

## Artikel

## Pengaruh Kombinasi Panjang, Diameter dan Jarak Antar Tiang (*Pile*) Terhadap Stabilitas Lereng Zona Penyangga Situs Gunung Padang

Indry Sagita Bodhimantoro<sup>1</sup> dan Fatin Adriati<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie, Jl. H. R. Rasuna Said, Kuningan, DKI Jakarta, 12940, Indonesia

\* Korespondensi: fatin.adriati@bakrie.ac.id

### Abstrak

Situs Gunung Padang merupakan situs prasejarah peninggalan kebudayaan Megalitikum di Jawa Barat yang berupa punden berundak. Diketahui bahwa pernah terjadi longsor di lereng tebing bagian timur dan barat. Pada tebing bagian timur mengalami kelongsoran dengan lebar sekitar 30 m dan ketinggian 70 m serta di lereng bagian barat mengalami longsor selebar 7 m. Penyebab longsor diduga akibat tingginya curah hujan. Perkuatan tiang (*pile*) merupakan perkuatan yang dipakai dalam mengetahui stabilitas lereng. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode elemen hingga. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dilakukan untuk mengetahui stabilitas lereng dan pengaruh kombinasi variabel panjang, diameter dan jarak antar tiang (*pile*). Selain itu juga menganalisa perilaku tiang (*pile*) sebagai perkuatan stabilitas lereng zona penyangga Situs Gunung Padang. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng didapatkan nilai SF sebelum diberi perkuatan tidak dalam kondisi aman yaitu 1,026. Stabilitas lereng setelah diberi perkuatan hanya dapat mendapatkan nilai SF maksimal sebesar 1,183 dari kombinasi antara diameter dan jarak antar *pile*.

Kata kunci: Metode Elemen Hingga, Stabilitas Lereng, Perkuatan Tiang

### 1 Pendahuluan

Situs Gunung Padang merupakan situs prasejarah yang berupa punden berundak yang merupakan salah satu peninggalan kebudayaan Megalitikum di Jawa Barat. Lokasi berada di perbatasan Dusun Gunung Padang dan Punggulan, Desa Karyamukti, Kecamatan Cempaka, Kabupaten Cianjur. Dari kota kecamatan Warungkondang, lokasi berjarak 20 km tepatnya di jalan antara Kota Kabupaten Cianjur dan Sukabumi. Luas kompleks utamanya sekitar 900 m<sup>2</sup> dengan area situs sekitar 3 Ha yang terletak pada ketinggian 885 m dpl, hal tersebut menjadikannya sebagai kompleks punden berundak terbesar di Asia Tenggara. Kawasan ini merupakan kawasan wisata yang sering didatangi oleh para wisatawan lokal maupun wisatawan luar negeri (Wikipedia, 2019).

Akses menuju Situs Gunung Padang melewati lereng gunung yang pernah mengalami longsor berdasarkan berita di website webcom.id. Diketahui bahwa daerah Gunung Padang pada Kamis, 16 Mei 2019 pernah terjadi longsor di lereng tebing bagian timur dan barat. Pada tebing bagian timur mengalami kelongsoran dengan lebar sekitar 30 m dan ketinggian 70 m serta di lereng bagian barat mengalami longsor selebar 7 m. Penyebab longsor diduga akibat tingginya curah hujan. Penanggulangan longsor secara sementara dilakukan dengan memasang pasak bambu di sekitar titik longsor sehingga bisa mencegah sementara agar retakan longsor tidak semakin meluas. Karena terjadinya longsor tersebut maka perlunya peningkatan stabilitas lereng.

Alternatif untuk peningkatan stabilitas lereng terdiri dari beberapa metode antara lain metode geotekstil, metode

cerucuk, metode tiang (*pile*), metode soil nailing dan lain sebagainya. Metode tiang (*pile*) adalah metode yang digunakan untuk menstabilkan kelongsoran tanah aktif. *Pile* yang digunakan dalam stabilitas lereng biasanya dibebani oleh gaya lateral perpindahan horisontal tanah di sekelilingnya, sehingga *pile* dinamakan sebagai *pile* pasif. Untuk daya dukung yang lebih besar, lebih cocok menggunakan tiang beton pracetak. Tiang beton pracetak berbentuk persegi atau segitiga dengan sisi berukuran 10 – 40 cm, akan memberikan kapasitas daya dukung yang lebih besar (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Nurmanza dkk (2014) mengenai stabilitas lereng pada sungai Parit Raya yang berlokasi di Desa Ngadirejo, Kecamatan Pogalan, sebelah Utara Kota Trenggalek. Perkuatan lereng eksisting menggunakan tiang (*pile*) dianalisis dengan software Slope/W. Variabel yang digunakan adalah diameter dan jarak antar *pile*. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa semakin besar rasio jarak antar *pile*, maka semakin kecil nilai angka keamanan (SF) dan semakin besar diameter *pile* maka nilai angka (SF) semakin besar.

Ada pula penelitian sebelumnya oleh Diliaristianto dkk (2017) yang membahas mengenai analisis stabilitas lereng di Kabupaten Wonogiri dimana kondisi alamnya sebagian besar berupa pegunungan yang sangat rawan terhadap tanah longsor. Perkuatan yang digunakan adalah sheet *pile* berupa dinding menerus yang dibuat dengan menghubungkan potongan-potongan yang saling mengunci yang bertujuan untuk menahan tekanan horisontal akibat tanah dan air. Variasi yang digunakan

pada penelitian ini adalah tinggi sheet pile yang berpengaruh terhadap kedalaman perkuatan. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa semakin tinggi sheet pile yang digunakan maka nilai SF semakin besar.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya terbukti bahwa metode tiang (pile) mampu meningkatkan stabilitas lereng. Maka dari itu metode tiang (pile) diajukan untuk diaplikasikan di lereng zona penyangga Situs Gunung Padang yang longsor. Penelitian ini menggunakan kombinasi variabel panjang, diameter serta jarak antar pile dalam analisis stabilitas lereng yang dilakukan dengan menggunakan aplikasi Plaxis 2D versi 8.6.

