

## PENGARUH KENAIKAN KUAT GESER TANAH TERHADAP STABILITAS TIMBUNAN DI ATAS TANAH LEMPUNG LUNAK JENUH AIR

Candra Ismail Alhakim, dan Andryan Suhendra

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
Email: candraia29@gmail.com

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
Email: andryansuhendra@yahoo.com

### ABSTRAK

Proses konsolidasi tanah merupakan peristiwa yang berupa pemampatan tanah yang disebabkan oleh beban di atasnya maupun beban tanah sendiri. Peristiwa ini juga menyebabkan naiknya kuat geser tanah. Oleh karena itu di dalam skripsi ini dicoba untuk mensimulasikan beban berupa timbunan dan menganalisis akibat dari beban timbunan tersebut pada tanah lunak dibawahnya dan menganalisis hasil dari peningkatan kuat geser terhadap kestabilan timbunan. Penelitian dimulai dengan pengolahan data tanah untuk mendapatkan parameter void ratio, kemudian dilanjutkan dengan mencari peningkatan kuat geser berdasarkan peningkatan derajat konsolidasi, dan kemudian dilanjutkan dengan menghitung stabilitas timbunan pada setiap ketinggian kemudian didapatkan hasil angka keamanan pada tinggi timbunan 3 m sebesar 3,985 pada tinggi timbunan 5 m sebesar 2,961 dan pada tinggi 7 m sebesar 2,378.

Kata Kunci : Konsolidasi, Timbunan,, Kuat Geser

### 1. PENDAHULUAN

Ketika konsolidasi terjadi, tanah akan menjadi lebih padat dan akan mengalami peningkatan kuat geser dan daya tahanan tanah akan meningkat (Lasitash & Tantri, 2015). Untuk itu jurnal ini bertujuan untuk menganalisa efek yang terjadi pada timbunan dengan tanah lunak yang sudah mengalami konsolidasi. Melalui perhitungan dengan menggunakan cara manual maupun software nantinya, bisa dilihat seberapa besar peningkatan daya dukung dan angka keamanan yang terjadi setelah tanah lunak yang diberi timbunan mengalami konsolidasi.

### 2. TEGANGAN TANAH

Bila beban diterapkan kepada tanah, maka beban tersebut akan dipikul oleh partikel tanah dan air yang terdapat di dalam pori-pori tanah. Tegangan vertikal total yang bekerja pada titik di bawah permukaan tanah, disebabkan oleh beratnya segala sesuatu yang ada di atasnya, termasuk berat sendiri tanah, berat air, dan pembebanan di permukaan. Berikut adalah rumus tegangan tanah.

$$\sigma_v = \gamma \cdot Z \quad (1)$$

keterangan

$\sigma_v$  = Tegangan tanah total

$\gamma$  = Berat jenis tanah

Z = kedalaman tanah

### 3. TEGANGAN TANAH EFEKTIF

Apabila tanah diberi beban, maka tanah akan mendapat tekanan yang disebabkan oleh beban. Hal tersebut akan mengakibatkan angka pori tanah berkurang dan menambah tahanan geser tanah. Jika tanah berada di dalam air misalkan tanah terendam oleh air tanah, tanah akan dipengaruhi oleh gaya angkat yang diakibatkan oleh tekanan hidrostatik dari air. Berat tanah yang terendam ini disebut berat tanah efektif, sedangkan tegangan yang terjadi karena berat tanah efektif di dalam tanah disebut sebagai tegangan efektif. Terzaghi (Darwin, 2018) memberikan prinsip tegangan efektif yang bekerja pada segumpal tanah. Prinsip tegangan efektif hanya berlaku pada tanah yang jenuh sempurna yaitu

- Tegangan normal total ( $\sigma$ ) pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan akibat berat tanah total termasuk air dalam ruang pori per satuan luas, yang arahnya tegak lurus.
- Tekanan pori ( $u$ ), disebut juga dengan tekanan netral yang bekerja ke segala arah sama besar, yaitu tekanan air yang mengisi rongga di antara butiran padat.

- Tegangan normal efektif ( $\sigma'$ ) pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan yang dihasilkan dari beban berat butiran tanah per satuan luas bidangnya.

