

# PENGARUH PERUBAHAN PETA HAZARD GEMPA INDONESIA TERHADAP PERENCANAAN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN ANGKUR

Aprilia Tika Pratiwi <sup>1)</sup>, Dio Alif Hutama <sup>2)</sup>, Isnaniati <sup>3)</sup>,

<sup>1)</sup> Progam Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surabaya

Jl. Sutorejo No. 59 Surabaya, Telp 031-3811966

Email: [aprilatikapratiwi1769@gmail.com](mailto:aprilatikapratiwi1769@gmail.com)

<sup>2)</sup> Progam Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surabaya

Jl. Sutorejo No. 59 Surabaya, Telp 031-3811966

Email: [dioalifhutama@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:dioalifhutama@ft.um-surabaya.ac.id)

<sup>3)</sup> Progam Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surabaya

Jl. Sutorejo No. 59 Surabaya, Telp 031-3811966

Email: [isnaniati65@gmail.com](mailto:isnaniati65@gmail.com)

## Abstract

This paper discusses the comparison of changes in Indonesia's earthquake hazard map in 2010 and 2017, planning slope reinforcement using ground anchor with variations in reinforcement angle variations ( $\theta$ ), ratio of anchor length ( $L / H$ ) and vertical distance ( $S_v$ ) at anchor installation. Moreover, the Indonesian region is located in a very active tectonic zone so it is very vulnerable to earthquakes. In 2017 a revision was made of the Indonesian earthquake map where in the latest map there was a change in earthquake load plans for several regions, one of which was the Banyuwangi area. This research was conducted using a computer program that is Rocscience Slide 6.0 and manual calculation. The Rocscience Slide 6.0 program is used to calculate external stability (overall) while manual calculation is used to calculate internal stability and stability against failure of soil carrying capacity. The results of the analysis show the decreasing of safety factor (FS) for unreinforced slope due to changes in the 2010 to 2017 seismic load of 3,9% calculated using Slide 6.0. Internal stability of pullout the decreasing of FS by 8,8% - 10,2%. Internal stability of rupture show the decreasing of FS by 8,5% - 10,4%. External stability against bearing capacity failure shows the decreasing of FS by 13,1% - 13,8%. Global stability show decreasing of FS by 4,2% - 5,6%.

**Keywords :** Ground Anchor, Slide 6.0, Seismic Hazard Maps, Slope

## Abstrak

Penelitian ini membahas mengenai perbandingan perubahan peta hazard gempa Indonesia tahun 2010 dan tahun 2017, merencanakan perkuatan lereng menggunakan ankur (*ground anchor*) dengan variasi variasi sudut perkuatan ( $\theta$ ), rasio panjang ankur ( $L/H$ ) dan jarak vertikal ( $S_v$ ) pada pemasangan ankur. Terlebih wilayah Indonesia terletak pada zona tektonik yang sangat aktif sehingga sangat rawan terhadap gempa bumi. Pada tahun 2017 dilakukan revisi terhadap peta gempa Indonesia dimana dalam peta terbaru tersebut terjadi perubahan beban gempa rencana untuk beberapa daerah salah satunya daerah Banyuwangi. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program komputer yaitu Rocscience Slide 6.0 dan perhitungan manual. Program Rocscience Slide 6.0 digunakan untuk menghitung stabilitas eksternal (overall) sedangkan perhitungan manual digunakan untuk menghitung stabilitas internal dan stabilitas terhadap kegagalan daya dukung tanah. Dari hasil penelitian perhitungan Slide 6.0 lereng tanpa perkuatan menunjukkan adanya penurunan besarnya FS dari perubahan beban gempa tahun 2010 ke 2017 sebesar 3,9%. Stabilitas internal terhadap cabut tulangan menunjukkan adanya penurunan FS sebesar 8,8% - 10,2% dari beban gempa tahun 2010 ke 2017. Stabilitas internal putus tulangan menunjukkan adanya perubahan FS sebesar 8,5% - 10,4% dari beban gempa tahun 2010 ke 2017. Stabilitas eksternal terhadap kegagalan daya dukung menunjukkan adanya perubahan FS sebesar 13,1% - 13,8% dari beban gempa tahun 2010 ke 2017. Perhitungan Slide 6.0 stabilitas eksternal terhadap keruntuhan global menunjukkan adanya perubahan FS sebesar 4,2% - 5,6% dari beban gempa tahun 2010 ke 2017.

**Kata Kunci:** *Ground Anchor, Slide 6.0, Peta Hazard Gempa, Lereng*

## PENDAHULUAN

Kemantapan (stabilitas) lereng merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian, penimbunan tanah, batuan dan bahan galian, karena menyangkut persoalan keselamatan manusia (pekerja), keamanan peralatan serta kelancaran produksi. Stabilitas tanah pada lereng dapat terganggu akibat pengaruh alam, iklim dan aktivitas manusia. Dengan melakukan analisis, kita juga dapat menilai kemantapan lereng jangka pendek dan panjang, menilai kemungkinan kelongsoran yang melibatkan lereng alamiah dan lereng batuan, mengerti mekanisme kelongsoran dan pengaruh faktor lingkungan, sehingga memungkinkan rancangan ulang dari lereng yang telah

runtuh, merencanakan dan merancang pengukuran perbaikan salah satu metode pencegahan bencana tanah longsor yaitu dengan memberikan perkuatan pada lereng, salah satu perkuatan lereng yang sering digunakan di dunia konstruksi adalah *ground anchor*. *Ground anchors* atau dalam bahasa disebut jangkar tanah yang berfungsi sebagai struktur perkuatan tanah, berupa baja yang disisipkan dalam formasi tanah dengan arah sudut kemiringan yang bervariasi (Artati,2001).

Pada umumnya faktor-faktor yang menyebabkan lereng tidak stabil adalah geometri lereng, kekuatan massa batuan lereng, struktur batuan, air tanah, beban luar dan tegangan insitu. Dari salah satu yang telah disebutkan di atas beban luar yang terjadi disebabkan karena adanya

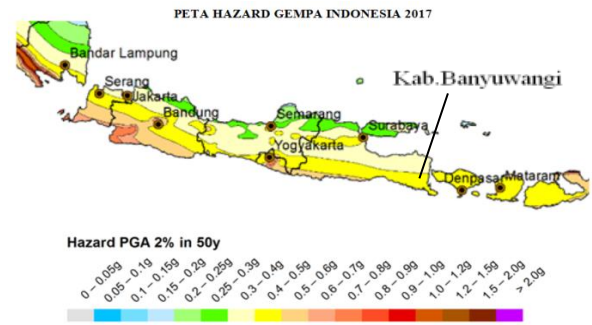
gempa bumi, terlebih wilayah Indonesia terletak pada zona tektonik yang sangat aktif sehingga sangat rawan terhadap gempa bumi. Dalam mengantisipasi bahaya gempa, pemerintah Indonesia telah mempunyai standar peraturan perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung yaitu SNI-03-1726-2012 yang merupakan hasil revisi dari SNI-03-1726-2002. Perubahan mendasar dalam standar ini adalah ruang lingkup yang diatur dan diperluas, serta penggunaan peta-peta gempa yang baru dan format penulisan ditulis sesuai dengan Pedoman Standarisasi Nasional (PSN) 08:2007, selain itu terdapat pula standart SNI 8460-2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik

Standar perencanaan umumnya selalu diperbarui guna mengakomodir perkembangan iptek dan data-data kejadian gempa terbaru. Dalam upaya merevisi peta gempa Indonesia ini dan untuk mengintegrasikan berbagai keilmuan terkait bidang kegempaan, maka pada tahun 2009 di bawah koordinasi Kementerian Pekerjaan Umum telah dibentuk Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010, dan pada tahun 2016 para pakar dan peneliti gempa bumi menemukan sumber-sumber gempa bumi baru dengan potensi gempa yang cukup besar. Sumber-sumber gempa tersebut berupa sesar aktif atau patahan yang dihasilkan dari aksi gaya lempeng tektonik. Beberapa sesar ditemukan di pulau Jawa, seperti sesar Kendeng yang melintasi beberapa wilayah di Jawa Timur, yang mana sesar-sesar ini sebelumnya belum terdeteksi pada peta gempa tahun 2010. Oleh karena itu muncullah Revisi Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017. Peta ini merupakan hasil pemutakhiran peta gempa tahun 2010 (Litbang, 2016). Gempa rencana untuk lereng galian dan timbunan ditetapkan dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2% atau setara dengan periode ulang 500 tahun dengan mengacu pada peta gempa yang terdapat pada surat edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 12/SE/M/2010. (RSNI3,2017), dapat kita lihat dalam kedua peta tersebut mengalami suatu perubahan dalam besarnya pembebanan terutama daerah Jawa Timur tepatnya daerah Banyuwangi seperti yang ditampilkan pada Gambar 1 untuk peta tahun 2010 tercantum 0,3-0,4 g dan Gambar 2 untuk peta tahun 2017 tercantum 0,4- 0,5g.



Gambar 1 Peta Hazard Gempa Indonesia 2010. Wilayah Kabupaten Banyuwangi

Sumber : Anonim (2010)



Gambar 2 Peta Hazard Gempa Indonesia 2017. Wilayah Kabupaten Banyuwangi. Sumber : Anonim (2017)

Dengan terjadinya perubahan pembebanan yang lebih besar di daerah Banyuwangi dari tahun 2010 ke 2017 maka perlu adanya penelitian lebih lanjut diambillah topik jurnal ini yaitu Pengaruh Revisi Peta Hazard Gempa Indonesia Terhadap Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan Angkur.

### Pemilihan Parameter Perencanaan Angkur

Hasil pemilihan parameter perencanaan angkur berdasarkan penelitian sebelumnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Penelitian Terdahulu

PENELITI	URAIAN	
Hanindya	Tinggi lereng (H)	30ft
Kusuma Artati (2001)	Panjang angkur terbaik (L)	24ft(L/H=0,8)
	Sudut Angkur terbaik ( $\theta$ )	5°
Heri Syaeful dan June Mellawati (2013)	Tinggi lereng (H)	44 m
	Jarak Vertikal (Sv)	1,25 m
Subriadi Subri (2013)	Sudut Angkur ( $\theta$ )	40°
	Tinggi lereng (H)	7m
	Panjang Angkur (L)	9-11m (L/H=1,3-1,6)
	Kapasitas Kekuatan	60 Kn

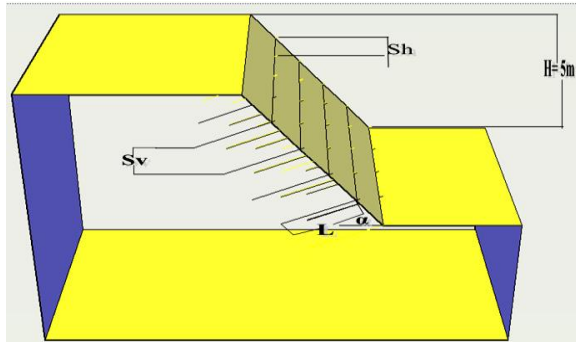
Sumber : Analisis data (2018)

Berdasarkan RSNI 3 Persyaratan Perancangan Geoteknik (2017) disyaratkan sudut kemiringan angkur berkisar antara 30° - 45°.

### METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program komputer Rocscience Slide 6.0 dan perhitungan manual. Program Rocscience Slide 6.0 digunakan untuk menghitung stabilitas eksternal (overall) sedangkan perhitungan manual digunakan untuk menghitung stabilitas internal dan stabilitas terhadap kegagalan daya dukung tanah. Variasi penelitian yang digunakan antara lain variasi sudut kemiringan angkur ( $\theta$ )=30°,40°, 45°, rasio panjang perkuatan dan tinggi lereng (L/H)=0,6., 0,8., 1 dan jarak vertikal antar perkuatan (Sv)= 2m.

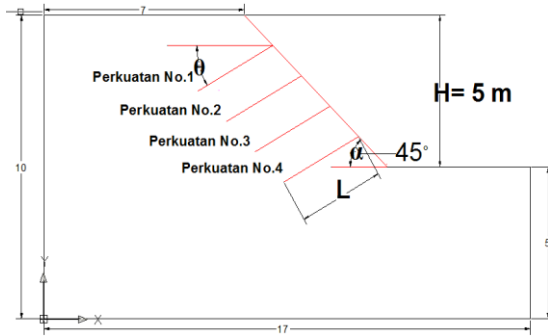
Geometri model lereng yang digunakan pada penelitian ini di sajikan pada Gamabr 3 dan Gambar 4.



Gambar 3 Geometri Lereng  
Sumber : Analisis data (2018)

Keterangan :

- H= tinggi lereng (m)
- L= panjang perkuatan ankkur
- $\theta$ = sudut kemiringan ankkur ( $^{\circ}$ )
- $\alpha$  = sudut kemiringan lereng ( $^{\circ}$ )
- Sh = jarak horizontal antar perkuatan (m)
- Sv = jarak vertikal antar perkuatan (m)



Gambar 4 Penomoran Perkuatan Lereng  
Sumber : Analisis data (2018)

Keterangan :

- H= tinggi lereng (m)
- L= panjang perkuatan ankkur
- $\theta$ = sudut kemiringan ankkur ( $^{\circ}$ )
- $\alpha$  = sudut kemiringan lereng ( $^{\circ}$ )

Alternatif pemasangan ini dilakukan dengan cara: rancangan perkuatan ankkur daerah Kab. Banyuwagi meliputi sudut kemiringan, panjang ankkur, beban gempa, dan terakhir menentukan faktor keamanan. Variasi penelitian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Variabel Penelitian

Sv(m)	$\theta^{\circ}$	L/H	Beban	Beban
			Gempa 2010	Gempa 2017
2 m	30 $^{\circ}$	0,6	1	1
		0,8		
	40 $^{\circ}$	0,6		
		0,8		
	45 $^{\circ}$	0,6		
		0,8		

Sumber : Analisis data (2018)