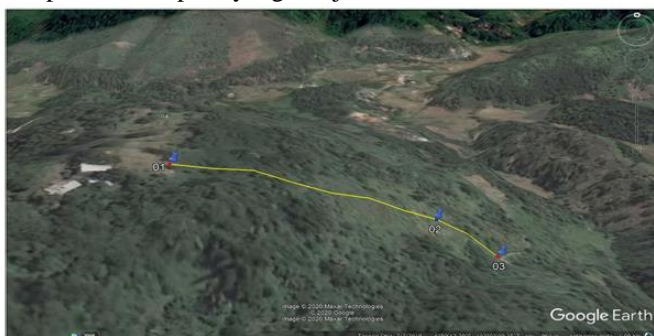
Aplikasi Plaxis digunakan karena aplikasi tersebut merupakan aplikasi komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan untuk menganalisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai kasus dalam bidang geoteknik, seperti daya dukung tanah dan stabilitas lereng. Aplikasi ini dapat menghitung safety factor (SF) dengan akurat dan dalam waktu yang singkat. Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan sebelumnya maka dilakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Kombinasi Panjang, Diameter dan Jarak Antar Tiang (Pile) terhadap Stabilitas Lereng Zona Penyangga Situs Gunung Padang”.

**2 Metode**

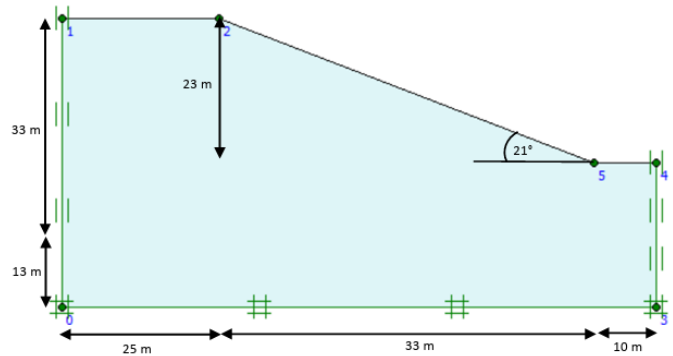
Pada penelitian ini, Parameter tanah baik fisik maupun mekanis pada penelitian ini merupakan data primer, yang diperoleh dengan melakukan observasi langsung dilapangan dan pengujian di laboratorium. Observasi lapangan selain menghasilkan gambaran tentang tanah secara visual, juga menghasilkan data geometri lereng. Sementara itu pengujian di laboratorium menghasilkan data parameter tanah.

**2.1 Geometri Lereng**

Pengambilan data geometri lereng dilakukan dengan cara penelusuran langsung ke lokasi longsor yang berada di lereng sebelah timur zona penyangga Situs Gunung Padang, Cianjur - Jawa Barat. Data diambil menggunakan Global Positioning System (GPS) yang berupa titik-titik koordinat yang dimulai dari puncak lereng (Titik 1), titik awal kelongsoran (Titik 2) hingga dasar lereng yang merupakan titik akhir kelongsoran (Titik 3) seperti yang terlihat pada **Gambar 1**. Data GPS tersebut di-export ke software Google Earth untuk menentukan elevasi masing-masing titik. Data elevasi tersebut kemudian di-plot ke dalam software AutoCad untuk menggambarkan geometri lereng secara manual. Geometri lereng yang digunakan dalam pemodelan terukur dari titik 2 sampai titik 3 seperti yang disajikan dalam **Gambar 2**.



**Gambar 1.** Titik Lokasi Pengambilan Data GPS



**Gambar 2.** Geometri Lereng

**2.2 Parameter Tanah**

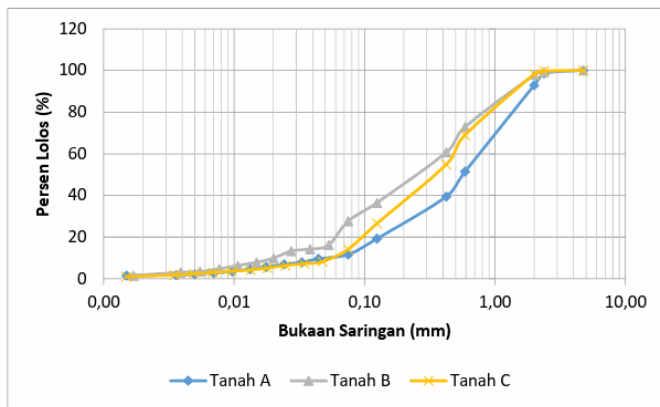
Pengambilan sampel tanah menggunakan hand boring dilakukan dengan kedalaman 130 cm di 3 titik, di titik awal kelongsoran (A), tengah (B) dan titik akhir kelongsoran (C). Sampel tanah, kemudian diuji di laboratorium untuk menentukan parameter fisik dan mekanis tanah. Parameter fisik tanah yang diperoleh antara lain:

- Berat volume ( $\gamma$ ) diperoleh melalui tes berat volume berdasarkan ASTM D-2049.
- Kadar air ( $w_c$ ) diperoleh melalui tes kadar air berdasarkan ASTM D2216-92 (1996).
- Berat Jenis ( $G_s$ ) diperoleh melalui tes Specific Gravity berdasarkan ASTM D 854, AASHTO T 100 dan SNI 1964:2008.
- Batas-batas Atterberg:
  - Liquid Limits (LL) diperoleh melalui tes Liquid Limits berdasarkan ASTM D 4318, AASHTO T 89 dan SNI 1967:2008.
  - Plastic Limits (PL) diperoleh melalui tes Plastic Limits berdasarkan ASTM D 4318, AASHTO T 90 dan SNI 1966:2008.
- Analisis saringan diperoleh melalui tes Sieve Analysis berdasarkan ASTM D 421, ASTM D 422, AASHTO T 88 dan SNI 3423:2008.
- Analisis pembagian butir yang lolos saringan No.200 diperoleh melalui tes Hydrometer berdasarkan ASTM D 421, ASTM D 422, AASHTO T 88 dan SNI 3423:2008.

**Tabel 1** merupakan parameter fisik tanah yang didapatkan setelah melakukan pengujian di laboratorium. Sementara itu, grafik distribusi butiran disajikan dalam **Gambar 3**.

**Tabel 1.** Parameter Fisik Tanah

Parameter	Satuan	Tanah		
		A	B	C
Kadar Air ( $w_c$ )	%	45,38	45,52	45,95
Berat Jenis ( $G_s$ )		2,45	2,19	2,38
Gamma Saturated ( $\gamma_{dry}$ )	kN/m <sup>3</sup>	18		
Gamma Unsaturated ( $\gamma_{unsat}$ )	kN/m <sup>3</sup>	13		
Batas Cair (LL)	%	66,70	52,07	40,97
Batas Plastis (PL)	%	39,92	32,27	35,71
Indeks Plastisitas (PI)	%	17,49	14,79	5,26



**Gambar 3.** Grafik Distribusi Butiran Tanah

2.3 Matriks Variabel

Penelitian ini menggunakan kombinasi variabel panjang, diameter dan jarak antar pile dalam analisis stabilitas lereng. Variasi panjang pile yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15, 16 dan 17 m yang disesuaikan dengan garis potong bidang longsor yang mungkin terjadi. Variasi diameter tiang (pile) digunakan nilai sebesar 450, 500 dan 600 mm yang didasarkan pada spesifikasi spun pile PT Wika Beton. Sementara itu variasi jarak antar pile digunakan ukuran 8D (8 kali diameter pile), 10D dan 12D berdasarkan jarak tiang minimum dari Suryolelono (1994). Variabel default yang digunakan yaitu panjang 15 m, diameter 450 mm dan jarak antar pile 12D. Kombinasi variabel tersebut disusun dalam matriks seperti yang disajikan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Variasi Kombinasi Panjang, Diameter dan Jarak Antar Tiang (Pile)

		Variabel								
		Panjang Pile (m)			Diameter Pile (mm)			Jarak antar Pile (mm)		
		15	16	17	450	500	600	8D	10D	12D
Panjang Pile	15							7		
	16								8	
	17									9
Diameter Pile	450	1								
	500		2							
	600			3						
Jarak antar Pile	8D				4					
	10D					5				
	12D						6			

Dari matriks variabel pada Tabel 3.2 digunakan kombinasi variabel yang dibagi menjadi 9 (sembilan) pemodelan. Pemodelan 1 menggunakan variasi pile dengan panjang pile 15 m dan diameter pile 450 mm. Pemodelan 2 menggunakan variasi panjang 16 m dan diameter 500 mm. Pemodelan 3 menggunakan variabel pajang 17 m dan diameter 600 mm. Permodelan 4 menggunakan variasi diameter pile 450 mm dan jarak antar pile 8D. Pemodelan 5 menggunakan variasi diameter pile 500 mm dan jarak antar pile 10D. Pemodelan 6 menggunakan variasi diameter pile 600 mm dan jarak antar pile 12D. Pemodelan 7 menggunakan variasi jarak antar pile 8D dan panjang pile 15 m. Pemodelan 8 menggunakan variasi jarak antar pile 10D dan panjang pile 16 m. Pemodelan 9 menggunakan variasi jarak antar pile 12D dan panjang pile 17 m.

2.4 Permodelan

Dalam proses pemodelan, data yang digunakan terdiri dari data material tanah yang telah diuji sebelumnya di

laboratorium dan data material pile, yaitu terdapat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

a. Data Material Tanah

Data material tanah yang digunakan adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.** Data Material Tanah

Parameter (A)	Nama	Nilai	Satuan
Model material	Model	Mohr-Coulomb	-
Jenis perilaku material	Jenis	Drained	-
Berat isi tanah di atas garis freatik	$\gamma_{unsat}$	13	kN/m <sup>3</sup>
Berat isi tanah di bawah garis freatik	$\gamma_{sat}$	18	kN/m <sup>3</sup>
Permeabilitas arah horisontal	$k_x$	8,64	m/hari
Permeabilitas arah vertikal	$k_y$	8,64	m/hari
Modulus Young (konstan)	$E_{ref}$	20000	kN/m <sup>2</sup>
Angka Poisson	$\nu$	0,25	-
Kohesi (konstan)	$C_{ref}$	11,01	kN/m <sup>2</sup>
Sudut geser	$\Phi$	35	°
Sudut dilatasi	$\Psi$	0	°

b. Data Material Tiang (Pile)

Perkuatan lereng menggunakan perkuatan tiang (pile) model spun pile beton cube dengan massa 600 kg/cm<sup>3</sup>. Data yang diperlukan untuk membuat perkuatan pile yaitu nilai flexural rigidity, jarak antar pile serta nilai tension dan compression (lihat Tabel 3.4). Nilai tension dan compression diambil berdasarkan variasi lebar tiang (pile) yaitu 450, 500 dan 600 mm serta  $L_{spasi}$  yang digunakan berdasarkan jarak antar pile yaitu 8D, 10D dan 12D.