Hubungan dari ketiganya dirumuskan sebagai berikut.

$$\sigma_{\text{total}} = \sigma' + u \quad (2)$$

keterangan

$\sigma_v$  = Tegangan tanah total

$\gamma$  = Berat jenis tanah

$Z$  = kedalaman tanah

$u$  = tegangan air pori

Kemudian untuk tegangan air yang terdapat di dalam tanah maka dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$u = \gamma_w \cdot h \quad (3)$$

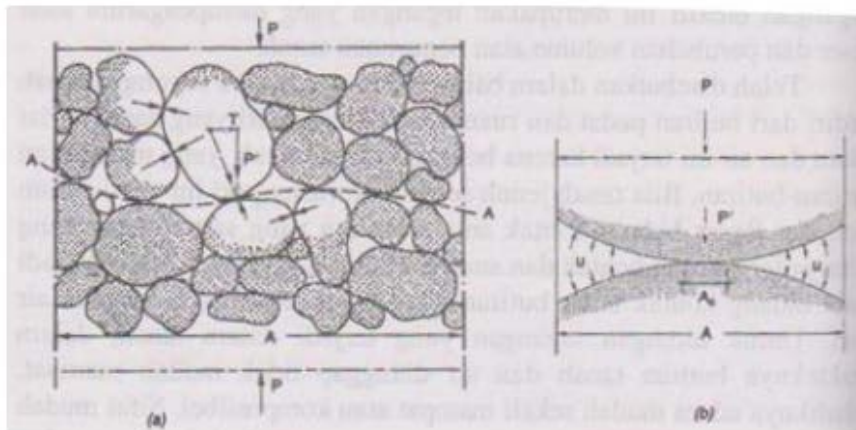
keterangan

$u$  = tegangan air pori

$\gamma_w$  = Berat jenis air

$h$  = kedalaman di bawah permukaan air atau ketebalan air di atas titik yang ditinjau

Berikut adalah gambar ilustrasi mengenai gaya antar butiran pada segumpal tanah dan kontak antar butiran.



Gambar 1. Ilustrasi gaya antar butiran pada segumpal tanah (a) dan ilustrasi kontak antar butiran (b) (Darwin,2018)

Apabila tanah berada di bawah muka air atau bisa disebut jenuh maka tegangan vertikal total adalah tegangan normal pada bidang horizontal pada kedalaman  $z$  yang merupakan berat seluruh bagian tanah (padat + air) per satuan luas yang bisa dirumuskan dengan rumus berikut.

$$\sigma_v = \gamma_{\text{sat}} \cdot Z \quad (4)$$

keterangan

$\sigma_v$  = Tegangan total jenuh

$\gamma_{\text{sat}}$  = Berat volume tanah jenuh

$Z$  = kedalaman tanah yang ditinjau

Dan untuk tegangan efektif dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \sigma'_v &= \sigma_v - u \\ &= \gamma_{\text{sat}} \cdot Z - \gamma_w \cdot Z \\ &= (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) \cdot Z \\ &= \gamma' \cdot Z \end{aligned} \quad (5)$$

keterangan

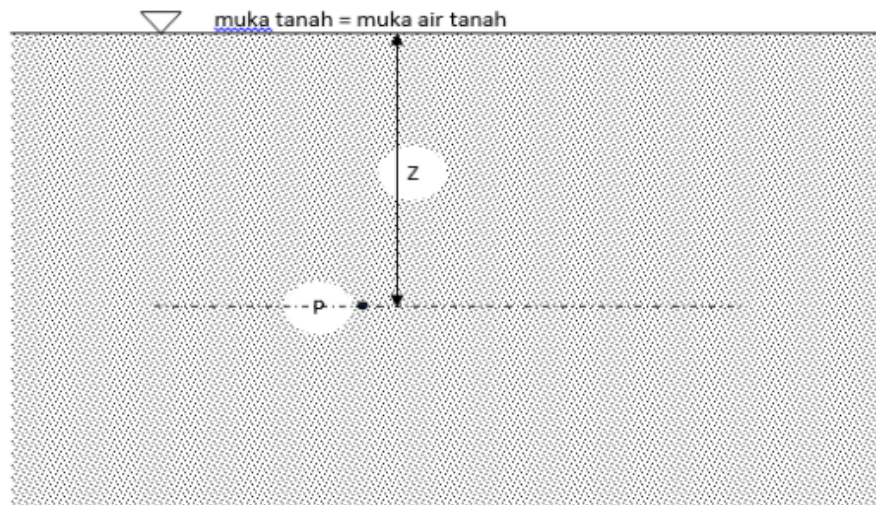
$\sigma_v$  = Tegangan total jenuh

$\gamma_{\text{sat}}$  = Berat volume tanah jenuh

$Z$  = kedalaman tanah yang ditinjau

$\gamma_w$  = Berat jenis air

Dan berikut adalah gambar tegangan efektif pada suatu lapisan tanah.



