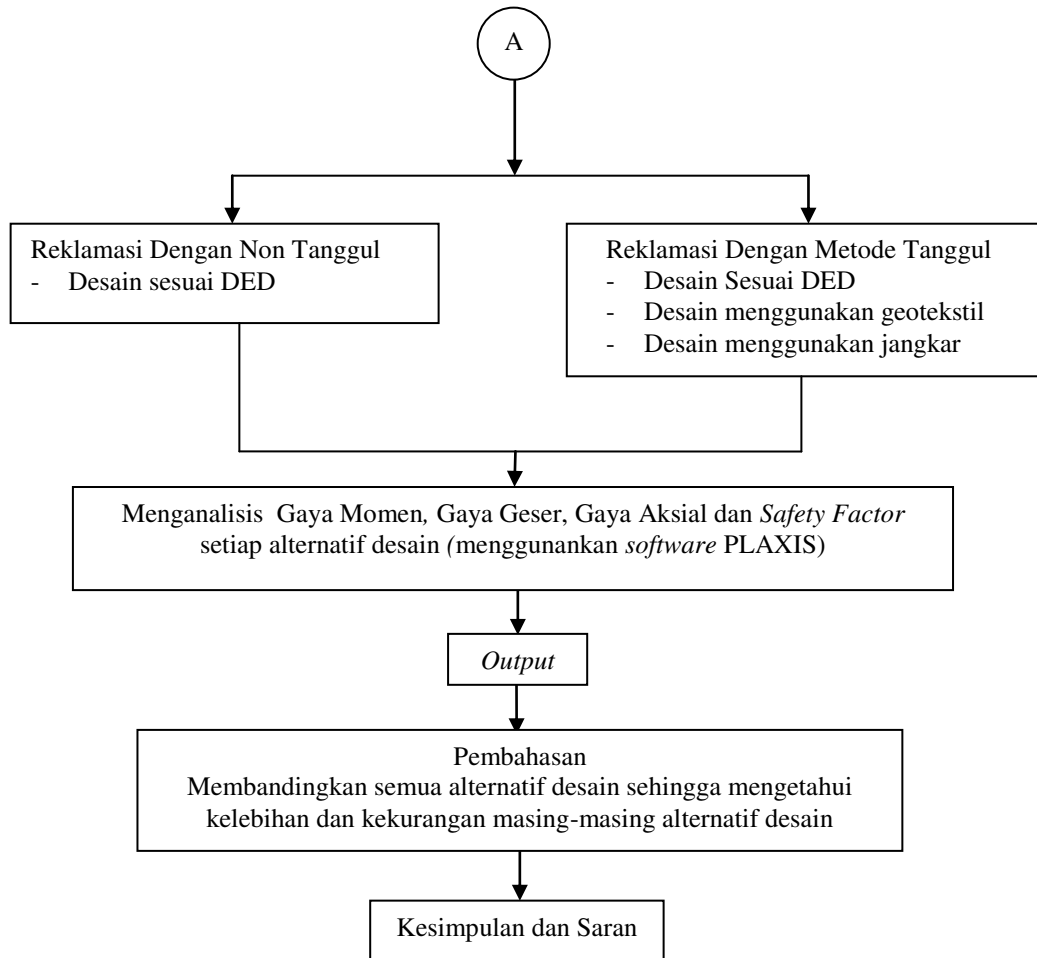
*Plaxis* mendukung berbagai model konstitutif untuk memodelkan perilaku dari material tanah maupun material kontinum lainnya. Adapun model material yang terdapat pada *plaxis* adalah model *Mohr-Coulomb*, model *Linear Elastis*, model *Jointed Rock*, model *Hardening Soil*, model *Soft Soil*, model *Soft Soil Creep*, model tanah dari pengguna. Perhitungan *software* PLAXIS pada tugas akhir kali ini menggunakan model *Mohr-Coulomb* dan terbagi menjadi tiga tahapan pemrograman yaitu masukan (*input*), perhitungan dan keluaran (*output*).