**Tabel 5.** Data Material Pile

Parameter	Nama	Nilai	Satuan
Flexural Rigidity	EA (D 0,45)	5217311,7	kN/m
	EA (D 0,5)	6435837,3	kN/m
	EA (D 0,6)	9311877,0	kN/m
Fmax Tension	$F_{max.tens}$ (D 0,45)	773,16	kN
	$F_{max.tens}$ (D 0,5)	923,10	kN
	$F_{max.tens}$ (D 0,6)	1285,65	kN
Fmax Compression	$F_{max.comp}$ (D 0,45)	1364,11	kN
	$F_{max.comp}$ (D 0,5)	1715,18	kN
	$F_{max.comp}$ (D 0,6)	2336,93	kN

3 Hasil dan Pembahasan

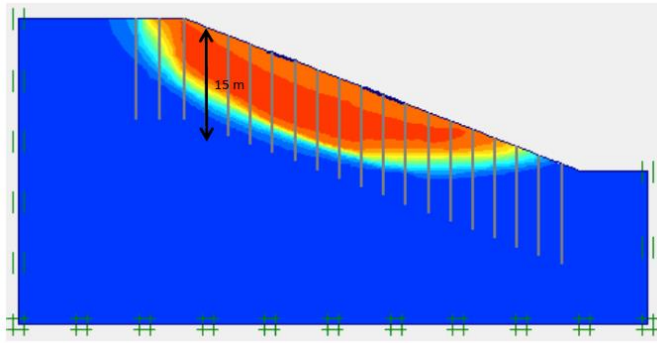
3.1 Analisis Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng pada wilayah longsor zona penyangga Situs Gunung Padang, Cianjur - Jawa Barat dianalisis dengan menggunakan program Plaxis 2D versi 8.6. Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai Safety Factor (SF) yang menunjukkan nilai keamanan pada lereng. Selain untuk mendapatkan nilai SF, juga untuk mendapatkan nilai deformasi (lereng dan pile) dan gaya yang bekerja pada pile. Analisis stabilitas lereng terdiri dari 2 (dua) tahap yaitu analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan. Dalam analisis tersebut diasumsikan tanpa adanya pembebanan dan muka air tanah.

3.1.1 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

Perhitungan stabilitas lereng dilakukan pada lereng dalam kondisi eksisting untuk mengetahui kondisi awal lereng sebelum diberikan perkuatan. Perhitungan stabilitas lereng menghasilkan total penurunan lereng sebesar  $5,83 \times 10^{-2}$  m dan faktor keamanan lereng sebesar 1,026 dengan bidang longsor yang mungkin terjadi seperti terlihat pada

**Gambar 4.**



(a)

Step Info			
Step	147 of 252	Extrapolation factor	1,000
Plastic STEP		Relative stiffness	0,006
Multipliers			
	Incremental multipliers	Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp: 0,000	$\Sigma$ -Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA: 0,000	$\Sigma$ -MloadA:	1,000
Load system B	MloadB: 0,000	$\Sigma$ -MloadB:	0,000
Soil weight	Mweight: 0,000	$\Sigma$ -Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel: 0,000	$\Sigma$ -Maccel:	0,000
Strength reduction factor	Msf: 0,003	$\Sigma$ -Msf:	1,026
Time	Increment: 0,000	End time:	0,000
Dynamic time	Increment: 0,000	End time:	0,000

(b)

**Gambar 4.** Hasil Analisis Lereng Tanpa Perkuatan (a) Bidang Longsor (b) *Calculation Info*

Dari **Gambar 4**, diketahui bahwa pada kondisi eksisting lereng sebelum diberi perkuatan menunjukkan faktor keamanan lereng yang rendah yaitu sebesar 1,026. Angka tersebut menunjukkan bahwa lereng tidak aman jika ditinjau dari faktor keamanan (F) yang ditinjau dari intensitas kelongsorannya pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Hubungan Nilai Faktor Keamanan Lereng dan Intensitas Longsor

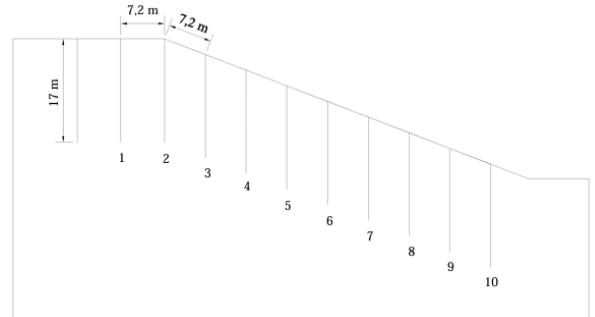
Nilai Faktor Kamanan	Kejadian Intensitas Longsor
$F < 1,07$	Longsor terjadi biasa / sering (lereng stabil)
$F 1,07 - 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Pada **Gambar 4** juga terlihat bidang longsor yang cukup besar (daerah berwarna merah) yaitu sekitar 15 meter dari permukaan lereng sehingga dapat diketahui bahwa perkuatan tiang (pile) yang dibutuhkan adalah minimal 15 meter. supaya dapat berpengaruh besar pada kenaikan faktor keamanan lereng. Hal tersebut dapat berpengaruh karena pile dengan panjang minimal 15 meter dapat memotong bidang longsor dan menancap pada bagian yang tidak terkena longsor, sehingga dapat mempertahankan keadaan lereng supaya tidak terjadi longsor.

