

# STUDI STABILITAS LERENG PADA ABUTMENT JEMBATAN DENGAN MENGGUNAKAN BRONJONG (*GABION*) PADA SUNGAI JERNIH KABUPATEN MUARAENIM PROVINSI SUMATERA SELATAN

Muhammad Arfan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang,  
email: [arfan@um-palembang.ac.id](mailto:arfan@um-palembang.ac.id), [m\\_4rf4n@yahoo.com](mailto:m_4rf4n@yahoo.com)

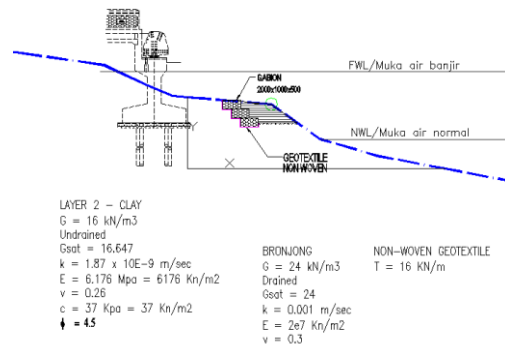
## Abstrak

Dalam rekayasa geoteknik (*geotechnical engineering*), salah satu pada tahap interpretasi tanah dilapangan akan berdampak fatal pada bangunan yang kita bangun, hal ini tentukan tidak diinginkan maka untuk mengatasi hal tersebut, menggunakan rekayasa geoteknik salah satu pemecahan masalahnya menggunakan bronjong (*gabion*) untuk kestabilan suatu lereng dengan menjadikan kekuatan tebing atau lereng. Perkuatan lereng pada abutment jembatan dihitung menggunakan metode elemen hingga, dalam hal ini menggunakan program Plaxis 2D dengan memperhitungkan hasil data investigasi tanah (*soil investigation*) baik itu laboratorium maupun lapangan, bidang longsor yang terjadi, dan faktor keamanan (*safety factor*) yang diinginkan. Hasil yang didapat kondisi pada lapisan tanah sangat lunak (*very soft to soft clay*) dengan kedalaman mencapai 15,25 meter dengan nilai NSPT sebesar 4,3 (*blow/30cm*). Kalkulasi perhitungan menggunakan program plaxis menunjukkan angka aman (*safety factor*) sebesar 3,753 > 1,25 yang memperhitungkan turunnya muka air sungai yang mendadak (*run up and run down*).

**Keyword:** bronjong atau *gabion*, program plaxis 2D, *safety factor for soft soil*.

## PENDAHULUAN

Rekayasa Geoteknik sangatlah diperlukan untuk menganalisis yang cermat dan sinkronisasi data *soil investigation* baik itu lapangan maupun laboratorium. Untuk menghasilkan perencanaan yang matang dan aman, makin pentingnya bangunan atau konstruksi yang dibuat apabila terjadi kegagalan (*failure*) akan menimbulkan korban baik jiwa maupun materil yang sangat besar, maka *safety factor* yang digunakan semakin besar. Kelongsoran pada lereng sangatlah sering terjadi terutama pada daerah aliran sungai, apalagi didekat lereng tersebut adanya konstruksi bangunan, dalam hal ini adanya abutment jembatan. Maka dari itu penulis tertarik untuk menganalisis lereng tersebut dengan mencari solusi menggunakan perkuatan rekayasa geoteknik menggunakan bronjong.



**Gambar 1.** Perkuatan desain lereng

Gambar 1. Merupakan gambar perkuatan lereng lengkap dengan potongannya dan parameter lapisan tanah. Diketahui lapisan tanahnya sangatlah lunak sekali. Apabila tidak diberi atau ditambah perkuatan pada lereng tersebut maka tanah yang berada didepan abutment akan hilang atau terkikis terbawa air sungai, yang mengakibatkan konstruksi abutment tersebut tidak stabil dan terjadi kelongsoran. Kelongsoran ini terjadi apabila pada saat air pasang atau muka air sungai banjir kemudian muka air langsung turun mendadak, mengakibatkan tekanan air pori meningkat pada tanah, yang membuat

tegangan geser efektif pada tanah akan berkurang, mengakibatkan kuat geser tanah juga berkurang yang mengakibatkan kelongsoran akan terjadi. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisa terjadinya kelongsoran menggunakan bronjong serta menghitung kekuatan dan keamanan (*safety factor*) dari solusi yang dipakai. Ruang lingkup penelitian ini menggunakan program Plaxis 2D, mempertimbangkan beberapa phase pada waktu pelaksanaan, baik itu berat sendiri, saat *cutting dan fill* dan pemasangan geotextile serta bronjong (*gabion*).

### 1. Koreksi Data Empirik

Untuk mendapatkan nilai parameter-parameter tanah sebagai data input program Plaxis, dikarenakan ada data yang ada kurang untuk menginput data, maka digunakan beberapa tabel korelasi empirik dan persamaan untuk memenuhi data input untuk program plaxis, adapun korelasi tersebut sebagai berikut. Analisis tegangan dan deformasi dengan metode elemen hingga maka nilai modulus elastisitas untuk tanah kohesif adalah :

$$\text{Normally consolidated sensitive clay : (kN/m}^2) \\ Es = ( 200 \text{ to } 500 ) Su \quad (1)$$

$$\text{Normally consolidated insensitive dan lightly overconsolidated clay : (kN/m}^2) \\ Es = ( 750 \text{ to } 1200 ) Su \quad (2)$$

$$\text{Heavily overconsolidated clay : (kN/m}^2) \\ Es = ( 1500 \text{ to } 2000 ) Su \quad (3)$$

( sumber : Bowles, 1996 )