### Properti Tanah dan Perkuatan

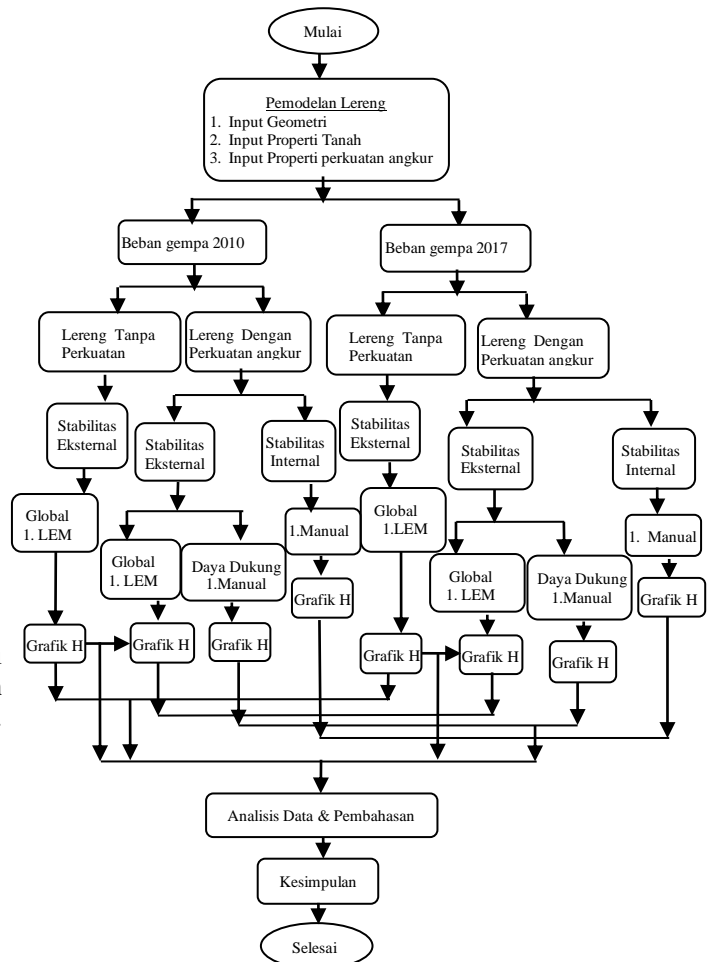
Parameter data tanah yang digunakan adalah berat volume tanah, kohesi, sudut geser dalam, kemiringan lereng, dan kapasitas ankkur. Kelas situs diasumsikan tanah sedang (SD). Parameter tanah dan perkuatan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Parameter tanah dan perkuatan

Parameter	Satuan
Berat Volume Tanah ( $\gamma$ )	17 kN/m <sup>3</sup>
Kohesi (c )	10 kN/m <sup>2</sup>
Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )	30 $^{\circ}$
Kapasitas Ankkur (Ta)	60 kN
Bond Strenght	50 kN/m
Jarak Horizontal Antar Ankkur (Sh)	1 m

Sumber : Analisis data (2018)

Diagram alir penelitian yang akan dilakukan seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian  
Sumber : Analisis data (2018)

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**  
**Penentuan Koefisien Seismik Horizontal**

- 1) Perhitungan Koefisien Seismik Horizontal (kh)
  - Menentukan percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs  $F_{PGA}$  pada Tabel 4.

Tabel 4 Koefisien Situs  $F_{PGA}$

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA \leq 0,2$	$PGA \leq 0,3$	$PGA \leq 0,4$	$PGA \leq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	Lihat 6.9				

Sumber : Anonim (2012)

Perolehan kelas situs SD ( tanah sedang ) :

- Beban gempa tahun 2010,  $PGA = 0,4 = 1,1$
- Beban gempa tahun 2017,  $PGA = 0,5 = 1,0$

- 2) Perhitungan  $PGA_M 0,4$

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA$$

$$= 1,1 \times 0,4 = 0,44 \text{ g}$$

- 3) Perhitungan  $PGA_M 0,5$

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA$$

$$= 1,1 \times 0,5 = 0,5 \text{ g}$$

- 4) Penentuan koefisien horizontal (kh) :  $0,5 \times \frac{PGA_M}{g}$

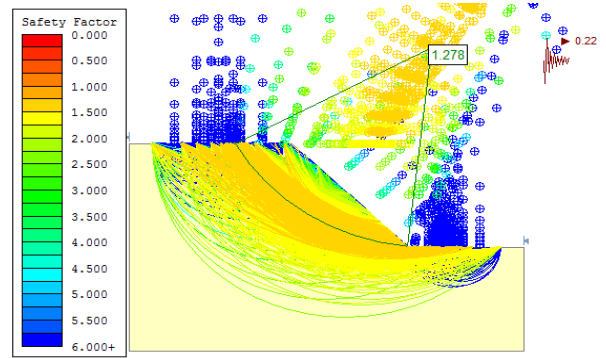
$$\text{Tahun 2010} = 0,5 \times \frac{0,44 \text{ g}}{g} = 0,22$$

$$\text{Tahun 2017} = 0,5 \times \frac{0,5 \text{ g}}{g} = 0,25$$

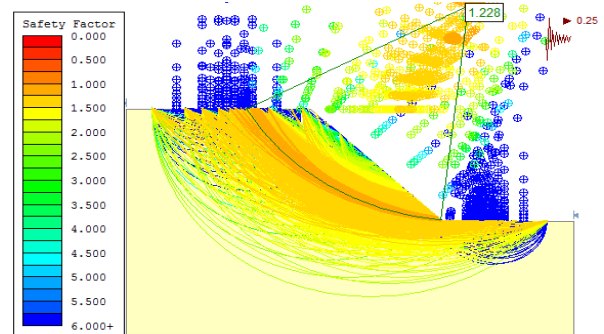
Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh beban gempa tahun 2010 sebesar kh= 0,22 sedangkan pada tahun 2017 sebesar 0,25.

**Analisis tanpa perkuatan Slide 6.0 Beban Gempa Tahun 2010 dan Tahun 2017**

Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan yang menggunakan beban gempa 2010 dengan kh 0,22 didapatkan hasil perhitungan bidang longsor untuk model lereng dengan kemiringan 45° ditunjukkan pada Gambar 6. Faktor keamanan dihitung menggunakan bantuan program Rocscience Slide 6.0. Faktor keamanan pada kelongsoran yang diperoleh pada lereng tersebut sebesar 1,278. Sedangkan beban gempa 2017 dengan kh 0,25 ditunjukkan pada Gambar 7. Faktor keamanan dihitung menggunakan bantuan program Rocscience Slide 6.0. Faktor keamanan pada kelongsoran yang diperoleh pada lereng tersebut sebesar 1,228 .



Gambar 6 Hasil perhitungan Slide 6.0 untuk lereng tanpa perkuatan dengan kh=0,22.  
Sumber : Analisis data (2018)



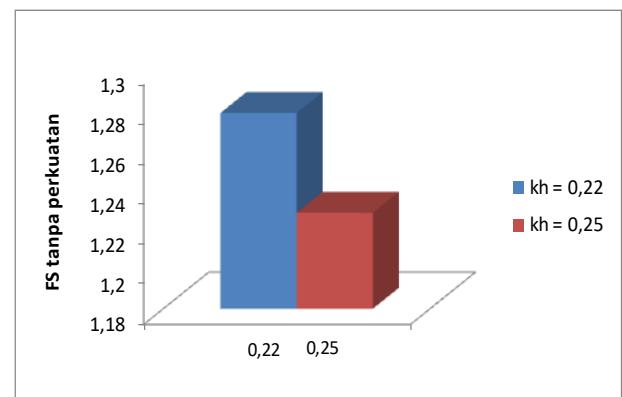
Gambar 7 Hasil perhitungan Slide 6.0 untuk lereng tanpa perkuatan dengan kh=0,25.  
Sumber : Analisis data (2018)

Hasil perhitungan stabilitas tanpa perkuatan dari beban gempa tahun 2010 kh=0,22 dan tahun 2017 kh=0,25 disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 8.