### 3.1.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Pile

Lereng eksisting diberikan perkuatan pile dengan kombinasi variabel panjang, diameter dan jarak antar pile. Adapun visualisasi perkuatan lereng dan penomoran pile ada pada **Gambar 5**. Dari kombinasi variabel pile yang sudah ditentukan, kemudian dipilih kombinasi yang paling berpengaruh pada kenaikan nilai SF dan dijadikan

rekomendasi untuk perkuatan lereng zona penyangga Situs Gunung Padang.

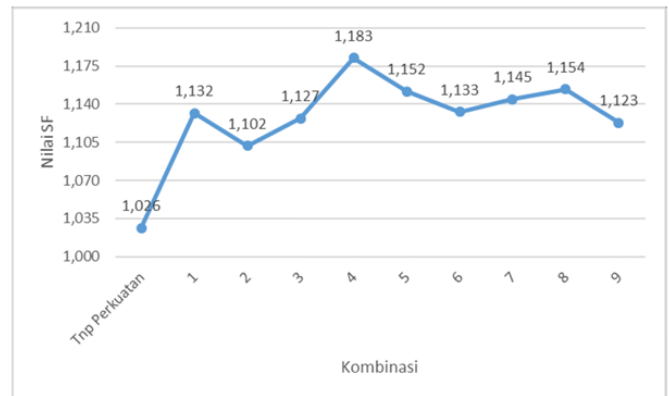


**Gambar 5.** Visualisasi Pemodelan dengan Perkuatan Tiang (Pile)

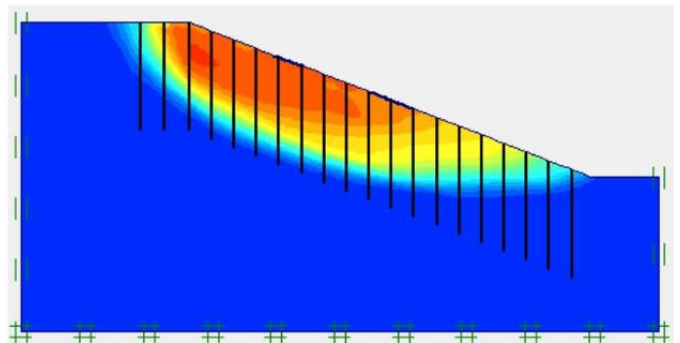
Hasil perhitungan stabilitas lereng dengan perkuatan tiang (pile) disajikan pada **Tabel 7** dan grafik pada **Gambar 6**

**Tabel 7.** Faktor Keamanan Kombinasi Pile

Kombinasi	Faktor Keamanan	Peningkatan Nilai SF terhadap Lereng Tanpa Perkuatan
Tanpa Perkuatan	1,026	0%
1	1,132	10,27%
2	1,102	7,35%
3	1,127	9,83%
4	1,183	15,22%
5	1,152	12,22%
6	1,133	10,40%
7	1,145	11,52%
8	1,154	12,42%
9	1,123	9,41%



**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Nilai SF untuk Setiap Kombinasi.



**Gambar 7.** Bidang Longsor dengan Perkuatan Kombinasi 4



Pada **Tabel 7**, dapat terbukti bahwa perkuatan dengan pile dapat menambah faktor keamanan stabilitas lereng yang terlihat dari peningkatan nilai faktor keamanan untuk setiap kombinasi sebesar 7,35% - 15,22%. Dapat dilihat juga pada **Gambar 7** bahwa bidang longsor mengecil dari sebelum diberi perkuatan (lihat **Gambar 4**). Untuk kombinasi panjang dan diameter pile didapatkan peningkatan faktor keamanan lereng sebesar 7,35% - 10,27%, sedangkan kombinasi diameter dan jarak antar pile didapatkan peningkatan faktor keamanan sebesar 10,40% - 15,22%. Sementara itu kombinasi jarak dan panjang pile didapatkan peningkatan faktor keamanan sebesar 9,41% - 11,52%.

Dari 3 (tiga) kombinasi yang memiliki SF tertinggi dari masing-masing kelompok kombinasi, kombinasi 4 (enam) merupakan kombinasi yang memiliki kenaikan SF paling tinggi dari kelompok kombinasi diameter dan jarak antar pile, sehingga kombinasi tersebut paling efektif untuk digunakan dengan kenaikan SF sebesar 15,22%. Hal tersebut bisa dilihat pada **Gambar 7** bahwa bidang longsor pada kombinasi 6 paling mengecil dibanding dengan bidang longsor pada kombinasi lain.

Kombinasi 1 adalah kombinasi dengan kenaikan nilai SF tertinggi dari kelompok kombinasi panjang dan diameter pile. Kombinasi terdiri dari variasi panjang pile 15 m, diameter pile 450 mm dan jarak antar pile 12D. Angka keamanan yang didapatkan pada kombinasi 1 adalah sebesar 1,1317 yang berarti memiliki kenaikan angka keamanan sebesar 10,27%. Kenaikan angka keamanan untuk kombinasi 3 lebih besar dibandingkan dengan kelompok kombinasi panjang dan diameter pile yang lain (kombinasi 2 dan 3), sehingga dapat diketahui bahwa variasi panjang dan diameter pile tidak terlalu berpengaruh pada kenaikan nilai SF dan semakin dekat jarak antar pile maka semakin besar nilai keamanannya (SF).