Gambar 2 Tegangan efektif pada suatu lapisan tanah (Darwin, 2018)

#### 4. PENYEBARAN TEGANGAN

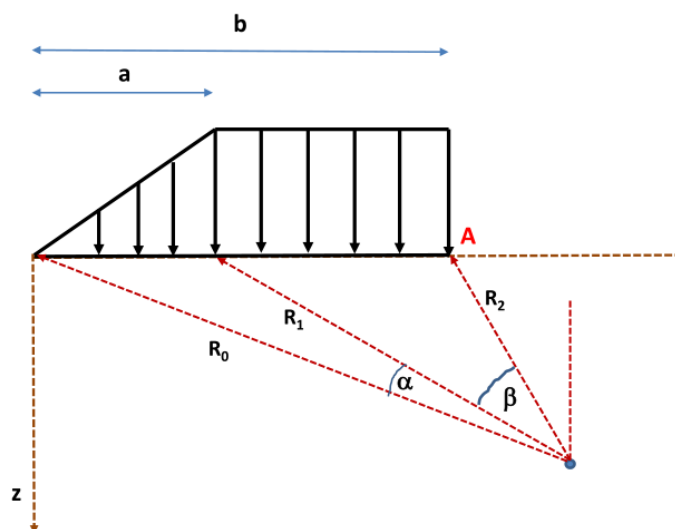
Tegangan di dalam tanah yang timbul akibat adanya beban di permukaan dinyatakan dalam istilah tambahan tegangan (*stress increment*), karena sebelum tanah dibebani, tanah sudah mengalami tekanan akibat beban tanah sendiri disebut tekanan *overburden* (Darwin, 2018).

##### 4.1 Teori Boussinesq

Boussinesq (Darwin, 2018) memberikan persamaan penyebaran beban akibat pengaruh beban titik di permukaan. Tambahan tegangan vertikal ( $\Delta\sigma_z$ ) akibat beban titik dianalisis dengan meninjau system tegangan pada koordinat silinder.

##### 4.1.1 Akibat Beban Trapesium

Boussinesq menggambarkan tegangan yang disebabkan oleh Trapesium sebagai berikut.



Gambar 3 Bentuk Pembebanan Trapesium (Darwin, 2018)

Kemudian besar tambahan tegangan vertikal didapat dari rumus yang sudah disederhanakan sebagai berikut.

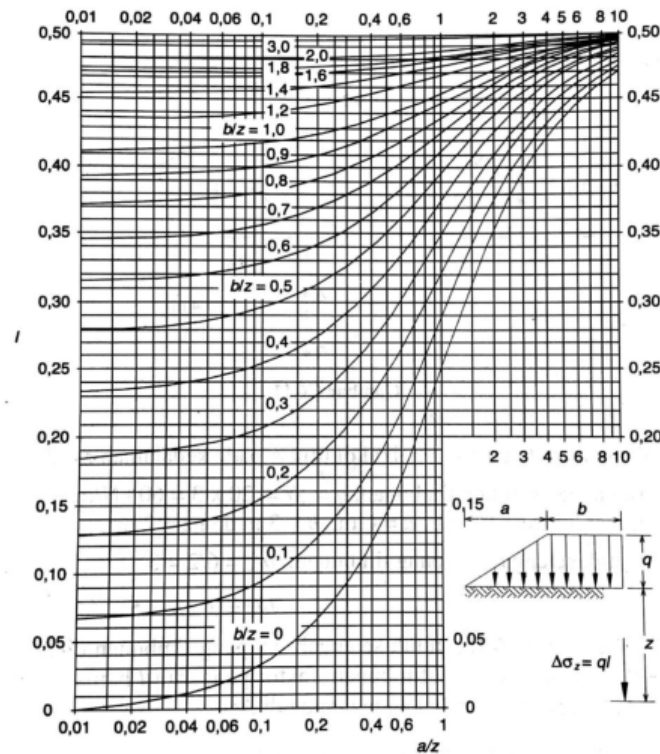
$$\Delta\sigma_z = q \cdot I \quad (6)$$

Keterangan

q = tekanan akibat beban merata di permukaan

I = faktor pengaruh tegangan vertikal

Dimana nilai I didapat dari grafik berikut.