Tabel 5 Persentase Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

Beban Gempa (kh)	FS Tanpa Perkuatan
	Slide 6.0 (Bishop)
0,22	1,278
0,25	1,228
Prosentase Penurunan FS (%)	3,9

Sumber : Analisis data (2018)



Gambar 8 Grafik hubungan FS tanpa perkuatan Vs koefisien horizontal (kh) beban gempa.  
Sumber : Analisis data (2018)



Dari Gambar 8 hubungan FS terhadap beban gempa (kh) dapat di analisa sebagai berikut :

1. Hubungan antara FS tanpa perkuatan terhadap beban gempa, tampak pada perhitungan yang sama yaitu cara program Slide 6.0 besarnya FS tahun 2010 kh=0,22 lebih besar dari FS tahun 2017 kh= 0,25. Hal ini disebabkan semakin besar nilai beban gempa (kh) pada tahun 2017 maka nilai moment dorong juga semakin besar, sehingga dampak terhadap FS tahun 2017 kh=0,25 semakin kecil.

**Analisis Lereng Dengan Perkuatan Angkur Stabilitas Internal Angkur (Putus Tulangan dan Cabut Tulangan kh=0,22 dan kh=0,25)**

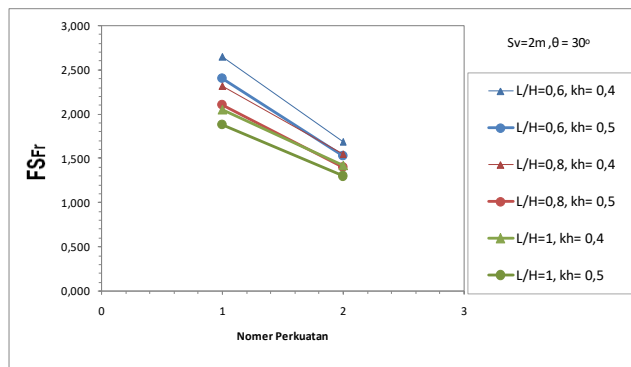
a. Grafik FS putus tulangan ( $F_{SFr}$ )  $\theta=30^\circ$ ,  $S_v=2m$

Hasil perhitungan penurunan persentase FS terhadap putus tulangan yang di pengaruhi oleh perubahan beban gempa tahun 2010 kh=0,22 dan tahun 2017 kh=0,25 dapat kita lihat pada Tabel 6 dan Gambar 9

Tabel 6 Penurunan perhitungan faktor keamanan terhadap putus tulangan ( $F_{SFr}$ ) untuk  $\theta=30^\circ$  dan  $S_v=2m$

$\theta$	SV	L/H	No	FSFr		Penurunan Persentase FSFr(%)
			perkuatan	kh= 0,22	kh= 0,25	
30	2m	0,6	1	2,6458	2,4080	9,0
			2	1,6856	1,5308	9,2
		0,8	1	2,3138	2,1051	9,0
			2	1,5444	1,4025	9,2
		1	1	2,0559	1,8818	8,5
			2	1,4251	1,2998	8,8

Sumber : Analisis data (2018)



Gambar 9 Grafik FS putus tulangan ( $F_{SFr}$ ) terhadap tiap no perkuatan angkur dengan  $\theta=30^\circ$ ,  $S_v=2m$  (kh= 0,22 dan kh= 0,25).

Sumber : Analisis data (2018)

Dari Gambar 9 dan Tabel 6 hubungan FS putus tulangan terhadap no.perkuatan dapat dianalisa sebagai berikut :

- 1) Tampak pada beban gempa tahun 2010 kh= 0,22 dengan variasi sudut ( $\theta$ )=  $30^\circ$ , jarak vertikal (sv)=2m dan rasio panjang (L/H= 0,6, L/H=0,8, L/H=1) memiliki FS yang lebih besar dari pada beban gempa tahun 2017 kh=0,25. Hal ini dikarenakan adanya

kenaikan nilai  $K_a$  pada beban gempa tahun 2017 yang menyebabkan FS putus tulangan semakin kecil.

- 2) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2010 kh=0,22 dengan variasi L/H=0,6, L/H= 0,8 dan L/H= 1. Menunjukkan FS L/H= 0,6 memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan kecilnya nilai Z (kedalaman perkuatan ) pada panjang L/H=0,6 sehingga semakin kecil nilai Z (kedalaman perkuatan), semakin besar pula FS terhadap putus tulangan.
- 3) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2017 kh=0,25 dengan variasi L/H=0,6, L/H= 0,8 dan L/H= 1. Menunjukkan FS L/H= 0,6 memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan kecilnya nilai Z (kedalaman perkuatan ) pada panjang L/H=0,6 sehingga semakin kecil nilai Z (kedalaman perkuatan), semakin besar pula FS terhadap putus tulangan.

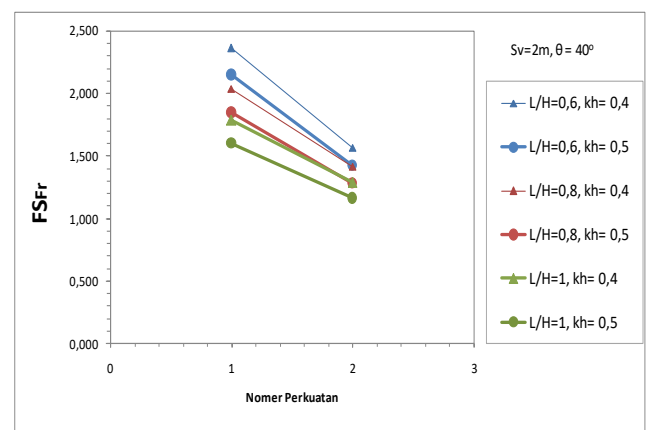
b. Grafik FS putus tulangan ( $F_{SFr}$ )  $\theta=40^\circ$ ,  $S_v=2m$

Hasil perhitungan penurunan persentase FS terhadap putus tulangan yang di pengaruhi oleh perubahan beban gempa tahun 2010 kh=0,22 dan tahun 2017 kh=0,25 dapat kita lihat pada Tabel 7 dan Gambar 10.