Kombinasi 4 adalah kombinasi dengan kenaikan nilai SF tertinggi dari kelompok kombinasi diameter dan jarak antar pile. Kombinasi terdiri dari variasi diameter pile 450 mm, jarak antar pile 12D dan panjang pile 16 m. Angka keamanan yang didapatkan pada kombinasi 6 adalah sebesar 1,1825 yang memiliki kenaikan sebesar 15,22%. Kenaikan angka keamanan untuk kombinasi 4 lebih besar dibandingkan dengan kelompok kombinasi diameter dan jarak antar pile yang lain (kombinasi 5 dan 6), sehingga dapat diketahui bahwa semakin panjang pile dan semakin dekat jarak antar pile maka semakin besar nilai SFnya.

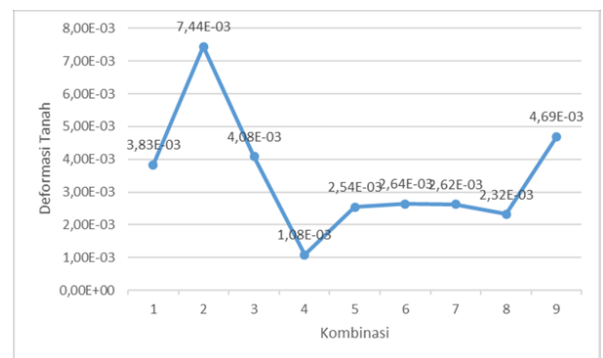
Kombinasi 8 adalah kombinasi dengan kenaikan nilai SF tertinggi dari kelompok jarak antar pile dan panjang pile. Kombinasi terdiri dari variasi jarak antar pile 10D, diameter pile 450 mm dan panjang pile 16 m. Angka keamanan yang didapatkan pada kombinasi 8 adalah sebesar 1,1538 yang memiliki kenaikan angka keamanan sebesar 12,42%. Kenaikan angka keamanan untuk kombinasi 8 lebih besar dibandingkan dengan kelompok kombinasi jarak antar pile dan panjang pile yang lain (kombinasi 7 dan 9), sehingga dapat diketahui bahwa semakin dekat jarak antar pile dan semakin panjang pile maka nilai SF semakin besar.

### 3.2 Deformasi dan Lereng Pile

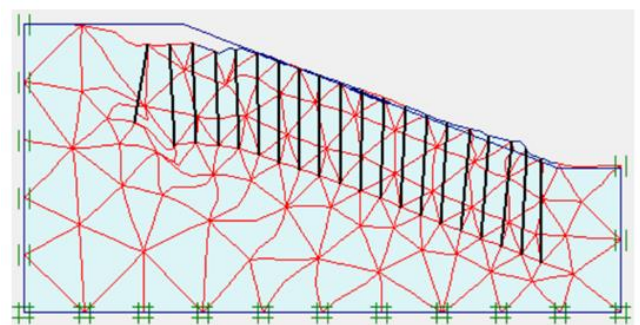
Selain mendapatkan nilai keamanan lereng didapatkan juga nilai deformasi lereng pada masing-masing kombinasi yang dapat dilihat pada **Tabel 8**.

**Tabel 8.** Deformasi Lereng

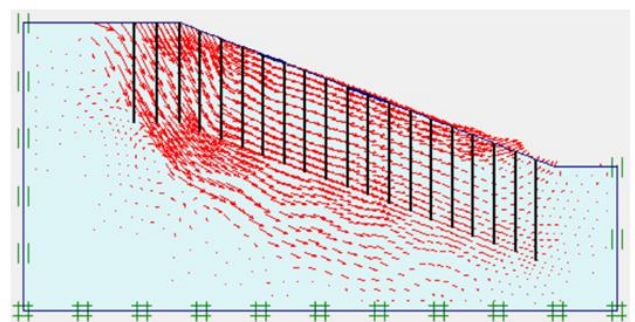
Kombinasi	Deformasi Lereng (m)
Tanpa Perkuatan	$5,83 \times 10^{-2}$
1	$3,83 \times 10^{-3}$
2	$7,44 \times 10^{-3}$
3	$4,08 \times 10^{-3}$
4	$1,08 \times 10^{-3}$
5	$2,54 \times 10^{-3}$
6	$2,64 \times 10^{-3}$
7	$2,62 \times 10^{-3}$
8	$2,32 \times 10^{-3}$
9	$4,69 \times 10^{-3}$



**Gambar 8.** Grafik Perbandingan Nilai Deformasi Lereng Setiap Kombinasi



(a)



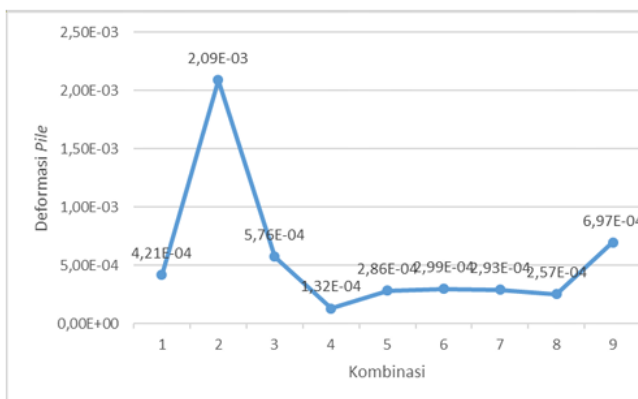
(b)

**Gambar 9.** Kombinasi 6 (a) Jaring Elemen, (b) Arah Gerakan Tanah

Pada **Tabel 8**, didapatkan nilai estimasi deformasi lereng tanpa perkuatan sebesar  $5,83 \times 10^{-2}$  m, yang berarti ada deformasi pada lereng namun sangat kecil sehingga cenderung tidak terdeformasi. Pada **Tabel 8**, juga dapat dilihat deformasi lereng setelah perkuatan yang besarnya lebih kecil dibanding sebelum perkuatan. Nilai SF yang terjadi setelah diberi perkuatan berbanding lurus dengan penurunan deformasi yang terjadi, seperti pada kombinasi 4 memiliki nilai SF tertinggi yaitu 1,1825 sehingga mendapatkan deformasi terkecil yaitu  $1,08 \times 10^{-3}$  m. Setelah diberikan perkuatan, selain deformasi lereng dapat pula diketahui deformasi pile yang terjadi seperti dapat dilihat pada **Tabel 9**.