### METODOLOGI

Bagan alir penyusunan laporan Tugas Akhir “Evaluasi Penggunaan Metode Non Tanggul dan Tanggul Pada Lahan Reklamasi Pengembangan Terminal Peti Kemas Pelabuhan Tanjung Mas Semarang ” ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Studi Evaluasi Metode Non Tanggul dan Tanggul pada Lahan Reklamasi Pengembangan TPKS



Gambar 2. Bagan Alir Studi Evaluasi Metode Non Tanggul dan Tanggul pada Lahan Reklamasi Pengembangan TPKS (Lanjutan)

## ANALISA DAN PEMBAHASAN

### Data Masukan

Terdapat beberapa data masukan yang akan digunakan dalam analisis menggunakan software plaxis. Beberapa data masukan itu adalah data tanah pada Tabel 1, *properties* SPP untuk setiap variasi pada Tabel 2, *properties geotextile* untuk khusus variasi 3 pada Tabel 3 dan data jangkar khusus untuk variasi 4 pada Tabel 4.

### Pemodelan dengan Plaxis

Geometri lain yang digunakan dalam desain ini antara lain:

- a. Panjang x lebar penurapan = 25 x 105 m<sup>2</sup>
- b. Panjang turap = 51.00 m
- c. *Pile* Miring = 64.00 m
- d. Tinggi timbunan *preloading* = 3.30 m
- e. Jarak antar *pile* miring/jangkar = 3.95 m
- f. Luas lahan Reklamasi = 105 x 205 m<sup>2</sup>

- g. Beban peralatan dan kendaraan = 15.00 kN/m
- h. Elevasi ujung atas turap luar = 3.20
- i. Elevasi tanah *existing (seabed)* = -4.00
- j. Elevasi rencana alur pengerukan = -12.5
- k. Elevasi rencana *preloading* = 6.50
- l. *Geotextile* ( 4 Lapis ) = @60.00 m

Tabel 1. Parameter Tanah Tiap Cluster

Parameter	Fill	Softclay	Mediumclay	Sandbag	Unit
Model material	MC	MC	MC	L. Elastic	-
Sifat material	Drained	Drained	Drained	Drained	-
Elevasi	-4 s/d +6,5	-4 s/d -32	-32 s/d -90		m
Y unsat	1.00E+00	1.00E-03	1.00E-03	1.00E+00	[m/day]
Y sat	1.00E+00	1.00E-03	1.00E-03	1.00E+00	[m/day]
Kx	70,000	1,500	3,500	70,000	[kN/m2]
Ky	0.35	0.3	0.30	0.40	-
Eref	10.00	15	15.00	0.00	[kN/m2]
V	40.00	10	20.00	0.00	0
c ref	1.00E+00	1.00E-03	1.00E-03	1.00E+00	[m/day]
Φ	1.00E+00	1.00E-03	1.00E-03	1.00E+00	[m/day]
ψ	10.00	-	-	0.00	0

Parameter	Softclay 20%	Softclay 60%	Softclay 100%	Unit
Model material	MC	MC	MC	-
Sifat material	Drained	Drained	Drained	-
Elevasi	-4 s/d -32	-4 s/d -32	-4 s/d -32	m
Y unsat	16.50	16.50	17.50	[kN/m3]
Y sat	19.50	19.50	20.50	[kN/m3]
Kx	1.00E-03	1.00E+00	1.00E-05	[m/day]
Ky	1.00E-03	1.00E+00	1.00E-05	[m/day]
Eref	8,000	10,000	20,000	[kN/m2]
V	0.35	0.35	0.35	-
c ref	5	15	15	[kN/m2]
Φ	10	20	25	0
Waktu Konsolidasi	90	90	180	Day

Sumber: Hasil analisis

Tabel 2. Properties Steel Pipe Pile ( SPP )