Tabel 7 Penurunan perhitungan faktor keamanan terhadap putus tulangan ( $F_{SFr}$ ) untuk  $\theta=40^\circ$  dan  $S_v=2m$

$\theta$	SV	L/H	No	FSFr		Penurunan Persentase FSFr(%)
			perkuatan	kh= 0,22	kh= 0,25	
40	2m	0,6	1	2,3644	2,1470	9,2
			2	1,5668	1,4210	9,3
		0,8	1	2,0380	1,8467	9,4
			2	1,4165	1,2829	9,4
		1	1	1,7894	1,6038	10,4
			2	1,2917	1,1608	10,1

Sumber : Analisis data (2018)



Gambar 10 Grafik FS putus tulangan ( $F_{SFr}$ ) terhadap tiap no perkuatan angkur dengan  $\theta=40^\circ$ ,  $S_v=2m$  (kh= 0,22 dan kh= 0,25). Sumber : Analisis data (2018)

Dari Gambar 10 dan Tabel 7 hubungan FS putus tulangan terhadap no.perkuatan dapat dianalisa sebagai berikut :

- 1) Tampak pada beban gempa tahun 2010 kh= 0,22 dengan variasi sudut ( $\theta$ )= 40°, jarak vertikal (sv)= 2m dan rasio panjang (L/H= 0,6, L/H=0,8, L/H=1) memiliki FS yang lebih besar dari pada beban gempa tahun 2017 kh=0,25. Hal ini dikarenakan adanya kenaikan nilai Ka pada beban gempa tahun 2017 yang menyebabkan FS putus tulangan semakin kecil.
- 2) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2010 kh=0,22 dengan variasi L/H=0,6, L/H= 0,8 dan L/H= 1. Menunjukkan FS L/H= 0,6 memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan kecilnya nilai Z (kedalaman perkuatan ) pada panjang L/H=0,6 sehingga semakin kecil nilai Z (kedalaman perkuatan), semakin besar pula FS terhadap putus tulangan.
- 3) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2017 kh=0,25 dengan variasi L/H=0,6, L/H= 0,8 dan L/H= 1. Menunjukkan FS L/H= 0,6 memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan kecilnya nilai Z (kedalaman perkuatan ) pada panjang L/H=0,6 sehingga semakin kecil nilai Z (kedalaman perkuatan), semakin besar pula FS terhadap putus tulangan.

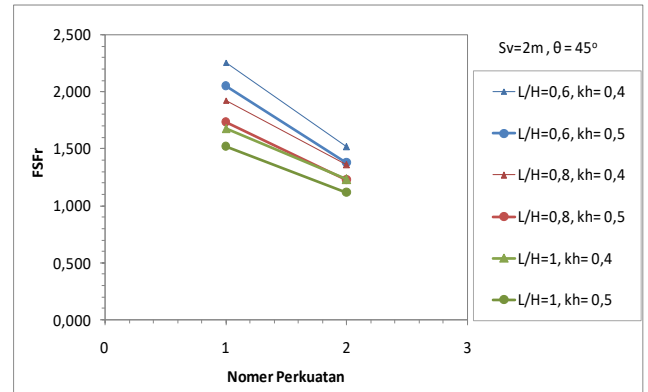
c. Grafik FS putus tulangan ( $F_{SFr}$ )  $\theta=45^\circ$ , Sv=2m

Hasil perhitungan penurunan persentase FS terhadap putus tulangan yang di pengaruhi oleh perubahan beban gempa tahun 2010 kh=0,22 dan tahun 2017 kh=0,25 dapat kita lihat pada Tabel 8 dan Gambar 11.

Tabel 8 Penurunan perhitungan faktor keamanan terhadap putus tulangan ( $F_{SFr}$ ) untuk  $\theta=45^\circ$  dan Sv =2m

$\theta$	SV	L/H	No perkuatan	$F_{SFr}$		Penurunan Persentase $F_{SFr}(\%)$
				kh= 0,22	kh=0,25	
45	2 m	0,6	1	2,2567	2,0477	9,2615
			2	1,5188	1,3768	9,3474
		0,8	1	1,9239	1,7341	9,8636
			2	1,3604	1,2276	9,7644
		1	1	1,6775	1,5220	9,2698
			2	1,2327	1,1173	9,3566

Sumber : Analisis data (2018)



Gambar 11 Grafik FS putus tulangan ( $F_{SFr}$ ) terhadap tiap no perkuatan angkur dengan  $\theta=45^\circ$ , Sv= 2m (kh= 0,22 dan kh= 0,25).

Sumber : Analisis data (2018)

Dari Gambar 11 dan Tabel 8 hubungan FS putus tulangan terhadap no.perkuatan dapat dianalisa sebagai berikut :

- 1) Tampak pada beban gempa tahun 2010 kh= 0,22 dengan variasi sudut ( $\theta$ )= 45°, jarak vertikal (sv)= 2m dan rasio panjang (L/H= 0,6, L/H=0,8, L/H=1) memiliki FS yang lebih besar dari pada beban gempa tahun 2017 kh=0,25. Hal ini dikarenakan adanya kenaikan nilai Ka pada beban gempa tahun 2017 yang menyebabkan FS putus tulangan semakin kecil.
- 2) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2010 kh=0,22 dengan variasi L/H=0,6, L/H= 0,8 dan L/H= 1. Menunjukkan FS L/H= 0,6 memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan kecilnya nilai Z (kedalaman perkuatan ) pada panjang L/H=0,6 sehingga semakin kecil nilai Z (kedalaman perkuatan), semakin besar pula FS terhadap putus tulangan.
- 3) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2017 kh=0,25 dengan variasi L/H=0,6, L/H= 0,8 dan L/H= 1. Menunjukkan FS L/H= 0,6 memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan kecilnya nilai Z (kedalaman perkuatan ) pada panjang L/H=0,6 sehingga semakin kecil nilai Z (kedalaman perkuatan), semakin besar pula FS terhadap putus tulangan.

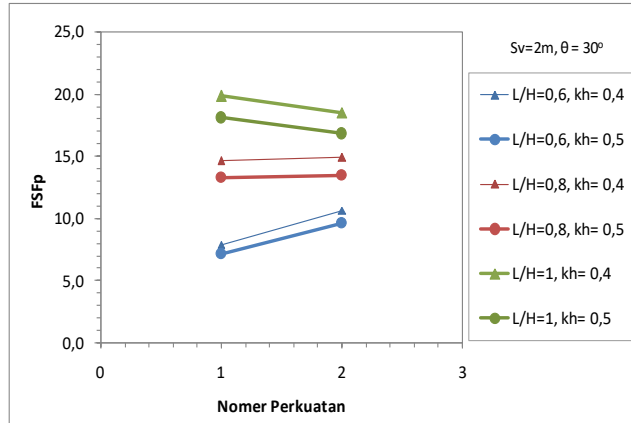
d. Grafik FS cabut tulangan ( $F_{SP}$ )  $\theta=30^\circ$ , Sv=2m

Hasil perhitungan penurunan persentase FS terhadap cabut tulangan yang di pengaruhi oleh perubahan beban gempa tahun 2010 kh=0,22 dan tahun 2017 kh=0,25 dapat kita lihat pada Tabel 9 dan Gambar 12.