**Tabel 9.** Deformasi Pile

Kombinasi	Deformasi Pile (m)
Tanpa Perkuatan	-
1	$4,21 \times 10^{-4}$
2	$2,07 \times 10^{-3}$
3	$5,76 \times 10^{-4}$
4	$1,32 \times 10^{-4}$
5	$2,86 \times 10^{-4}$
6	$2,99 \times 10^{-4}$
7	$2,93 \times 10^{-4}$
8	$2,57 \times 10^{-4}$
9	$6,97 \times 10^{-4}$



**Gambar 10.** Grafik Perbandingan Nilai Deformasi Pile Setiap Kombinasi

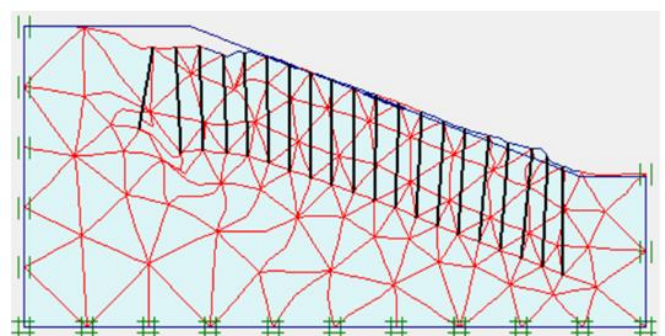


**Gambar 11.** Deformasi Pile Kombinasi 2

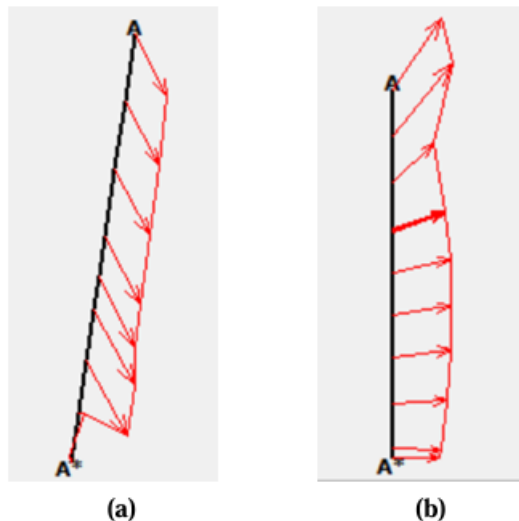
Pada **Tabel 9**, diketahui bahwa deformasi tertinggi setelah diberi perkuatan ada pada kombinasi 2 dengan jarak antar pile 12D, panjang 16 m dan diameter 500 mm dengan deformasi pile sebesar  $2,07 \times 10^{-3}$  m. Hal tersebut berbanding lurus dengan nilai SF setelah perkuatan (lihat **Tabel 7**) dan juga nilai deformasi lereng setelah perkuatan (lihat **Tabel 8**) karena semakin kecil kenaikan SF yang terjadi, maka penurunan deformasi yang terjadi pada lereng dan pile juga semakin kecil. Namun angka deformasi pile sangat kecil sehingga cenderung tidak ada deformasi pada pile. Nilai gaya lateral yang bekerja pada pile sebagai hasil perhitungan dengan menggunakan Plaxis dapat dilihat pada **Tabel 10**.

**Tabel 10.** Gaya Lateral Pile pada Setiap Kombinasi

Pile	Kombinasi (kN/m)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-0,031	-0,175	-0,018	-0,031	0,063	0,035	-0,292	0,017	-0,346
2	0,083	-6,531	-0,342	0,074	-0,001	-0,102	-0,146	-0,199	0,106
3	-0,005	-0,358	0,005	-0,217	-0,262	0,014	-0,792	-0,244	-0,273
4	-0,011	0,156	0,004	-0,033	0,026	-0,003	-0,596	-0,015	-0,014
5	-0,003	0,279	0,005	0,014	0,050	0,002	0,263	0,017	0,011
6	0,012	0,219	-0,005	0,019	0,005	0,004	0,167	0,039	0,011
7	0,022	0,139	-0,022	-0,001	-0,034	0,000	0,160	0,037	0,001
8	0,031	-0,121	0,040	-0,009	-0,023	-0,012	0,152	0,037	0,003
9	0,027	0,193	0,024	-0,009	-0,002	0,099	0,079	0,019	-0,003
10	0,017	0,592	0,011	-0,005	0,013	0,041	-0,035	-0,002	-0,011
11	0,049	0,664	-	-0,002	0,021	-	-0,126	-0,010	0,069
12	0,062	0,247	-	0,000	0,016	-	-0,166	-0,027	0,059
13	0,026	-	-	-0,002	0,011	-	-0,167	0,038	0,078
14	-	-	-	-0,016	0,063	-	-0,095	0,033	-
15	-	-	-	0,001	0,057	-	-0,156	0,088	-
16	-	-	-	0,036	-	-	0,141	0,050	-
17	-	-	-	0,079	-	-	0,253	0,044	-
18	-	-	-	0,018	-	-	0,459	-	-
19	-	-	-	0,016	-	-	0,830	-	-
20	-	-	-	0,009	-	-	0,329	-	-