Gambar 4 Grafik faktor pengaruh (I) akibat beban trapezium (Darwin, 2018)

## 5. PENURUNAN KONSOLIDASI

Konsolidasi tanah adalah proses pemampatan tanah yang disebabkan adanya beban maupun pemampatan natural tanah karena properties tanah itu sendiri. Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung dan lanau. Lapisan tanah lunak mempunyai sifat gaya geser yang rendah, kemampatan yang tinggi, koefisien permeabilitas yang rendah, dan mempunyai daya dukung yang rendah (Siska, 2016).

Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung konsolidasi tanah.

Untuk Konsolidasi Normal

$$Sp = \frac{Cc \cdot H}{1 + e_0} \log \left( \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad (7)$$

Untuk *Overlly Consolidated*

Untuk kondisi  $\sigma'_0 + \Delta\sigma' \leq \sigma'_p$

$$Sp = \frac{Cr \cdot H}{1 + e_0} \log \left( \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad (8)$$

Untuk kondisi  $\sigma'_0 + \Delta\sigma' \geq \sigma'_p$

$$Sp = \frac{Cr \cdot H}{1 + e_0} \log \left( \frac{\sigma'_p}{\sigma'_0} \right) + \frac{Cc \cdot H}{1 + e_0} \log \left( \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad (9)$$

Keterangan :

Sp = penurunan konsolidasi

Cc = koefisien konsolidasi untuk *Normally Consolidated*

Cr = koefisien konsolidasi untuk *Overlly Consolidated*

$e_0$  = angka pori awal

$\sigma'_0$  = tegangan efektif awal

$\Delta\sigma'_0$  = perubahan tegangan efektif vertikal

$\sigma'_{pc}$  = tegangan pra konsolidasi

## 6. KUAT GESER TANAH

Kuat geser tanah adalah gaya tahan internal yang dapat diberikan tanah oleh berat tanah. Mohr (1900) mengemukakan teori bahwa kegagalan material disebabkan oleh kombinasi kritis dari gaya normal dan gaya geser dan tidak hanya dari gaya normal maksimum ataupun hanya gaya geser maksimum. Berdasarkan teori tersebut Mohr-Coulomb merumuskan rumus untuk menghitung gaya geser tanah yaitu:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (10)$$

Keterangan :

$\tau_f$  = kuat geser

$c$  = kohesi tanah

$\phi$  = sudut geser tanah

Dan berikut adalah rumus peningkatan kuat geser tanah yang digunakan dalam jurnal ini.

Mesri (1975) dan Balasubramaniam (1991)

$$\left( \frac{\Delta S_u}{\sigma'_p} \right) = 0,22 \quad (11)$$

Keterangan :

$\Delta S_u$  = Pertambahan Kuat Geser

$U$  = Derajat Konsolidasi

## 7. PERHITUNGAN STABILITAS LERENG DENGAN METODE SWEDISH CIRCLE

Di dalam metode *Swedish Circle*, bidang selip diasumsikan sebagai busur lingkaran dan momen diasumsikan di tengah lingkaran untuk menghitung angka keamanan. Sebagian bentuk dari metode ini pertama digunakan oleh Petterson pada tahun 1916, namun metode ini pertama di formalisasikan untuk  $\phi = 0$  oleh fellenius pada tahun 1922. Sudut geser tanah diasumsikan sebagai 0 dan kuat geser diasumsikan dari kohesi. Untuk itu metode *Swedish Circle* juga disebut sebagai metode  $\phi = 0$  (Duncan, 2014).

Untuk mennghitung angka keamanan, digunakan rumus berikut.

$$F = \frac{\sum c \cdot \Delta l}{\sum W \sin \alpha} \quad (12)$$

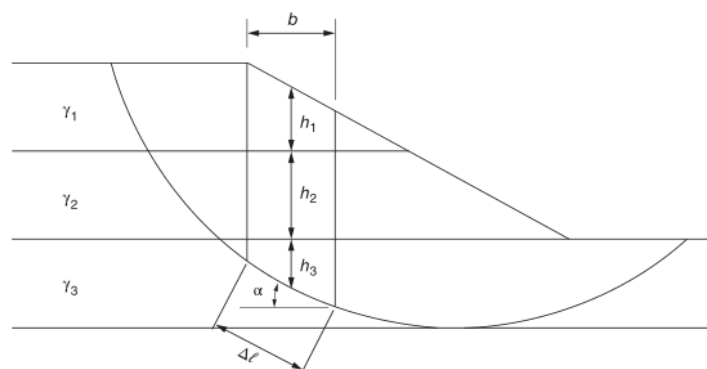
Keterangan

$c$  = kohesi

$\Delta l$  =  $b / \cos \alpha$

$W$  = luas tanah dalam potongan  $\gamma$

Berikut adalah gambar potongan timbuan dengan menggunakan metode *Swedish Circle*