Tabel 9 Penurunan perhitungan faktor keamanan terhadap cabut tulangan ( $F_{SFp}$ ) untuk  $\theta= 30^\circ$  dan  $S_v=2$  m

$\theta$	SV	L/H	No perkuatan	FSFp		Penurunan Persentase FSFp (%)
				kh=0,22	kh=0,25	
30	2 m	0,6	1	7,92757	7,15752	9,7
			2	10,66078	9,64068	9,6
	0,8	1	14,64189	13,27829	9,3	
		2	14,91101	13,51472	9,4	
	1	1	19,86408	18,11209	8,8	
		2	18,50583	16,83306	9,0	

Sumber : Analisis data (2018)



Gambar 12 Grafik FS cabut tulangan ( $F_{SFp}$ ) terhadap tiap no perkuatan angkur dengan  $\theta=30^\circ$ ,  $S_v=2$  m ( $kh= 0,22$  dan  $kh= 0,25$ )

Sumber : Analisis data (2018)

Dari Gambar 12 dan Tabel 9 hubungan FS cabut tulangan terhadap no.perkuatan dapat dianalisa sebagai berikut :

- 1) Tampak pada beban gempa tahun 2010  $kh= 0,22$  dengan variasi sudut ( $\theta$ )=  $30^\circ$ , jarak vertikal ( $sv$ )=2m dan rasio panjang ( $L/H= 0,6$ ,  $L/H=0,8$ ,  $L/H=1$ ) memiliki FS yang lebih besar dari pada beban gempa tahun 2017  $kh=0,25$ . Hal ini dikarenakan adanya kenaikan nilai  $K_a$  pada beban gempa tahun 2017 yang menyebabkan FS cabut tulangan semakin kecil.
- 2) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2010  $kh=0,22$  dengan variasi  $L/H=0,6$ ,  $L/H= 0,8$  dan  $L/H= 1$ . Menunjukkan FS  $L/H= 1$  memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan besarnya nilai  $L_o$  (panjang perkuatan di belakang garis longsor) pada panjang  $L/H= 1$  sehingga semakin besar nilai  $L_o$ , semakin besar pula FS terhadap cabut tulangan.
- 3) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2010  $kh=0,22$  dengan variasi  $L/H=0,6$ ,  $L/H= 0,8$  dan  $L/H= 1$ . Menunjukkan FS  $L/H= 1$  memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan besarnya nilai  $L_o$  (panjang perkuatan di belakang garis longsor) pada panjang  $L/H= 1$  sehingga semakin besar nilai  $L_o$ , semakin besar pula FS terhadap cabut tulangan.

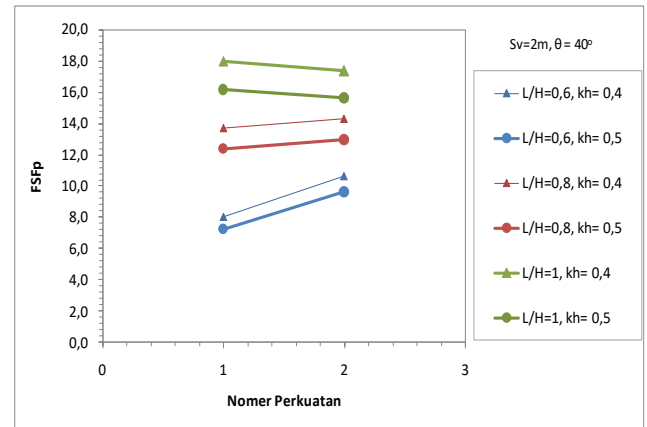
e. Grafik FS cabut tulangan ( $F_{SFp}$ )  $\theta=40^\circ$ ,  $S_v= 2$  m

Hasil perhitungan penurunan persentase FS terhadap cabut tulangan yang di pengaruhi oleh perubahan beban gempa tahun 2010  $kh=0,22$  dan tahun 2017  $kh=0,25$  dapat kita lihat pada Tabel 10 dan Gambar 13.

Tabel 10 Penurunan perhitungan faktor keamanan terhadap cabut tulangan ( $F_{SFp}$ ) untuk  $\theta= 40^\circ$  dan  $S_v=2$  m

$\theta$	SV	L/H	No perkuatan	FSFp		Penurunan Persentase FSFp (%)
				kh=0,22	kh=0,25	
40	2 m	0,6	1	8,01282	7,25472	9,5
			2	10,61709	9,61116	9,5
	0,8	1	13,68403	12,39129	9,4	
		2	14,30655	12,95703	9,4	
	1	1	17,97605	16,14861	10,2	
		2	17,34664	15,62029	10,0	

Sumber : Analisis data (2018)



Gambar 13 Grafik FS cabut tulangan ( $F_{SFp}$ ) terhadap tiap no perkuatan angkur dengan  $\theta=40^\circ$ ,  $S_v= 2$  m ( $kh= 0,22$  dan  $kh= 0,25$ ). Sumber : Analisis data (2018)

Dari Gambar 13 dan Tabel 10 hubungan FS cabut tulangan terhadap no.perkuatan dapat dianalisa sebagai berikut :

- 1) Tampak pada beban gempa tahun 2010  $kh= 0,22$  dengan variasi sudut ( $\theta$ )=  $40^\circ$ , jarak vertikal ( $sv$ )= 2m dan rasio panjang ( $L/H= 0,6$ ,  $L/H=0,8$ ,  $L/H=1$ ) memiliki FS yang lebih besar dari pada beban gempa tahun 2017  $kh=0,25$ . Hal ini dikarenakan adanya kenaikan nilai  $K_a$  pada beban gempa tahun 2017 yang menyebabkan FS cabut tulangan semakin kecil.
- 2) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2010  $kh=0,22$  dengan variasi  $L/H=0,6$ ,  $L/H= 0,8$  dan  $L/H= 1$ . Menunjukkan FS  $L/H= 1$  memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan besarnya nilai  $L_o$  (panjang perkuatan di belakang garis longsor) pada panjang  $L/H= 1$  sehingga semakin besar nilai  $L_o$ , semakin besar pula FS terhadap cabut tulangan.
- 3) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2010  $kh=0,22$  dengan variasi  $L/H=0,6$ ,  $L/H= 0,8$  dan  $L/H= 1$ . Menunjukkan FS  $L/H= 1$

memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan besarnya nilai  $L_0$  (panjang perkuatan di belakang garis longsor) pada panjang  $L/H=1$  sehingga semakin besar nilai  $L_0$ , semakin besar pula FS terhadap cabut tulangan.

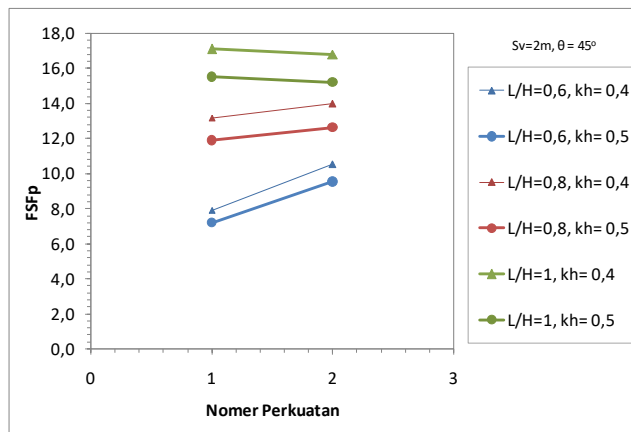
f. Grafik FS cabut tulangan ( $F_{SFp}$ )  $\theta=45^\circ$ ,  $S_v=2m$

Hasil perhitungan penurunan persentase FS terhadap cabut tulangan yang di pengaruhi oleh perubahan beban gempa tahun 2010  $k_h=0,22$  dan tahun 2017  $k_h=0,25$  dapat kita lihat pada Tabel 11 dan Gambar 14.