Parameter		Pipe 91,4 (cm)	Pipe 101,6(cm)	Unit
Material type	Baja	3200	3200	[kg/cm2]
Elasticity	Es	2.10E+08	2.10E+08	[kN/m2]
Normal Stiffnes	EA	8,308,440	9,250,063	[kN / m]
Flexural rigidity	EI	842,076	1,162,002	[kN.m <sup>2</sup> /m]
Weight	w	3.11	3.46	[kN/m/m]
Poison ratio	v	0.15	0.15	-
Section Modulus	Z	8,774	12,103	[cm <sup>3</sup> ]
Tegangan dasar	sd	2,080	2,080	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Sectional area	A	395.64	440.48	[cm <sup>2</sup> /m]
Moment Inertia	I	400,989	553,334	[cm <sup>4</sup> /m]
Kapasitas Momen SPP	M n	280.78	387.29	[t.m]
Kapasitas Geser SPP	V n	759.63	845.72	[t]
Kapasitas Normal SPP	N n	1266.05	1409.53	[t]

Sumber: Hasil analisis

Tabel 3. *Properties Geotextile*

Parameter			Unit
Normal <i>Stiffnes</i>	EA	100000	[kN/m]

Sumber: Hasil analisis

Tabel 4. Data Jangkar

Parameter			Unit
Normal <i>Stiffnes</i>	EA	77000	[kN]
L ( spasi )	Ls	3.95	[m]

Sumber: Hasil analisis

### Variasi 1 Model Non Tanggul (Dermaga Lama)

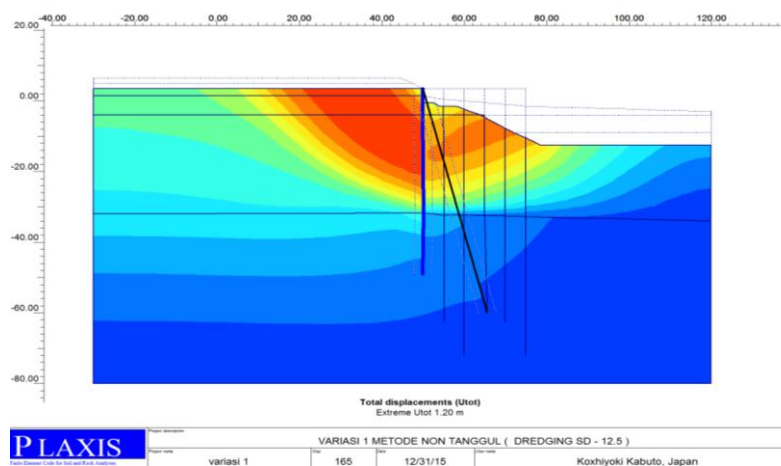
#### Tahapan Analisa Perhitungan

Dalam *software* terdapat beberapa tahapan yang harus disesuaikan dengan tahapan di lapangan agar dapat diproses dan dihitung sehingga mendapatkan nilai keluaran yang diharapkan. Adapun tahapan yang terdapat pada variasi 1 adalah sebagai berikut:

1. Timbunan sd +1,6 (konsolidasi sudah dianggap mencapai 20-30%)
2. Pemancangan
3. Timbunan sd +3,2
4. Timbunan sd +5 (konsolidasi sudah dianggap mencapai 60-70%)
5. Timbunan sd +6,5 (konsolidasi sudah dianggap mencapai 90-100%)
6. *Unloading* sd +3,2
7. *Dredging* sd -12,5
8. *Safety factor*

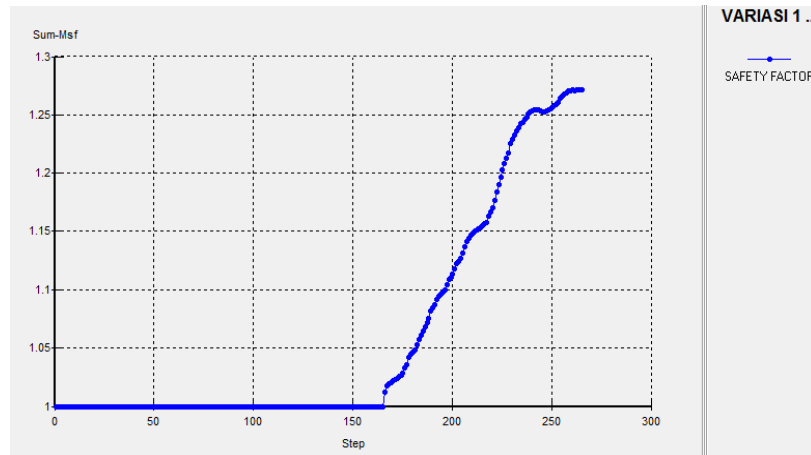
#### Hasil Analisa Perhitungan

Dari tahapan analisa perhitungan pada variaasi 1 didapatkan nilai keluaran berupa deformasi pada setiap tahapan (Gambar 1) dan nilai *safety factor* sebesar 1.2718 yang dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Deformasi Pada Salah Satu Tahapan (Fase *Dredging* sd – 12,5)