**Tabel 1. Modulus Es untuk jenis tanah**

Jenis tanah	Es (10 <sup>3</sup> kN/m <sup>2</sup> )	
<i>Clay</i>	<i>very soft</i>	2 - 15
	<i>soft</i>	5 - 25
	<i>medium</i>	15 - 50
	<i>hard</i>	50 - 100
	<i>sandy</i>	25 - 250
<i>Glacial till</i>	<i>loose</i>	10 - 150
	<i>dense</i>	150 - 720
	<i>very dense</i>	500 - 1440
<i>Sand</i>	<i>loess</i>	15 - 60
	<i>silty</i>	5 - 20
	<i>loose</i>	10 - 25
<i>Sand and Gravel</i>	<i>dense</i>	50 - 81
	<i>loose</i>	50 - 150
	<i>shale</i>	100 - 200
	<i>silt</i>	150 - 5000
		2 - 20

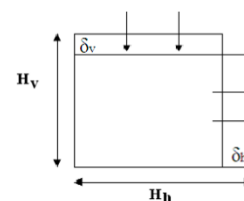
Sumber : Bowles (1996)

**Tabel 2. koreksi modulus elastis (Es) dengan N-SPT (Bowles 1996)**

Jenis Tanah	N-SPT (kN/m <sup>2</sup> )
Sand (Normally consolidated)	Es = 500 (N + 15)
	Es = 7000.N.0,5
	Es = 6000 N
	Es = (15000 to 22000) ln N
Sand (saturated)	Es = 250 (N + 15)
Sand, all (normally consolidated)	Es = (2600 to 2900) N
Sand (overconsolidated)	Es = 40000 + 1050 N
	Es(ocr) ? Es(ocr) (ocr)0,5
Gravelly sand	Es = 1200 (N + 6)
	Es = 600 (N + 6), N < 15
Clayey sand	Es = 320 (N + 15)
Silt, sandy silt or clayey silt	Es = 300 (N + 6)

### 2. Poisson Ratio (v)

*Poisson ratio* merupakan regangan arah horizontal dibagi dengan regangan arah vertikal, nilai *poisson ratio* dapat dilihat dari **Gambar 2.** berikut:



**Gambar 2.** Definisi Poisson Ratio

Regangan horizontal

$$\epsilon_h = \frac{\delta_h}{H_h}$$

(4)

Regangan vertical

$$\epsilon_v = \frac{\delta_v}{H_v}$$

(5) Jadi, poisson ratio

$$\nu = \frac{\epsilon_h}{\epsilon_v}$$

(6)

**Tabel 3.** Nilai modulus elastis dan poisson ratio (Das 1996)

Jenis Tanah	Modulus Young (Es) (x 10 <sup>3</sup> kN/m <sup>2</sup> )	Angka Poisson (ν)
Loose Sand	10,35 - 24,15	0,20 - 0,40
Medium Dense Sand	17,25 - 27,60	0,25 - 0,40
Dense Sand	34,50 - 55,20	0,30 - 0,45
Silty Sand	10,35 - 17,25	0,20 - 0,40
Sand and Gravel	69,00 - 172,5	0,15 - 0,35
Soft Clay	2,07 - 5,18	0,20 - 0,50
Medium Clay	5,18 - 10,35	0,20 - 0,50
Stiff Clay	10,35 - 24,15	0,20 - 0,50

#### 4. Cohesion (c)

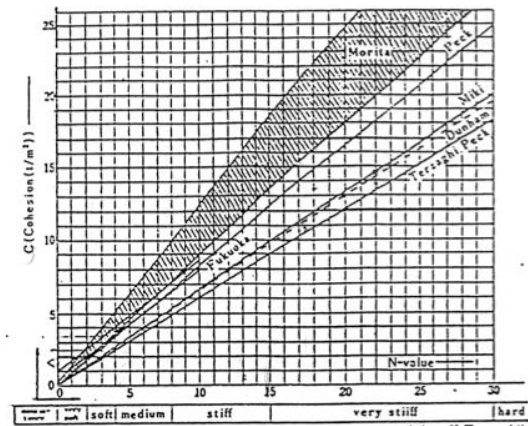
Cohesion merupakan nilai yang timbul akibat adanya lekatan atau ikatan antar butiran tanah. Parameter cohesion (c) dapat ditentukan dari nilai N-SPT, korelasi antara nilai N-SPT dan kohesi pada tanah lempung (*clay*) dapat digunakan persamaan empiris yaitu:

$$c \text{ (t/m}^2\text{)} = 2/3 \text{ N-SPT}$$

(7)

dapat dilihat pada Gambar 3. Hubungan kohesi dengan N-SPT pada tanah kohesi.

Dalam menentukan nilai kohesi dari suatu tanah, parameter lain yang sangat berpengaruh yaitu tingkat plastisitas dari tanah itu sendiri, dimana jika nilai plastisitas suatu tanah tinggi maka tanah tersebut cenderung bersifat cohesive. Hal ini dapat dilihat dari Tabel 4. sifat tanah berdasarkan nilai plastisitasnya.



**Gambar. 3** Hubungan kohesi dan N-SPT tanah

cohesion

**Tabel 4.** Sifat tanah berdasarkan nilai plastisitasnya

Plasticity Index	Soil Characteristics by plasticity	Soil type	Cohesiveness
0	Non plastic	Sand	Non cohesive
< 7	Low plastic	Silt	Partly cohesive
7-17	Medium plastic	Silty clay (Clayey silt)	cohesive
> 17	High plastic	Clay	cohesive

#### 5. Sudut Geser (*angle of internal friction*) (φ)

Sudut geser diperoleh dari kekasaran antar butiran tanah. Sudut geser dalam merupakan penambahan dari *shear strenght* dengan *stress level*, sudut geser yang besar ditemui pada tanah yang berbutir, contohnya pada *dense sand*. Parameter sudut geser dalam (φ) dapat ditentukan dengan korelasi nilai N-SPT, dimana hubungan korelasi antara N-SPT dengan sudut geser dalam adalah sbb:

$$\phi = \sqrt{18N_{70}} + 15 \quad \text{(Untuk jalan dan jembatan)}$$

$$\phi = 0,36N_{70} + 27 \quad \text{(Untuk gedung)}$$

$$\phi = 4,5N_{70} + 20 \quad \text{(Untuk umum)}$$

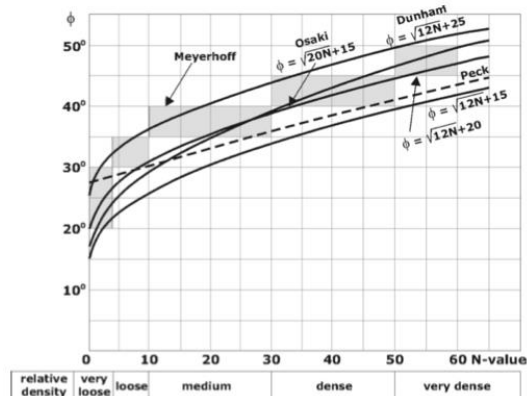
Nilai sudut geser dalam untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 hubungan sudut geser dalam tanah untuk berbagai jenis tanah dan tanah selain lempung menurut (Bowles 1996).