**Gambar 11.** Penurunan Tanah pada Kombinasi 4



**Gambar 12** Pergerakan Pile Kombinasi 4 (a) Nomor 1, (b) Nomor 20

Dari **Tabel 10**, dapat dilihat bahwa pada kombinasi 4 pile nomor 1, 3, 4, 7-11, 13 dan 14 mengalami gaya tekan, hal tersebut terjadi karena pergerakan tanah ke arah gravitasi yang menyebabkan pile tertekan (lihat **Gambar 11**). Pada pile nomor 2, 5, 6, 12 dan 15-20 mengalami gaya tarik yang bisa dilihat pada Gambar 4.9 bahwa tanah pada arah pergerakan pile tertarik keatas. Hal tersebut terjadi karena pergerakan tanah dibelakang pile mendorong pile, sehingga membuat pile mengalami gaya tarik. Namun, gaya tarik dan tekan relatif tidak beraturan dikarenakan pada seluruh kombinasi memiliki nilai gaya aksial yang sangat kecil sehingga cenderung tidak ada gaya aksial yang terjadi pada setiap kombinasi. Dapat dilihat pada **Gambar 10**, bahwa tidak adanya penurunan deformasi dan pergerakan pada pile, hal tersebut terjadi karena kondisi lereng yang belum stabil setelah diberi perkuatan. Analisis faktor keamanan pile dilakukan dengan perbandingan antara kapasitas maksimum tarik dan tekan pada pile dengan gaya maksimum yang terjadi pada pile. Perhitungan nilai faktor keamanan menggunakan nilai gaya terbesar dari kombinasi dengan nilai SF tertinggi (kombinasi 4) karena gaya terbesar yang dipilih sudah mewakili faktor keamanan pile. Nilai faktor keamanan pile dapat dilihat pada **Tabel 11**.

**Tabel 11.** Nilai Faktor Keamanan Pile Kombinasi 4

Kombinasi 6	Gaya Maksimum yang Terjadi (kN)	Kapasitas Maksimum (kN)	Faktor Keamanan Pile
$F_{max.tens}$	0,079	0,2997	3,79

Pada **Tabel 11**, dapat dilihat bahwa faktor keamanan pile melebihi persyaratan minimal faktor keamanan pile yaitu 1,5 yang berarti faktor keamanan pile sudah aman. Hal tersebut diakibatkan karena kapasitas maksimum pada pile dengan diameter 450 mm sebesar 0,2997 kN kemudian dibagi dengan gaya maksimum yang sangat kecil (cenderung tidak ada) sebesar 0,079 kN sehingga didapatkan faktor keamanan

pile 3,79 yang berarti aman.

#### 4 Kesimpulan

Pada hasil penelitian ini, terdapat kesimpulan pada analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,026. Nilai tersebut belum memenuhi nilai faktor keamanan lereng dan intensitas longsor yaitu  $SF > 1,25$  yang berarti lereng rawan mengalami kelongsoran. Penambahan perkuatan pile dapat menambah nilai faktor keamanan maksimal 15,22% namun masih belum bisa membuat faktor keamanan lereng dalam keadaan aman. Hal tersebut disebabkan oleh lereng yang cukup curam dan luas penampang pile yang kurang besar.

Selain hal tersebut, kombinasi yang paling tinggi nilai keamanannya ada kombinasi 4 dari kelompok kombinasi diameter dan jarak antar pile dengan kenaikan nilai SF sebesar 15,22%. Variabel yang paling berpengaruh pada kenaikan nilai SF adalah jarak antar pile yaitu 8D dengan diameter pile 450 mm, semakin dekat jarak antar pile maka semakin meningkat nilai keamanan lerengnya.

Terdapat deformasi lereng dan pile yang terkecil ada pada kombinasi 4, hal tersebut berbanding lurus dengan nilai SF yang didapatkan, semakin besar nilai SF maka deformasi akan semakin kecil. Pada kombinasi dengan kenaikan faktor keamanan lereng tertinggi (kombinasi 4) memiliki faktor keamanan pile yang sudah aman yang berarti melebihi 1,5 yaitu sebesar 3,79.

#### Daftar Pustaka

- [1] Nurmanza, dkk 2015. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Tiang (Pile) dengan Bantuan Perangkat Lunak (Studi Kasus pada Sungai Parit Raya). Malang:Indonesia.
- [2] Indrawahyuni, dkk. 2012. Pengaruh Perkuatan Pile Terhadap Daya Dukung pada Pemodelan Fisik Lereng Tanah Pasir. Jurnal Rekayasa Sipil. Malang:Indonesia.
- [3] Iskandar, dkk. 2015. Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal dengan Panjang Tiang 21 Meter dan Diameter 0,6 Meter Secara Analitis dan Metode Elemen Hingga. Sumatera Utara:Indonesia.
- [4] Diliaristianto, dkk. 2017. Penggunaan Sheet Pile untuk Perkuatan Lereng di Desa Tambakmekar Kecamatan Girimarto Kabupaten Wonogiri. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil. Surakarta:Indonesia
- [5] Makarim, dkk. 2020. Analisis Efektivitas Micropile Sebagai Elemen Perkuatan Stabilitas Lereng. Jurnal Mitra Teknik Sipil.
- [6] Puspita. 2017. Analisa Stabilitas Lereng Badan Jalan Terhadap Longsor dengan Metode Finite Element (FEM) pada Ruas Jalan Enim - Lahat - Tebing Tinggi. Jurnal Ilmiah "TEKNIKA". Palembang:Indonesia.