Sumber: Hasil analisis



Gambar 2. Grafik *Safety factor* Variasi 1 Metode Non Tanggul  
 Sumber: Hasil analisis

Selain nilai keluaran seperti gambar di atas, plaxis juga dapat menampilkan nilai gaya dalam dan perpindahan yang terjadi pada turap dan *pile* miring yang terdapat pada konstruksi. Pada variasi 1 menggunakan metode non tanggul gaya dalam yang terjadi pada struktur relatif aman karena tidak ada yang melebihi batas momen nominal struktur baik pada *SPP* 91.4 maupun *SPP* 101.6, akan tetapi pada pelaksanaannya penggunaan tanah timbunan akan bertambah karena kehilangan tanah yang hilang akibat meluber ke arah kolam pelabuhan menyebabkan volume tanah timbunan tidak dapat diperkirakan dengan akurat.

**Variasi 2A Metode Tanggul (Dermaga Baru) *Dredging* sd – 9.00 m**

***Tahapan Analisa Perhitungan***

Dengan menggunakan parameter tanah dan *SPP* yang sama dengan sebelumnya, pada metode tanggul tahapan yang ada sedikit berbeda dengan metode non tanggul untuk tahapan awalnya. Adapun tahapan yang terdapat pada variasi 2A adalah sebagai berikut:

1. Pemancangan
2. Pemberian *Counterweight*
3. Timbunan sd +1,6 (konsolidasi sudah dianggap mencapai 20-30%)
4. Timbunan sd +3,2
5. Timbunan sd +5 (konsolidasi sudah dianggap mencapai 60-70%)
6. Timbunan sd +6,5 (konsolidasi sudah dianggap mencapai 90-100%)
7. *Unloading* sd +3,2
8. *Dredging* sd –9.00 (elevasi *dredging* tahap awal)
9. *Safety factor*

***Hasil Analisa Perhitungan***

Dari tahapan analisa perhitungan pada variasi 2A didapatkan nilai keluaran berupa deformasi pada setiap tahapan dan nilai *safety factor* sebesar 1.4203 yang menandakan nilai *safety factor* pada variasi 2A masih berada di bawah standar yang digunakan, yakni 1.5.



Pada Variasi 2A metode Tanggul, kekuatan struktur pada turap dan *pile* miring mulai mengalami kegagalan pada saat tahapan pekerjaan timbunan sd +3.2. Hal ini dikarenakan momen yang terjadi pada struktur tersebut lebih besar dari nilai momen nominal yang ada.

### **Variasi 2B Metode Tanggul (Dermaga Baru) *Dredging* sd – 12.50 m**

#### ***Tahapan Analisa Perhitungan***

Dengan menggunakan parameter tanah dan *SPP* yang sama dengan sebelumnya, variasi 2B metode tanggul memiliki kesamaan tahapan dengan variasi 2A, hanya berbeda pada elevasi *dredging* yang sudah mencapai elevasi rencana kolam alur pelayaran, yaitu -12.5.

#### ***Hasil Analisa Perhitungan***

Dari tahapan analisa perhitungan pada variasi 2B didapatkan nilai keluaran berupa deformasi pada setiap tahapan dan nilai *safety factor* sebesar 1.3387 yang menandakan nilai *safety factor* pada variasi 2B masih berada di bawah standar yang digunakan, yakni 1.5.

Pada Variasi 2B metode Tanggul, kekuatan struktur pada turap mulai mengalami kegagalan pada saat timbunan sd + 5, sedangkan pada *pile* miring mulai mengalami kegagalan pada saat timbunan sd +3.2 dikarenakan momen yang terjadi pada struktur tersebut lebih besar dari nilai momen nominal yang ada. Penanggulangannya dengan pemberian *geotextile* atau ankur.