**Tabel 5.** sudut geser dalam untuk berbagai jenis tanah (Bowles 1996)

Jenis Tanah	Jenis Tes		
	UU	CU	CD
	(Unconsolidated - Undrained)	(Consolidated - Undrained)	(Consolidated - Drained)
<b>Gravel</b>			
Medium size	40 - 55		40 - 55
Sandy	35 - 50		35 - 50
<b>Sand</b>			
Loose dry	28 - 34		
Loose saturated	28 - 34		
Dense dry	35 - 46		43 - 50
Dense saturated	1 - 2 less than dense dry		43 - 50
<b>Silty or silty sand</b>			
Loose	20 - 22		27 - 30
Dense	25 - 30		30 - 35
<b>Clay</b>	0 (if saturated)	3 - 20	20 - 42

**Tabel 6.** sudut geser dalam untuk tanah selain tanah lempung (Bowles 1996)

Jenis Tanah	Sudut Geser Efektif ( $\phi$ )	
	Loose	Dense
Gravel, crushed	36 - 40	40 - 50
Gravel, bank run	34 - 38	38 - 42
Sand, crushed (angular)	32 - 36	35 - 45
sand, bank run (sub angular)	30 - 36	34 - 40
Sand, beach (well rounded)	28 - 32	32 - 38
Silty sand	25 - 35	30 - 36
Silt, inorganik	25 - 35	30 - 35



**Gambar 4.** Koreksi antara nilai sudut geser dalam tanah dengan nilai N-SPT

### 6. Sudut Dilatasi ( $\psi$ )

Selain tanah lempung yang terkonsolidasi sangat berlebih, tanah lempung cenderung tidak menunjukkan dilatasi sama sekali (yaitu  $\psi = 0$ ). Dilatasi dari tanah pasir bergantung pada kepadatan serta sudut gesernya. Untuk pasir kwarsa besarnya dilatasi kurang lebih adalah :

$$\psi \approx \phi - 30^\circ$$

(8)

Walaupun demikian, dalam kebanyakan kasus sudut dilatasi adalah nol untuk nilai  $\phi$  kurang dari  $30^\circ$ . Nilai negatif yang kecil untuk  $\psi$  hanya realistis untuk tanah pasir yang sangat

lepas.

### 7. Kriteria Keruntuhan Mohr Coulomb

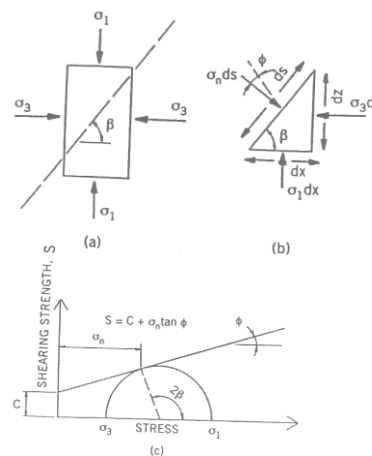
Penemuan konsep *principle of effective stress* oleh Terzaghi pada tahun 1920 memberikan tanda mekanika tanah modern telah dimulai, konsep mekanika tanah modern tersebut sangat relevan sekali untuk memecahkan suatu masalah yang berkaitan dengan *slope stability* yaitu dengan mempertimbangkan beberapa hal mengenai *principal stress* meliputi :

$\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ , dan  $\sigma_3$ .

Perubahan yang terjadi pada *total principal stress* dikarenakan perubahan yang terjadi pula pada *pore water pressure*  $u$  (*neutral stress*) dan perubahan tersebut tidaklah mempengaruhi perubahan volume atau pada kondisi *stress failure*.

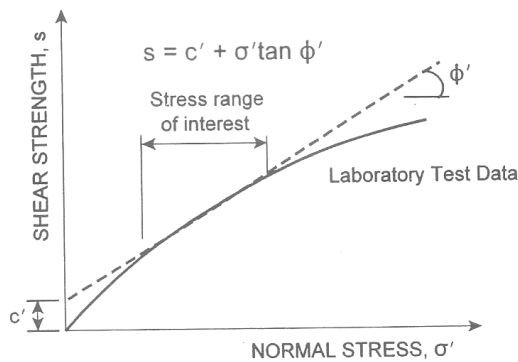
$$\sigma_1' = \sigma_1 - u \quad \sigma_2' = \sigma_2 - u \quad \text{dan} \quad \sigma_3' = \sigma_3 - u$$

Slope material memiliki kemungkinan untuk runtuh yang disebabkan oleh adanya *shearing stresses* yang berasal dari gaya gravitasi dan beberapa gaya lain (*water flow, tectonic stresses* dan *seismic activity*).