Tabel 11 Penurunan perhitungan faktor keamanan terhadap cabut tulangan ( $F_{SFp}$ ) untuk  $\theta=45^\circ$  dan  $S_v=2m$

$\theta$	SV	L/H	No perkuatan	FSFp		Penurunan Persentase FSFp (%)
				kh=0,22	kh=0,25	
45	2 m	0,6	1	7,93533	7,18948	9,4
			2	10,53271	9,53671	9,5
		0,8	1	13,18244	11,89547	9,8
			2	13,97483	12,62256	9,7
		1	1	17,08859	15,49994	9,3
			2	16,78094	15,19741	9,4

Sumber : Analisis data (2018)



Gambar 14 Grafik FS cabut tulangan ( $F_{SFp}$ ) terhadap tiap no perkuatan angkur dengan  $\theta=45^\circ$ ,  $S_v=2m$  ( $k_h=0,22$  dan  $k_h=0,25$ ). Sumber : Analisis data (2018)

Dari Gambar 14 dan Tabel 11 hubungan FS cabut tulangan terhadap no.perkuatan dapat dianalisa sebagai berikut :

- 1) Tampak pada beban gempa tahun 2010  $k_h=0,22$  dengan variasi sudut ( $\theta$ )=  $45^\circ$ , jarak vertikal ( $s_v$ )=2 m dan rasio panjang ( $L/H=0,6$ ,  $L/H=0,8$ ,  $L/H=1$ ) memiliki FS yang lebih besar dari pada beban gempa tahun 2017  $k_h=0,25$ . Hal ini dikarenakan adanya kenaikan nilai  $K_a$  pada beban gempa tahun 2017 yang menyebabkan FS cabut tulangan semakin kecil.
- 2) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2010  $k_h=0,22$  dengan variasi  $L/H=0,6$ ,  $L/H=0,8$  dan  $L/H=1$ . Menunjukkan FS  $L/H=1$  memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan besarnya nilai  $L_0$  (panjang perkuatan di belakang garis

longsor) pada panjang  $L/H=1$  sehingga semakin besar nilai  $L_0$ , semakin besar pula FS terhadap cabut tulangan.

- 3) Tampak pada beban gempa yang sama yaitu beban gempa tahun 2010  $k_h=0,22$  dengan variasi  $L/H=0,6$ ,  $L/H=0,8$  dan  $L/H=1$ . Menunjukkan FS  $L/H=1$  memiliki FS tertinggi, hal ini disebabkan besarnya nilai  $L_0$  (panjang perkuatan di belakang garis longsor) pada panjang  $L/H=1$  sehingga semakin besar nilai  $L_0$ , semakin besar pula FS terhadap cabut tulangan.

**Perhitungan Stabilitas Eksternal Angkur Stabilitas Kegagalan Daya Dukung Tanah**

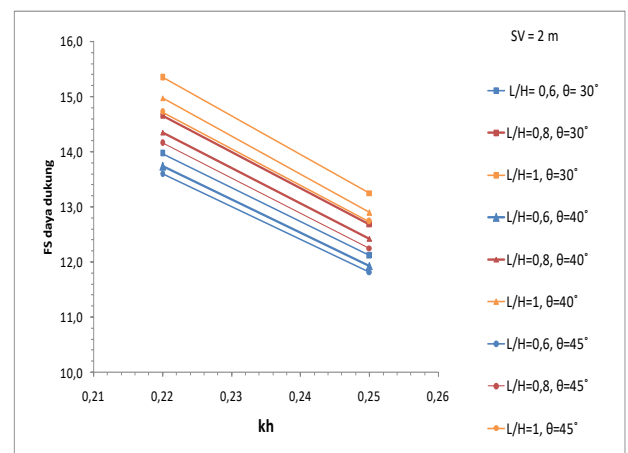
A. Grafik FS daya dukung tanah  $S_v=2m$  ( $k_h=0,22$  dan  $k_h=0,25$ )

Hasil perhitungan penurunan persentase FS terhadap kegagalan daya dukung tanah yang dipengaruhi oleh perubahan beban gempa tahun 2010  $k_h=0,22$  dan tahun 2017  $k_h=0,25$  dapat kita lihat pada Tabel 12 dan Gambar 15.

Tabel 12 Penurunan perhitungan faktor keamanan terhadap kegagalan daya dukung tanah  $S_v=2m$

SV	$\theta$	L/H	FS daya dukung		Prosentase Penurunan FS (%)
			0,22	0,25	
30°	2 m	0,6	13,9739	12,1240	13,2
		0,8	14,6650	12,6862	13,5
		1	15,3562	13,2589	13,7
40°	2 m	0,6	13,7389	11,9330	13,1
		0,8	14,3609	12,4343	13,4
		1	14,9800	12,9070	13,8
45°	2 m	0,6	13,6018	11,8215	13,1
		0,8	14,1636	12,2585	13,5
		1	14,7277	12,7387	13,5

Sumber : Analisis data (2018)



Gambar 15 Grafik FS daya dukung tanah dengan perkuatan angkur untuk  $S_v=2m$ ,  $k_h=0,22$  dan  $k_h=0,25$  Sumber : Analisis data (2018)



Dari Gambar 15 dan Tabel 12 hubungan FS daya dukung tanah terhadap panjang angkur dapat di analisa sebagai berikut :

- 1) Tampak pada beban gempa tahun 2010 kh=0,22 dan tahun 2017 kh= 0,25. Menunjukkan FS daya dukung pada tahun 2010 lebih besar dari pada tahun 2017. Hal ini dikarenakan adanya penurunan nilai  $\sigma_{ult}$  dimana nilai  $\sigma_{ult}$  dipengaruhi oleh faktor kapasitas daya dukung ( $N_cE$ ,  $N_qE$ ,  $N_\gamma E$ ) yang besarnya ditentukan berdasarkan koefisien gempa horizontal (kh). Semakin besar kh maka nilai faktor daya dukung dan nilai  $\sigma_{ult}$  semakin meningkat yang menyebabkan FS akan menurun.
- 2) Tampak pada panjang angkur (L/H)=0,6, L/H= 0,8, L/H= 1 dengan sudut angkur yang sama yaitu  $\theta=30^\circ$  menunjukkan nilai tertinggi ada pada panjang angkur L/H= 1, hal ini dikarenakan pada L/H= 1 memiliki nilai B (daya dukung) yang besar, semakin besar nilai B maka FS terhadap kegagalan daya dukung akan semakin besar.
- 3) Tampak pada sudut angkur  $\theta=30^\circ$ ,  $\theta=40^\circ$ ,  $\theta=45^\circ$  dengan panjang angkur yang sama yaitu L/H=0,6 menunjukkan nilai tertinggi ada pada sudut  $\theta=30^\circ$ , hal ini dikarenakan pada sudut  $\theta=30^\circ$  memiliki nilai B yang besar, semakin besar nilai B maka FS terhadap kegagalan daya dukung akan semakin besar.

**Stabilitas Terhadap Keruntuhan Global**

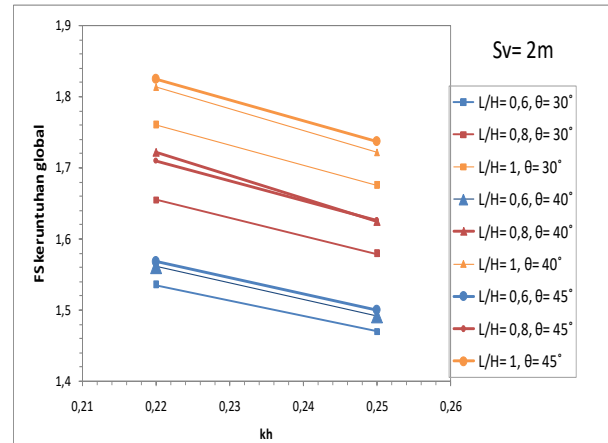
A. Grafik FS keruntuhan Global Sv=2m, kh=0,22 dan kh=0,25

Hasil perhitungan penurunan persentase FS terhadap keruntuhan global yang dipengaruhi oleh perubahan beban gempa tahun 2010 kh= 0,22 dan tahun 2017 kh= 0,25 dapat kita lihat pada Tabel 13 dan Gambar 16.