### **Variasi 3 Metode Tanggul (Dengan *Geotextile*)**

#### ***Tahapan Analisa Perhitungan***

Dengan menggunakan parameter tanah dan *SPP* yang sama dengan sebelumnya dan ditambahkan dengan geometri *geotextile* rencana yang akan digelar serta data *properties geotextile*, variasi 3 metode tanggul memiliki kesamaan tahapan dengan variasi 2B, hanya pada variasi ini harus terlebih dahulu dilakukan penggelaran *geotextile woven* saat timbunan tanah +1.6.

#### ***Hasil Analisa Perhitungan***

Dari tahapan analisa perhitungan pada variasi 3 didapatkan nilai keluaran berupa deformasi pada setiap tahapan dan nilai *safety factor* sebesar 1.6614 yang menandakan nilai *safety factor* pada variasi 3 sudah memenuhi standar minimal yang digunakan, yakni 1.5.

Pada Variasi 3 metode tanggul, kekuatan struktur pada turap dapat dikatakan aman karena gaya momen yang terjadi dari tahapan awal hingga akhir konstruksi bernilai lebih kecil dari kapasitas momen turap yang ada, sedangkan untuk struktur *pile* miring mulai mengalami kegagalan pada saat timbunan sd +1,6. Hal ini dikarenakan momen yang terjadi pada struktur tersebut lebih besar dari nilai momen nominal yang ada.

#### **Variasi 4 Model Tanggul (Dengan Jangkar)**

##### ***Tahapan Analisa Perhitungan***

Dengan menggunakan parameter tanah dan *SPP* yang sama dengan sebelumnya dan ditambahkan dengan data *properties* jangkar yang akan ditambahkan sepanjang 60 m per lapis, variasi 4 metode tanggul memiliki kesamaan tahapan dengan variasi 2B, hanya pada variasi ini setelah penimbunan tanah hingga elevasi +1.6 harus terlebih dahulu dilakukan pemasangan jangkar agar dapat lanjut ke tahapan berikutnya.

##### ***Hasil Analisa Perhitungan***

Dari tahapan analisa perhitungan pada variasi 4 didapatkan nilai keluaran berupa deformasi pada setiap tahapan dan nilai *safety factor* sebesar 2.3044 yang menandakan nilai *safety factor* pada variasi 4 sudah memenuhi standar minimal yang digunakan, yakni 1.5.

Pada variasi 4 metode tanggul menggunakan jangkar, kekuatan struktur pada turap dan *pile anchor/pile* miring dapat dikatakan aman karena gaya momen yang terjadi dari tahapan awal hingga akhir konstruksi bernilai lebih kecil dibanding kapasitas momen turap dan *pile anchor/pile* miring yang ada.

#### **Perbandingan Biaya Tiap Variasi**

Perhitungan biaya pada tiap variasi ini beracuan pada analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) yang ada dengan berpatokan pada nilai kontrak variasi 2B sebagai pembandingnya.

##### ***Variasi 1 Model Non Tanggul (Dermaga Lama)***

Dengan menggunakan AHSP timbunan tanah reklamasi dan *dredging* didapat pula biaya yang diperlukan jika menggunakan variasi 1 metode non tanggul. Biaya yang dikeluarkan didapat dengan mengalikan volume pekerjaan dengan AHSP yang ada, sehingga biaya tambahan yang perlu dikeluarkan pada variasi 1 metode non tanggul sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Pengadaan tanah} &= \text{volume tanah hilang} \times \text{AHSP tanah} \\ &= 33750.67217 \times 114,986.00/\text{m}^3 \\ &= \text{Rp. } 3,880,854,789.56 \end{aligned}$$

##### ***Variasi 2A Metode Tanggul (Dermaga Baru) Dredging sd – 9.00 m***

Dengan menggunakan AHSP *dredging* didapat biaya yang diperlukan jika menggunakan variasi 2A metode tanggul *dredging* – 9.00 m. Biaya yang dihemat pada variasi ini didapat dengan mengalikan volume pekerjaan dengan AHSP yang ada. Adapun nilai biaya yang dihemat adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Pekerjaan } \textit{dredging} &= \text{volume tanah dasar} \times \text{AHSP } \textit{dredging} \\ &= 6706.21 \times 177,900.00/\text{m}^3 \\ &= \text{Rp. } 1,193,035,512.41 \end{aligned}$$