**Gambar 5.** Mohr Coulomb envelope

- (a) Soil element
- (b) stress vectors
- (c) shear strength envelope (Abramson, 1996)



**Gambar 6.** Normal stress vs shear strength (Abramson, 1996)

$$S = c + \sigma_n \tan \phi$$

(9)

Dengan :  $S$  = Total shear strength dari tanah

$c$  = Total nilai kohesi dari tanah

$\sigma_n$  = Total normal stress

$\phi$  = Total dari sudut internal friksi

Effective stresses : □

$$S' = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi'$$

(10)

Dengan :

$S'$  = Total drained shear strength dari tanah

$c$  = Total nilai kohesi dari tanah

□  $\sigma_n$  = Total normal stress

□  $u$  = Pore water pressure

$\phi'$  = Total dari sudut internal friksi □

Dalam praktiknya *slope stability* konsep menggunakan *limit equilibrium*, seperti persamaan :

$$\tau = \frac{S}{FOS}$$

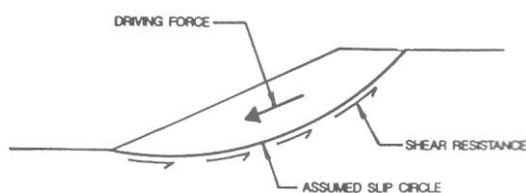
(11)

Dengan :

$\tau$  = shearing stress pada permukaan failure yang diasumsikan

$S$  = shear strength dari tanah

FOS = safety factor



**Gambar 7.** Geometri yang digunakan dalam slip

circle analisis (Abramson, 1996)

Dalam disiplin ilmu teknik sipil ada tiga macam lereng yang harus kita perhatikan dalam analisa *slope stability*, yaitu :

1. Lereng alam, lereng yang terbentuk karena proses proses alam. □
2. Lereng yang diciptakan pada tanah asli, lereng yang digunakan untuk kepentingan □ umum dengan tanah asli yang belum dipadatkan. Misalnya bilamana tanah dipotong □ untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk kepentingan irigasi. □
3. Lereng yang diciptakan dari tanah yang dipadatkan, yaitu lereng yang sudah melalui □ proses pemadatan terlebih dahulu. Misalnya tanggul untuk jalan atau bendungan tanah. □

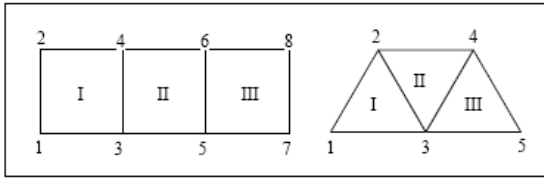
Gerakan keruntuhan lereng merupakan suatu gambaran dari struktur tanah dimana gaya yang mendorong melebihi gaya yang menahan pada lereng tersebut. Mekanisme gaya yang mendorong dan gaya yang menahan diantara butiran – butiran tanah dapat dipisahkan ke dalam dua kelompok besar, yang pertama adalah gerakan masa tanah dan yang kedua adalah gerakan partikel tanah. Dalam gerakan masa tanah, keruntuhan yang akan terjadi merupakan suatu unit yang berhubungan, jika gerakan massa tanah tersebut terjadi sepanjang permukaan yang halus (*rigid body movements*) disebut *slide* atau *slumps*, bidang terjadinya keruntuhan inilah yang disebut bidang gelincir (*slip surface*).

Sedangkan jika gaya geser terjadi merata diseluruh tanah dan tanpa bidang runtuh yang jelas disebut *flow*, didalam *flow* gerakan yang terjadi merupakan gerakan differensial di dalam massa tanah yang mengalir. Sedangkan gerakan dimana partikel bergerak secara individual tanpa atau sedikit berhubungan dengan partikel didekatnya, sulit untuk terjadi. Sekalipun demikian, beberapa proses terlihat sebagai gerakan partikel khususnya pada erosi yang disebabkan oleh gelombang, aliran air, hujan, air tanah dan angin.

### 8. Elemen Hingga

Dalam metoda elemen hingga analisis tegangan-deformasi yang dilakukan dengan cara membagi suatu model solid material yang didiskretisasi menjadi elemen-elemen berbentuk segitiga atau segiempat baik dengan jarak yang teratur maupun tidak teratur yang terhubung melalui titik-titik nodal (*nodes*) serta memiliki kondisi batas yang diketahui.

Secara umum bentuk aplikasi dari elemen tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Aplikasi elemen segiempat dan segi tiga

Dalam metode elemen hingga harus dipenuhi tiga kondisi, yaitu : □

- Keseimbangan;** gaya-gaya yang bekerja pada setiap elemen. □
- Kompatibilitas;** hubungan perpindahan dan regangan yang berkaitan dengan geometri dari material. □
- Persamaan konstitutif;** hubungan tegangan dan regangan material.

Secara umum analisis diselesaikan dengan *Persamaan* sebagai berikut □ pada persamaan 12:

$$[P] = [k] [u]$$

(12)

dengan : □

[P] = matriks gaya □

[k] = matriks kekakuan elemen

[u] = matriks perpindahan

Untuk menggambarkan syarat batas dalam pendekatan metode elemen hingga perlu dilakukan modifikasi pada sistem persamaan yang telah diperoleh. Persamaan gabungan yang telah dimodifikasi dapat dinyatakan persamaan 13.

$$\{R\} = [K]\{r\}$$

(13)

dimana matriks tersebut merupakan persamaan yang telah dimodifikasi dengan syarat batas.

Dalam menyelesaikan metode elemen hingga yaitu dengan cara menggunakan hubungan antara regangan, perpindahan dan tegangan dari setiap titik serta faktor bentuk dari setiap elemen. Adapun hubungan antara matriks regangan dan perpindahan adalah seperti pada *Persamaan 14*.

$$\{\varepsilon\} = [B] \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}$$

(14)

dengan

$$\{\varepsilon\} = \text{vektor regangan} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix}$$

[B] = matriks regangan

$$= \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \dots & 0 & \frac{\partial N_8}{\partial y} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{\partial N_1}{\partial x} & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial x} & \frac{\partial N_8}{\partial y} \end{bmatrix}, \text{ kondisi plane strain}$$

u, v = perpindahan titik nodal arah x dan y

sedangkan hubungan antara tegangan dan regangan adalah:

$$[\sigma] = [C][\varepsilon] \tag{15}$$

dengan

$$[C] = \text{matriks konstitutif (properti material)} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}$$

E = modulus Young

ν = Poisson ratio

Material model adalah persamaan matematika yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan. Material model sering dinyatakan dalam bentuk hubungan antara pertambahan tegangan dan regangan. Semua model material diimplementasikan pada program Plaxis adalah berdasarkan hubungan antara kecepatan tegangan efektif, σ' dan kecepatan regangan, ε' yang dapat ditulis:

$$\sigma' = M * \varepsilon' \tag{16}$$

dengan:

M = matriks kekakuan material

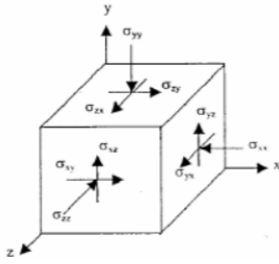
σ' = (σ<sub>xx</sub>, σ<sub>yy</sub>, σ<sub>zz</sub>, σ<sub>xy</sub>, σ<sub>yz</sub>, σ<sub>zx</sub>) = tegangan

ε' = (ε'<sub>xx</sub>, ε'<sub>yy</sub>, ε'<sub>zz</sub>, γ'<sub>xy</sub>, γ'<sub>yz</sub>, γ'<sub>zx</sub>) □ = regangan

Tetapi untuk kondisi *plane strain* dan *axisymmetry*, seperti yang dimodelkan dalam Plaxis,

hanya empat komponen saja yang diperlukan karena σ'<sub>yz</sub>, σ'<sub>zx</sub>, γ'<sub>yz</sub>, γ'<sub>zx</sub> memiliki nilai nol.

Komponen tegangan normal yang bernilai positif dianggap tarik (*tension*), sedangkan komponen yang bernilai negatif dianggap tekan (*compression*). Sementara itu, komponen regangan normal yang bernilai positif dianggap mengalami dilatasi (mengembang), sedangkan yang bernilai negatif dianggap mengalami kompaksi (mengecil).



**Gambar 9.** Tegangan-tegangan dalam tanah

Jika regangan yang terjadi cukup kecil, maka besarnya regangan diperoleh dari turunan ruang komponen *displacement*  $u_x$ ,  $u_y$ , seperti dalam persamaan:

$$\epsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x} \quad (17)$$

$$\epsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y} \quad (18)$$

$$\epsilon_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \quad (19)$$

dengan:

$$\epsilon_{zz} = 0 \text{ (plane strain)}$$

$$\epsilon_{zz} = \frac{1}{r} u_x \text{ (axisymmetry)}$$

Konsep tegangan utama biasanya lebih banyak digunakan untuk merumuskan beberapa model material, yang dapat dihitung dengan persamaan tegangan cartesian.

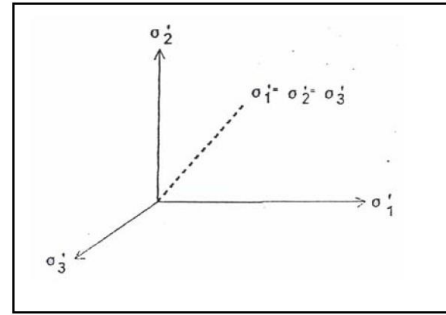
$$\sigma'_1 = \frac{1}{2}(\sigma'_{xx} + \sigma'_{yy}) - \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma'_{xx} - \sigma'_{yy})^2 + (\sigma'_{xy})^2} \quad (20)$$

$$\sigma'_2 = \sigma'_{zz} \quad (21)$$

$$\sigma'_3 = \frac{1}{2}(\sigma'_{xx} + \sigma'_{yy}) + \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma'_{xx} - \sigma'_{yy})^2 + (\sigma'_{xy})^2} \quad (22)$$

dengan persamaan tegangan utama diatur dalam bentuk :  $\sigma'_1 \leq \sigma'_2 \leq \sigma'_3$

Sehingga  $\sigma'_1$  adalah tegangan tekan yang terbesar. Dalam hal ini model material digambarkan dalam koordinat ruang (3 D) dengan acuan tegangan-tegangan utama, seperti pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Koordinat ruang tegangan utama Model material yang paling sederhana dalam Plaxis adalah hukum Hooke mengenai perilaku *isotropic linear elastic* dari material yang ditulis dalam persamaan

$$\begin{bmatrix} \sigma'_{xx} \\ \sigma'_{yy} \\ \sigma'_{zz} \\ \sigma'_{xy} \end{bmatrix} = \frac{E'}{(1-2\nu')(1+\nu')} \begin{bmatrix} 1-\nu' & \nu' & \nu' & 0 \\ \nu' & 1-\nu' & \nu' & 0 \\ \nu' & \nu' & 1-\nu' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{2}{00}-\nu' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon'_{xx} \\ \epsilon'_{yy} \\ \epsilon'_{zz} \\ \epsilon'_{xy} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Matriks kekakuan elastik material biasa disebut  $D^C$ . Ada dua parameter penting yang digunakan pada model ini. Antara lain modulus Young efektif ( $E'$ ) dan Poisson rasio efektif ( $\nu'$ ). Hubungan antara modulus Young ( $E$ ) dengan *shear modulus* ( $G$ ) dan modulus bulk ( $K$ ) adalah sebagai berikut.

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (24)$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (25)$$

$$E = 2(1+\nu)G \quad (26)$$

Plaxis menyarankan untuk menggunakan *shear modulus* sebagai parameter model dibanding dengan modulus Young dan modulus Bulk.

## 9. Pemodelan Matematis

Pemodelan matematis dilakukan dengan metode elemen hingga. Dengan mempertimbangkan efek adanya kandungan air akibat hujan dimana kondisi ini akan menyebabkan berkurangnya tegangan efektif dan sudut geser suatu partikel tanah jika kondisi jenuh tercapai. Properti tanah yang mewakili kondisi actual lapangan adalah berikut ini :