Gambar 5 Potongan melintang menurut method *Swedish Circle* (Darwin,2018)

## 8. DATA TANAH TIMBUNAN

Berikut adalah data tanah asumsi yang digunakan sebagai data tanah timbunan yang digunakan dalam skripsi ini :

$$\gamma_{\text{wet}} = 20,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_d = 17,4 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 50 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 20,16^\circ$$

## 9. DATA TANAH DASAR

Berikut adalah data tanah dasar

Tabel 1. Data Tanah Dasar

Depth	$\gamma_{\text{wet}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	n	Cu (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$	Cc	Cv(cm <sup>2</sup> /s)	$\sigma'_{pc}$ (kN/m <sup>2</sup> )
1,00 - 1,55	16,62	9,29	0,57	14,1	8,28	0,427	0,0566	83
3,00-3,55	15,88	8,99	0,59	9,8	3,9	0,434	0,0097	167
11,00-11,55	17,39	10,85	0,51	12,3	2,19	0,344	0,00242	125
15,00-15,55	17,68	11,79	0,48	37	1,15	0,249	0,00203	149

## 10. PERHITUNGAN PENURUNAN KONSOLIDASI

Tabel 2 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah

Lapisan Tanah	Beban 3 m (kN/m)	Beban 5 m (kN/m)	Beban 7 m (kN/m)	Sp 3m	Sp 5m	Sp 7m
Lapisan 1	44,89	85,26	121,80	0,0493	0,0652	0,0746
Lapisan 2	33,41	73,08	104,75	0,0462	0,0776	0,0952
Lapisan 3	22,97	57,42	80,39	0,0200	0,0420	0,0535
Lapisan 4	21,92	46,98	77,95	0,0080	0,0154	0,0230
				0,1234	0,2002	0,2464