### **Variasi 2B Metode Tanggul (Dermaga Baru) Dredging s/d – 12.50 m**

Variasi 2 B metode tanggul dengan *dredging* s/d - 12.5 m merupakan acuan biaya yang dipakai pada pembahasan tentang biaya yang dikeluarkan jika menggunakan alternatif lain, sehingga nantinya variasi-variasi lain dapat dikatakan lebih boros ataupun lebih hemat dibandingkan variasi 2B ini. Biaya total variasi 2B metode tanggul sesuai dengan nilai kontrak proyek dalam pembangunan pengembangan TPKS sebesar Rp. 211,090,224,931.72.

### **Variasi 3 Metode Tanggul (Dengan Geotextile)**

Dengan menggunakan AHSP *geotextile* didapat biaya yang diperlukan jika menggunakan variasi 3 metode tanggul dengan *geotextile* seluas 60x105 m<sup>2</sup> sebanyak empat lapis. Biaya yang dikeluarkan pada variasi 3 metode tanggul dengan *geotextile* didapat dengan mengalikan luasan pekerjaan dengan AHSP yang ada, sehingga biaya tambahan yang perlu dikeluarkan pada variasi 3 metode tanggul sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Pekerjaan geotextile} &= \text{luas gelaran pekerjaan geotextile} \times \text{AHSP geotextile} \\ &= 25,200 \times 48,962.84/ \text{m}^2 \\ &= \text{Rp. } 1,233,863,485.19 \end{aligned}$$

### **Variasi 4 Model Tanggul (Dengan Jangkar)**

Dengan menggunakan AHSP jangkar didapat biaya yang diperlukan jika menggunakan variasi 4 metode tanggul dengan panjang jangkar 65 m dan spasi 3.95 m. Biaya yang dikeluarkan pada variasi 4 metode tanggul dengan jangkar didapat dengan mengalikan panjang jangkar dan jumlah *anchorage* dengan AHSP yang ada seperti perhitungan di bawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Pekerjaan jangkar} &= \text{panjang jangkar} \times \text{AHSP jangkar} \\ &= 1690 \times 45,360.00/\text{m} \\ &= \text{Rp. } 76,658,400.00 \\ \text{Pekerjaan anchorage hidup} &= \text{anchorage hidup} \times \text{AHSP anchorage hidup} \\ &= 130 \times 750.000.00/\text{bh} \\ &= \text{Rp. } 2,535,000,000.00 \\ \text{Pekerjaan anchorage mati} &= \text{anchorage mati} \times \text{AHSP anchorage mati} \\ &= 130 \times 400.00.00/\text{bh} \\ &= \text{Rp. } 1,352,000,000.00 \end{aligned}$$

Sehingga biaya tambahan yang perlu dikeluarkan pada variasi 4 metode tanggul adalah m Rp. 76,658,400.00 + Rp. 2,535,000,000.00 + Rp.1,352,000,000.00 = Rp 3.963.658.400.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui keuntungan dan kerugian setiap metode adalah sebagai berikut:
  - a. Metode non tanggul memiliki keuntungan dan kerugian seperti di bawah ini.

Keuntungan:

- Metode pelaksanaan relatif lebih mudah di bandingkan metode Tanggul
- Penggunaan *Steel Pipe Pile (SPP)* lebih aman karena tanah dasar sudah terlebih dahulu terkonsolidasi.

Kerugian:

- Mendangkalkan alur pelayaran karena tanah timbunan ditimbun dahulu baru diturap
- Mengganggu operasional pelabuhan karena adanya pendangkalan alur pelayaran
- Penggunaan tanah timbunan relatif lebih banyak dibanding metode Tanggul
- Pekerjaan pengerukan/dredging tanah lebih banyak dibandingkan metode Tanggul

b. Metode tanggul memiliki keuntungan dan kerugian seperti di bawah ini.