**Tabel 7.** Parameter tanah untuk pemodelan Plaxis

No	Parameter	Name	Unit	Layer 1	Layer 2	Layer 3	Layer 4
1	From depth to depth	m		0 - 1,85	1,85 - 15,25	15,25 - 18,96	18,96 - 22,92
2	Model Material	Model		Clay	Clay	Sand	Sand
3	material	Jenis	Undrained/ drained	Undrained	Undrained	Drained	Drained
4	Unit weight top m.a.t	$\gamma_{us}$	kN/m <sup>3</sup>	16	16	16	16
5	Unit weight under m.a.t	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	16,557	16,547	16,796	16,796
6	Permeability horizontal	$K_x$	m/s	1,06 E-06	1,87 E-09	3,34 E-06	1,97 E-08
7	Permeability vertical	$K_y$	m/s	1,06 E-06	1,87 E-09	3,34 E-06	1,97 E-08
8	Elasticity Modulus	$E_{ref}$	Mpa	24,4	6,176	100,9	81,3
9	Poisson ratio	$\nu$	-	0,35	0,26	0,21	0,17
10	Cohesion	$C_{ref}$	kPa	0,3	37	34,6	31,8
11	Angle of internal friction	$\phi$	deg	0	4,5	34,6	31,8
12	Dilatation angle	$\psi$	deg	-	-	-	-
13	NSPT	blow/30 cm	N	4,3	4,3	21,4	15,7
14	Specific Gravity	$G_s$	gr/cm <sup>3</sup>	2,51	2,53	2,55	2,55
15	Porosity	$e_0$	-	-	1,19	-	-
16	Water content	$w$	%	-	44	-	-

Tabel 8. Parameter tanah untuk timbunan

No	Parameter	Name	Unit	Fill Soil
1	Model Material	Model	-	Well Graded Sand
2	Material	Jenis	Undrained/ drained	Drained
3	Unit weight top m.a.t	$\gamma_{us}$	kN/m <sup>3</sup>	17
4	Unit weight under m.a.t	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	18
5	Permeability horizontal	$K_x$	m/s	1.0 E-03
6	Permeability vertical	$K_y$	m/s	1.0 E-03
7	Elasticity Modulus	$E_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	1.000 E+04
8	Poisson ratio	$\nu$	-	0.3
9	Cohesion	$C_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	10.000
10	Angle of internal friction	$\phi$	deg	20
11	Dilatation angle	$\psi$	deg	-
12	Specific Gravity	$G_s$	kN/m <sup>2</sup>	3846.154

Mohr-Coulomb - 00.TANAH TIMBUNAN

Gambar 11. Input parameter untuk tanah timbunan (back fill)

Mohr-Coulomb - 00.TANAH TIMBUNAN

Gambar 12. Input parameter Mohr Coulomb (back fill)

Tabel 9. Unit weight (Coduto, 2001)

Tipe Tanah	Berat Jenis tanah $\gamma$	
	di atas muka air tanah (KN/m <sup>3</sup> )	di bawah muka air tanah (KN/m <sup>3</sup> )
Poorly-graded gravel	17.5-20.5	19.5-22.0
Well-graded gravel	17.5-22.0	19.5-23.5
Silty gravel	16.0-20.5	19.5-22.0
Clayey gravel	16.0-20.5	19.5-22.0
Poorly-graded sand	15.0-19.5	19.0-21.0
Well-graded sand	15.0-21.0	19.0-23.0
Silty sand	12.5-21.0	17.5-22.0
Clayey sand	13.5-20.5	17.5-21.0
Low plasticity silt	11.5-17.5	12.5-20.5
High plasticity silt	11.5-17.5	11.5-20.5
Low plasticity clay	12.5-17.5	11.5-20.5
High plasticity clay	12.5-17.5	11.0-19.5

Gambar 13. Parameter geotextile non woven

Gambar 14. Input parameter geotextile

1. Bronjong dengan diameter kawat 2,70 mm		
KAWAT	TOLERANSI	LAPISAN SENG MINIMUM
2,70 mm (anyam)	± 0,11 mm	260 gr/m <sup>2</sup>
3,40 mm (sisi)	± 0,12 mm	275 gr/m <sup>2</sup>
2,00 mm (ikat)	± 0,06 mm	240 gr/m <sup>2</sup>

2. Bronjong dengan diameter kawat 3,00 mm		
KAWAT	TOLERANSI	LAPISAN SENG MINIMUM
3,00 mm (anyam)	± 0,12 mm	275 gr/m <sup>2</sup>
4,00 mm (sisi)	± 0,16 mm	290 gr/m <sup>2</sup>
2,00 mm (ikat)	± 0,06 mm	240 gr/m <sup>2</sup>

STANDAR UKURAN BRONJONG DAN MATRAS :		
Tinggi 0,5 M	Tinggi 1 M	MATRAS
2 x 1 x 0,5 M	2 x 1 x 1 M	6 x 1,5 x 0,17 M 6 x 1,5 x 0,23 M
3 x 1 x 0,5 M 3 x 1,5 x 0,5 M	3 x 1 x 1 M	6 x 2 x 0,17 M 6 x 2 x 0,23 M
4 x 1 x 0,5 M	4 x 1 x 1 M	dll

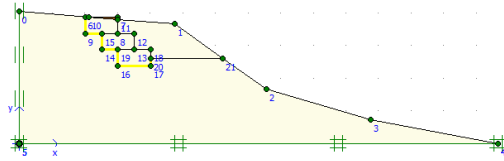
Gambar 15. Data gabion (bronjong)

Pemodelan dilakukan dengan beberapa Phase yaitu :

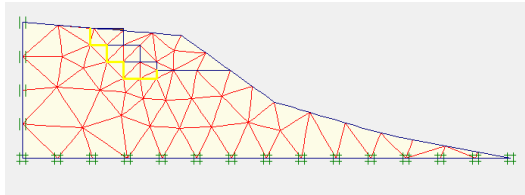
- 1) Phase 1 = Gravity Loading
- 2) Phase 2 = Plastic Nil Step
- 3) Phase 3 = Mata Air Normal (MAN)
- 4) Phase 4 = Penggalian (Cutting)
- 5) Phase 5 = Install Gabion and Geotextile



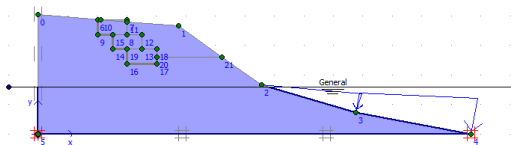
- 6) Phase 6 = Timbunan tanah (*back fill*)
- 7) Phase 7 = Mata Air Banjir (MAB)
- 8) Phase 8 = *Run-up Run-down* (RDD)
- 9) Phase 9 = *Safety Factor* (SFF)