## 11. PERHITUNGAN KENAIKAN KUAT GESER

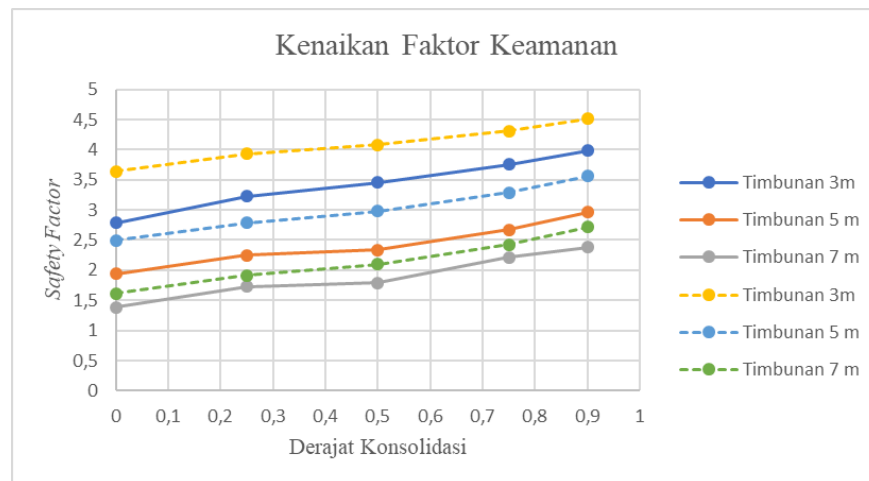
Tabel 3 Perhitungan Kenaikan Kuat Geser

lapisan tanah	Timbunan 3 m			Timbunan 5 m			Timbunan 7 m		
	$\sigma'p$ (25%)	$\Delta Su$	Su Akhir	$\sigma'p$ (25%)	$\Delta Su$	Su Akhir	$\sigma'p$ (25%)	$\Delta Su$	Su Akhir
Lapisan 1	15,2213	3,3487	17,4487	17,4727	3,8440	17,9440	18,9510	4,1692	18,2692
Lapisan 2	40,9267	9,0039	18,8039	45,9117	10,1006	19,9006	48,9693	10,7733	20,5733
Lapisan 3	72,8644	16,0302	28,3302	78,9718	17,3738	29,6738	82,3693	18,1213	30,4213
Lapisan 4	102,8023	22,6165	59,6165	107,8067	23,7175	60,7175	113,1626	24,8958	61,8958
	$\sigma'p$ (50%)			$\sigma'p$ (50%)			$\sigma'p$ (50%)		
Lapisan 1	23,3320	5,1330	19,2330	30,7447	6,7638	20,8638	36,1674	7,9568	22,0568
Lapisan 2	48,4662	10,6626	20,4626	60,9921	13,4183	23,2183	69,3865	15,2650	25,0650
Lapisan 3	78,3822	17,2441	29,5441	92,0727	20,2560	32,5560	100,1654	22,0364	34,3364
Lapisan 4	108,1378	23,7903	60,7903	118,9223	26,1629	63,1629	131,0321	28,8271	65,8271
	$\sigma'p$ (75%)			$\sigma'p$ (75%)			$\sigma'p$ (75%)		
Lapisan 1	35,7646	7,8682	21,9682	54,0979	11,9015	26,0015	69,0241	15,1853	29,2853
Lapisan 2	57,3947	12,6268	22,4268	81,0259	17,8257	27,6257	98,3163	21,6296	31,4296
Lapisan 3	84,3178	18,5499	30,8499	107,3469	23,6163	35,9163	121,8064	26,7974	39,0974
Lapisan 4	113,7503	25,0251	62,0251	131,1840	28,8605	65,8605	151,7234	33,3791	70,3791
	$\sigma'p$ (90%)			$\sigma'p$ (90%)			$\sigma'p$ (90%)		
Lapisan 1	46,2120	10,1666	24,2666	75,9324	16,7051	30,8051	101,7211	30,8051	36,4786
Lapisan 2	63,5231	13,9751	23,7751	96,0802	21,1376	30,9376	121,1814	30,9376	36,4599
Lapisan 3	88,0929	19,3804	31,6804	117,7022	25,8945	38,1945	136,9751	38,1945	42,4345
Lapisan 4	117,2566	25,7965	62,7965	139,1398	30,6108	67,6108	165,6751	67,6108	73,4485

## 12. PERHITUNGAN KESTABILAN TIMBUNAN

Tabel 4 Angka Keamanan Timbunan Berdasarkan Perhitungan

<i>Safety Factor</i>		<i>Software</i>			<i>Manual</i>	
Derajat Konsolidasi	Timbunan 3m	Timbunan 5 m	Timbunan 7 m	Timbunan 3m	Timbunan 5 m	Timbunan 7 m
0	2,786	1,937	1,383	3,6412	2,4971	1,6139
25%	3,228	2,245	1,727	3,9268	2,7858	1,9147
50%	3,458	2,332	1,794	4,0790	2,9799	2,1020
75%	3,759	2,671	2,21	4,3123	3,2883	2,4213
90%	3,985	2,961	2,378	4,5084	3,5579	2,7165



Gambar 6 Grafik Kenaikan Faktor Keamanan

Garis putus – putus menunjukkan perhitungan dengan menggunakan cara manual dan garis lurus menunjukkan perhitungan dengan menggunakan *Software*.

### 13. KESIMPULAN

Berikut adalah kesimpulan dari jurnal ini.

1. Persentase kenaikan angka keamanan pada perhitungan menggunakan cara manual lebih kecil 10% - 20% ketimbang persentase kenaikan angka keamanan pada perhitungan dengan menggunakan *Software*.
2. Berdasarkan tabel persentase kenaikan angka keamanan, semakin tinggi timbunan, maka kenaikan angka keamanan yang disebabkan oleh kenaikan kuat geser tanah akan semakin besar.
3. Berdasarkan tabel kestabilan timbunan, semakin besar derajat konsolidasi, maka angka keamanan yang didapatkan akan semakin besar
4. Berdasarkan tabel kenaikan kuat geser, kenaikan kuat geser antar timbunan hanya berbeda sekitar 4,5 % dari timbunan tinggi 3 m ke timbunan tinggi 5 m ke timbunan tinggi 7 m.

### DAFTAR PUSTAKA

- Darwis (2018). Dasar – Dasar Mekanika Tanah. Yogyakarta : Pustaka AQ.
- Duncan, M (2014). *Soil Strength and Slope Stability*. New Jersey : John Wiley & Sons.
- Hardiani, Dyah (2018). Analisis Perkuatan Tanah Timbunan Pada Pelebaran Jalan di Ruas Jalan Veteran. 4.2655 – 4453
- Lastiasih, Y & Tantri,P (2015). *Analysis of Increasing Shear Strength of Soil to Slope Stabiility After Consolidation Settlement Completed With Various Method.2*
- Siska, H (2016). Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lunak di Gedebage. 2.