Keuntungan:

- Tidak mendangkalkan alur pelayaran karena tanah timbunan reklamasi tertahan turap
- Tidak mengganggu operasional pelabuhan karena tidak ada pendangkalan alur pelayaran
- Penggunaan tanah timbunan relatif lebih sedikit dibandingkan metode non tanggul
- Pekerjaan pengerukan / dredging lebih efisien dibandingkan metode non tanggul

Kerugian:

- Metode pelaksanaan relatif lebih sukar dibandingkan metode non tanggul
- Penggunaan *Steel Pipe Pile (SPP)* cenderung kurang aman karena tanah dasar belum terkonsolidasi.

2. Nilai *safety factor* dari setiap variasi adalah sebagai berikut:

- Variasi 1 menggunakan Metode non tanggul memiliki *safety factor* 1.2718.
- Variasi 2A menggunakan Metode tanggul memiliki *safety factor* 1.4203.
- Variasi 2B menggunakan Metode tanggul memiliki *safety factor* 1.3387.
- Variasi 3 menggunakan Metode tanggul dengan *geotextile* memiliki *safety factor* 1.6614.
- Variasi 4 menggunakan Metode tanggul dengan jangkar memiliki *safety factor* 2.3044.

Dengan demikian dilihat dari segi *safety factor*, variasi 4 dengan perkuatan menggunakan jangkar memiliki angka paling tinggi

3. Total pembiayaan yang dikeluarkan dari setiap variasi adalah sebagai berikut:

- Variasi 1 metode non tanggul memerlukan biaya tambahan sebesar Rp. 3,880,854,789.56.
- Variasi 2 A metode tanggul dapat menghemat biaya Rp 1,193,035,512 karena hemat dalam hal pekerjaan pengerukan hanya sampai – 9.00 m.
- Variasi 2 B metode tanggul tidak ada tambahan karena menjadi acuan berdasarkan nilai kontrak yang dipakai, yaitu sebesar Rp 211,090,224,932.
- Variasi 3 metode tanggul dengan *geotextile* memerlukan biaya tambahan sebesar Rp 1,233,863,485.
- Variasi 4 metode tanggul dengan jangkar memerlukan biaya tambahan sebesar Rp 3,963,658,400.

## **SARAN**

Berdasarkan nilai *safety factor* yang diperoleh dari analisis perhitungan maka untuk memperkuat kekuatan struktur disarankan penggunaan dimensi *Steel Pipe Pile (SPP)* pada turap dan *pile* miring diperbesar.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Bowles, J.E., 1984. *Physical and Geotechnical Properties Of Soil's*, McGraw-Hill Book Company, USA.
- Bowles, J.E., 1966. *Foundation Analysis And Design 5th Edition*, McGraw-Hill Book Company, USA.
- Das, Braja M., 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M., 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- DPU, 2009. *Pedoman Konstruksi dan Bangunan: Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik, No.003/BM/2009*, Departemen Pekerjaan Umum (DPU), Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Mekanika Tanah I Edisi ke tiga*, Gajahmada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Teknik Pondasi I Edisi ke dua*, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2003. *Mekanika Tanah II Edisi ke tiga*, Gajahmada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2003. *Teknik Pondasi II Edisi ke dua*, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian I*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2010. *Mekanika Tanah 2 Edisi Kelima*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Holtz, R. D. dan Kovacs, W.D., 1981. *An Introduction in Geotechnical Engineerin*, Prentice Hall Civil Engineering ang Engineering Mechanic Series, USA.
- H.S, Sardjono, 1996. *Pondasi Tiang Pancang Jilid 2*, Sinar Wijaya, Surabaya.
- Meyerhoff, G. G., 1956. *Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils*, ASCE Journals of the Soil Mechanics and Foundations Division Vol. 82, USA.
- Plaxis 2D, 1998. *Manual of Plaxis Finite Elemen Code For Soil and Rock Analysis Version 8.0*, A.A Balkema, Rotterdam.
- Terzaghi, K, Peck R.B., 1943. *Theoretical Soil Mechanics*, A Wiley International Edition, New York.
- Triatmodjo, Bambang, 2010. *Perencanaan Pelabuhan*, Beta Offset, Yogyakarta.