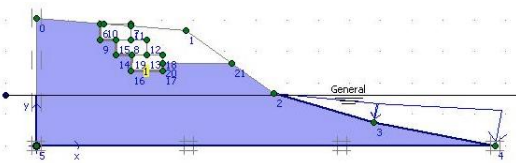
**Gambar 16.** Phase 1 dan phase 2 gravity loading and plastic NIL step



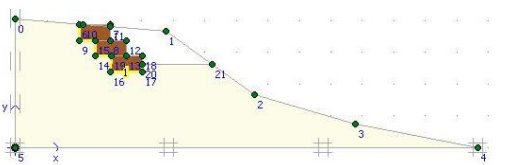
**Gambar 17.** Pembuatan *mesh*



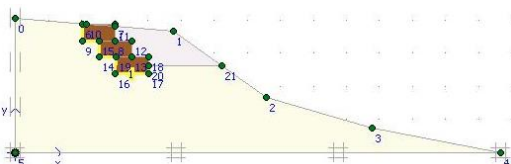
**Gambar 18.** Phase 3 Muka Air Normal (MAN)



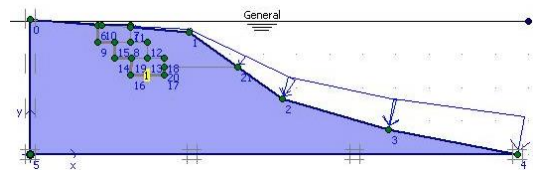
**Gambar 19.** Phase 4 pengalihan (*cutting*)



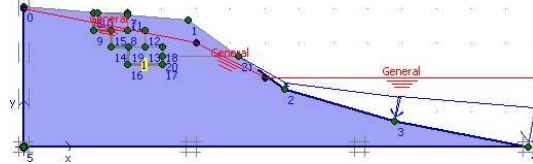
**Gambar 20.** Phase 5 pemasangan *install* dan *geotextile* gabion



**Gambar 21.** Penimbunan tanah (*back fill*)

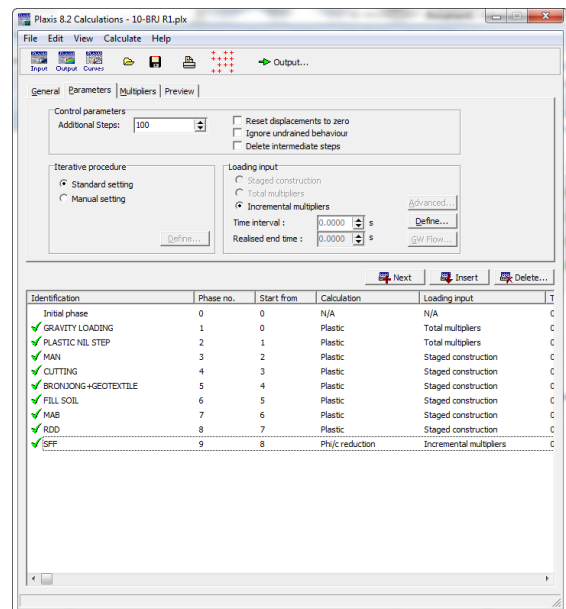


**Gambar 22.** Phase 7 Muka Air Banjir (MAB)

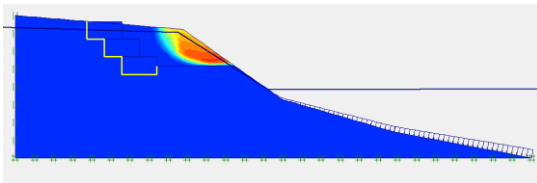


**Gambar 23.** Phase 8 *Run-up Run-down* (RDD)

Gambar 23. Menunjukkan apabila terjadi penurunan muka air secara mendadak atau drastis dari muka air banjir tiba tiba secara mendadak akan terjadi penurunan muka air, yang mengakibatkan air yang berada didalam tanah masih basah sedangkan ditinggi muka air sungai sudah cepat menurun, maka tanah akan mengalami penurunan tegangan kuat geser pada tanah tersebut dikarenakan tanahnya masih dalam keadaan basah. Keadaan ini yang mudah mengalami kelongsoran pada tanah tersebut, maka pada program plaxis ini kita buat phase tersebut.

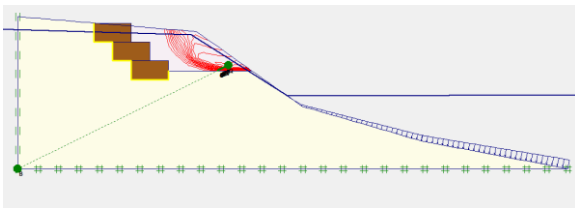


**Gambar 24.** Running program *plaxis*

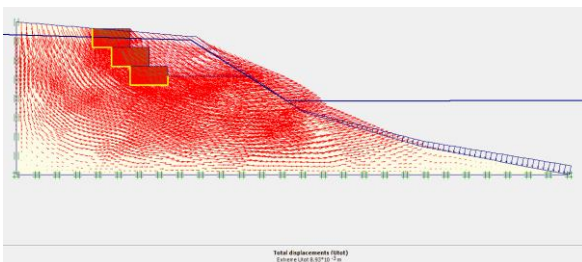


**Gambar 25.** Kondisi displacement pada kondisi SF (safety factor)

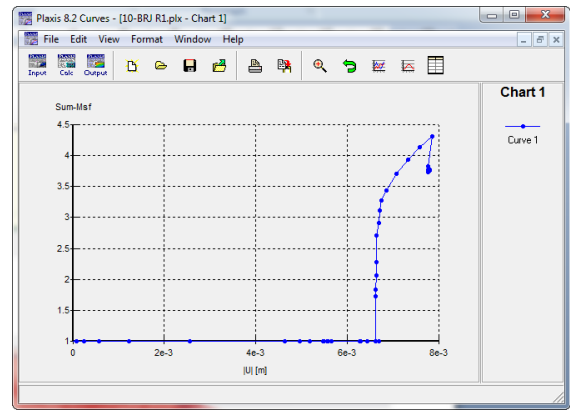
Gambar 25. Menunjukkan *displacement* yang terjadi pada seluruh bagian profil melintang. Perbedaan warna tersebut menunjukkan perbedaan *displacement* yang terjadi, *displacement* terkecil ditunjukkan oleh bagian tanah yang berwarna biru, sedangkan *displacement* yang terbesar ditunjukkan dengan warna merah (*extrem displacement*). Pola keruntuhan lereng menyerupai setengah lingkaran. Gambar 25 tersebut juga menjelaskan bahwa *hanya terjadi pada tanah timbunan saja (back fill)*, dikarenakan nilai angka *cohesion* pada *layer* tanah asli nilainya sangatlah besar, membuat stabilnya lereng tersebut.