Tabel 13 Penurunan perhitungan faktor keamanan terhadap keruntuhan global menggunakan Slide 6.0, variasi Sv=2m

Sv	$\theta$	L/H	FS keruntuhan global (Slide)		Persentase Penurunan FS (%)
			kh = 0.22	kh = 0.25	
			Bishop	Bishop	
2 m	30°	0,6	1,535	1,470	4,2
		0,8	1,655	1,579	4,6
		1	1,760	1,675	4,8
	40°	0,6	1,561	1,492	4,4
		0,8	1,722	1,625	5,6
		1	1,813	1,721	5,1
45°	0,6	1,568	1,500	4,3	
	0,8	1,710	1,626	4,9	
	1	1,825	1,737	4,8	

Sumber : Analisis data (2018)



Gambar 16 Grafik FS keruntuhan global dengan perkuatan angkur untuk Sv=2m, kh= 0,22 dan kh= 0,25

Sumber : Analisis data (2018)

- 1) Tampak pada beban gempa tahun 2010 kh= 0,22 dan tahun 2017 kh=0,25 dengan menggunakan program Slide 6.0 besarnya FS kh= 0,22 tahun 2010 lebih besar dari pada FS kh=0,25 tahun 2017. Hal ini dikarenakan semakin besarnya nilai beban gempa (kh) pada tahun 2017, sehingga semakin besar nilai beban gempa (kh) dampak terhadap FS akan semakin kecil.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan dari pengolahan data yang di lakukan dengan program Slide 6.0 dan perhitungan manual maka di dapat hasil sebagaimana berikut:

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu :

1. Besarnya FS tanpa perkuatan dalam kondisi stabilitas eksternal menggunakan program Slide 6.0 beban gempa tahun 2017 kh=0,25 diperoleh FS sebesar 1,228 yang mengalami penurunan FS sebesar 3,9% jika dibandingkan dengan beban gempa tahun 2010 kh = 0,22 dengan FS sebesar 1,278.
2. Besarnya FS pada lereng dengan perkuatan angkur dalam kondisi stabilitas internal tampak pada nilai FS putus tulangan tahun 2017 (kh=0,25) dengan variasi Sv=2m,  $\theta=30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$  dan L/H=0,6, L/H= 0,8 dan L/H=1 mengalami penurunan FS sebesar 8,5% - 10,4% dari beban gempa tahun 2010 (kh=0,22). Sedangkan pada nilai FS cabut tulangan tahun 2017 (kh=0,25) dengan variasi Sv=2m,  $\theta = 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ$  dan L/H=0,6, L/H=0,8, L/H=1 mengalami penurunan FS sebesar 8,8% - 10,2% dari beban gempa tahun 2010 (kh=0,22).
3. Untuk stabilitas kegagalan daya dukung tanah tampak pada beban gempa tahun 2017 kh=0,25 dengan variasi  $\theta=30^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ , Sv= 2m dan L/H=0,6, L/H=0,8, L/H=1 mengalami penurunan FS kuat dukung tanah sebesar 13,1% - 13,8% dari beban gempa tahun 2010 kh=0,22.
4. Stabilitas keruntuhan global perhitungan FS menggunakan program Slide 6.0. tahun 2017 kh=0,25

dengan variasi  $\theta=30^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ ,  $S_v=2\text{m}$  dan  $L/H=0,6$ ,  $L/H=0,8$ ,  $L/H=1$  mengalami penurunan FS sebesar 4,2% - 5,6% dari beban gempa tahun 2010  $k_h=0,22$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- Artati, Hanindya Kusuma, (2001). Analisis Perubahan Slip Surface Pada Penggunaan Perkuatan Angkur Dalam Sistem Stabilitas Lereng. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Balitbang Kementerian PUPR.Pulau Jawa Siaga Gempa 7,5SR. *Berita Even*. 30 Mei. <http://litbang.pu.go.id/arsip/pulau-jawa-siaga-gempa-75-sr/> (di akses 7 Oktober 2017)
- Das, Braja M.,1941. *Shallow foundations bearing capacity and settlement* / Braja M. Das. -- 2nd ed. p. cm. Boca Raton London New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Ebrahimi, Sarah, 2011. Extension of Mononobe Okabe Approach to Unstable Slope. *PhDThesis*. Newark: University of Delaware.
- Hidayah, Susi., dan Gratia, Yohan Roy. 2007. Program Analisis Stabilitas. *Tugas Akhir*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Hutama, Dio Alif, 2017. Validasi Grafik Desain Probabilitas Kestabilan Lereng menggunakan Slide 6. *Jurnal Agregat*. Vol.2, No.1: 7-13.
- Isnaniati, 2017. Studi Komparatif Daya Dukung Pondasi Tiang Dengan Teori Meyerhoff Terhadap Teori L'Decourt Berdasar Hasil Uji N-SPT Di Surabaya Timur. *Jurnal Agregat*. Vol.2, No.2: 153-158.
- K., Rama, Indera., Mina, Enden., dan B.,Suvenuary. 2015. Analisis stabilitas lereng dan perencanaan soilnailing dengan software Geostudio 2007. *Jurnal Fondasi*. 4 (1): (2-3).
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*. <https://orifis.files.wordpress.com> (diakses 10 Oktober 2017)
- Pramudhito, Ari., dan Karunia, Irsan Reza. 2013. Desain perkuatan Lereng Pada Sisi Kananlintasan Kereta Api KM.24+800 S.D.KM. 25+400 Antara Kalisetail-Kalibaru Lintas Surabaya-Banyuwangi, Daerah Oprasi 9 Jember. *Skripsi*. Bandung : Politeknik Negeri Bandung.
- Putra, Tubagus Arisudana Widhya. 2017. Stabilitas Lereng Di Daerah Genangan Dalam Perencanaan Pembangunan Bendungan Logung Kabupaten Kudus, Jawa Tengah. *Tugas Akhir*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Simatupang, Pintor Tua. 2004. *Analisis Stabilitas Lereng Seismik dengan Metode Pseudostatik*. Pertemuan ilmiah tahunan-VIII HATTI, Gd. Pusat Studi Jepang, Unieversitas Indonesia- Depok, 3-4Agustus.<https://www.researchgate.net/publication/299092924>. (di akses 6 Oktober 2017).
- SNI Badan Standarisasi Nasional, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. SNI 1726: 2012. Jakarta.
- SNI Standar Nasional Indonesia, 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. SNI 8460 : 2017. Jakarta.
- Subri, Subriadi. 2013. Studi perkuatan lereng dengan software geoslope pada tanah lempung. *Jurnal Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Syaeful, Heri dan Mellawati, June. 2013. Analisis alternatif tipe pondasi dan ekskavasi-dalam pada lokasi calon tapak pulau panjang, serang. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* Volume 15, Nomor 2: (123-124).
- Widjaja, Budijanto. 17 Juli 2004. *Analisis Batas Untuk Kestabilan Lereng*, (Online) (widjaja@home.unpar.acid, di akses unduh 5 Oktober 2017).