**Gambar 26.** Kondisi displacement pada kondisi SF (safety factor)



**Gambar 27.** Total displacements extreme Utot  $8.93 \cdot 10^{-3}$  m, pada kondisi SF



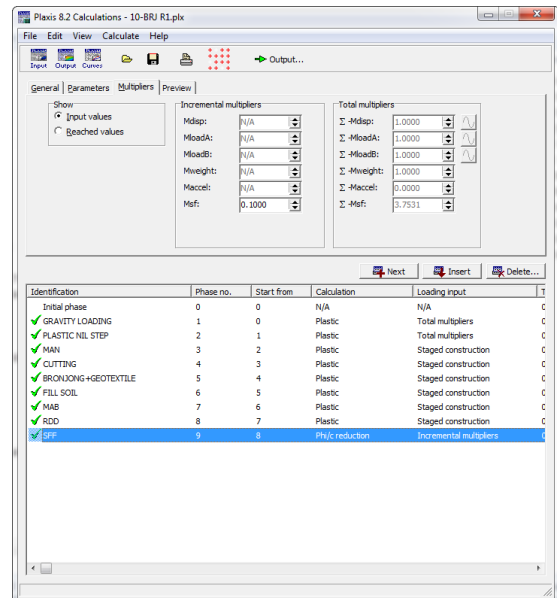
**Gambar 28.** Kurva chart safety factor

## 10. Output geometri lereng dan nilai safety factor

Gambar 28 dan Gambar 29, Harga *safety factor* lereng dihitung setelah *phase* pembebanan. Angka *safety factor* yang didapat adalah 3.7531. Angka keamanan yang didapat ini masih Sangat Aman, dimana untuk lereng pada kasus ini hanya dibutuhkan angka keamanan 1.25.

Jadi  $SF\ 3.7531 > 1.25$  (OK)

*Output* geometri lereng yang ditampilkan adalah *output* pada akhir *phase stage construction*. Yaitu pada *phase* pembebanan total.



**Gambar 29.** Hasil running program plaxis

## Conclusions

Tanah di sekitar Sungai jernih banyak mengandung tanah clay sangat sangat lunak (*very soft to soft clay*) dengan kedalaman

mencapai 15,25 meter, dan tekstur berpasir. Jika terjadi banjir dan airnya tiba-tiba turun drastis sehingga, dalam kondisi seperti ini akan sangat kritis, dan harus diperhitungkan dengan benar dan harus dipertimbangkan kondisi ekstrim dengan menggunakan program pemodelan PLAXIS. Dengan menggunakan rekayasa geoteknik menggunakan stabilitas lereng memakai gabion atau bronjong, yang dilapisi geotextile jenis non woven maka, kemiringan menjadi lebih stabil meski tanpa menggunakan kestabilan lereng gabion masih aman.

Faktor keamanan yang didapat dari perhitungan PLAXIS mencapai angka lebih besar yaitu 3.7531 lebih besar dari 1.25. (ok)

### Nomenclature

#### Natation

$E_s$	Modulus Elastis ( $kN/m^2$ )
$\nu$	Poison ratio
$\epsilon_h$	Regangan horizontal
$\epsilon_v$	Regangan vertical
$c$	Cohesion ( $t/m^2$ )
$E$	modulus Young (MPa)
$E_{ref}$	elasticity Modulus ( $kN/m^2$ )
$e_o$	porosity
$G$	shear modulus (MPa)
$G_s$	specific gravity ( $gr/cm^3$ )
$K$	modulus bulk (MPa)
$\nu$	poissin ratio
$\psi$	sudut dilatasi (deg)
$S$	shear strength
$\sigma_n$	normal stress
$\phi$	sudut internal friksi (deg)
$S'$	drained shear strength
$\sigma_n$	normal stress
$u$	Pore water pressure
$\phi'$	sudut internal friksi
$\tau$	shearing stress failure
FOS	safety factor
[P]	matriks gaya
[k]	matriks kekakuan elemen
[u]	matriks perpindahan
$\gamma_{usat}$	unit weight top mat ( $kN/m^3$ )
$\gamma_{sat}$	unit weight under mat ( $kN/m^3$ )
$k_x$	permeability horizontal (m/s)
$k_y$	permeability vertical (m/s)
$w$	water content (%)
NSPT	blow/30 cm (N)

Boyce G.M., (1996). *Slope Stability and Stabilization Methods*, John Wiley and Sons, Inc. New York

Bowles, Joseph E, (1996). *Foundation Analysis and Design*, Fifth Edition, Mc Graw Hill International Edition

Bowles, Joseph E, "Physical and Geotechnical Properties of Soil", International Student Edition, Mc Graw Hill, Tokyo-Japan.

Braja M Das (1996). *Geotechnical Engineering Hand Book*

Das, Braja M. (2002). *Principles of Geotechnical Engineering 5th Edition*, Thomson Learning, Inc.

Joseph E Bowles (1999). *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill International Edition.

Joseph E Bowles (1996). *Physical and Geotechnical Properties of Soil 2 Sub Edition*.

PLAXIS 8.2 design manuals a "finite element code for rock and soil analysis".

### DAFTAR PUSTAKA

Abraham, L. W. Lee T.S., Sharma S., and