

## **PENGARUH PERKUATAN TIANG TERHADAP STABILITAS TIMBUNAN DIATAS TANAH LUNAK MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Bambang Setiawan<sup>1</sup>, Raden Harya Dananjaya H.I.<sup>2</sup> dan Muhammad Fathurrahman<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta*  
Email: *bbstw88@yahoo.co.id, dananjayaharya@gmail.com, faturrahman\_m@yahoo.com*

### **ABSTRACT**

*Pile strength is widely used as a solution to the problem of road pavement on soft soil, because it can reduce vertical displacement due to the load on it and increase the safety factor value. This research analyses the vertical displacement, safety factor, effective stress and bearing capacity of the embankment on soft soil using the finite element method so the results can approach the original conditions in the field. The pile variations used are pile size variations 20x20 cm<sup>2</sup>; 25x25 cm<sup>2</sup>; and 30x30 cm<sup>2</sup> with a square shape, variations in the distance between the piles 1,60 m; 1,80 m; 2,00 m; and 2,20 m, the depth variations 15,00 m; and 20,00 m. Loading uses truck loads based on RSNI T-14-2004 and the road classification is artery IA. The results of the analysis show that pile strength with a size 20x20 cm<sup>2</sup>, the distance between pile is 1,60 m and the depth of the piles 20 m can reduce the vertical displacement by 71,31% and increase the safety factor by 123,25%.*

*Keywords: pile, displacement, Safety Factor*

### **ABSTRAK**

Perkuatan tiang pancang banyak digunakan sebagai salah satu solusi permasalahan perkerasan jalan pada tanah lunak, karena dapat mengurangi nilai penurunan akibat beban di atasnya dan meningkatkan nilai keamanan. Penelitian ini menganalisis nilai penurunan, angka aman, tegangan efektif dan daya dukung terhadap timbunan di atas tanah lunak menggunakan metode elemen hingga sehingga hasilnya dapat mendekati kondisi di lapangan. Variasi tiang pancang yang digunakan yaitu variasi ukuran tiang 20x20 cm<sup>2</sup>; 25x25 cm<sup>2</sup>; dan 30x30 cm<sup>2</sup> dengan bentuk persegi, variasi jarak antar tiang 1,60 m; 1,80 m; 2,00 m; dan 2,20 m, variasi kedalaman tiang pancang 15,00 m; dan 20,00 m. Pembebanan yang digunakan adalah beban truk sesuai dengan RSNI T-14-2004 dan kelas jalan arteri IA. Hasil analisis menunjukkan bahwa perkuatan tiang pancang ukuran 20x20 cm<sup>2</sup> dengan jarak antar tiang 1,60 m dan kedalaman tiang 20 m dapat mengurangi nilai penurunan sebesar 71,31% dan meningkatkan nilai angka aman sebesar 123,25 %.

Kata kunci: tiang pancang, penurunan, nilai angka aman

## **1. PENDAHULUAN**

Perkerasan jalan di Indonesia banyak yang dibangun di atas tanah lunak sehingga banyak menimbulkan masalah yang diakibatkan oleh tanah lunak. Karakteristik tanah lunak adalah pada daya dukungnya yang rendah, penurunan yang tinggi ketika dibebani dan stabilitas tanah yang kecil. Perkerasan jalan seringkali membutuhkan timbunan demi mencapai elevasi rencana yang disyaratkan. Penimbunan yang dilaksanakan di atas tanah lunak akan mengalami kegagalan geser dan penurunan yang berlebihan yang diakibatkan pada saat pembebanan diikuti dengan proses konsolidasi (Togu, 2010). Penimbunan secara langsung akan mengakibatkan peningkatan tegangan total ( $\sigma$ ) seketika, yang dapat mengakibatkan kegagalan geser pada tanah. Kekuatan geser akan mengalami peningkatan pada pembebanan bertahap secara berangsur – angsur selama proses penambahan timbunan. Perkuatan tanah pada timbunan tanah lunak diperlukan untuk mengatasi pergerakan tanah lateral dan penurunan tanah akibat proses konsolidasi. Pemasangan pondasi tiang pancang pada tanah lunak merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menanggulangi permasalahan tersebut.

Adam (2014), menganalisis penurunan pondasi tiang pancang kelompok dan pondasi tiang pancang tunggal. Perhitungan penurunan pondasi tiang tunggal menggunakan rumus Coyle dan Resse 1966 dan penurunan pondasi tiang kelompok menggunakan rumus–rumus empiris. Hasil dari penelitian ini adalah penurunan yang terjadi pada pondasi tiang pancang kelompok lebih besar dari penurunan pada tiang tunggal. Jumlah tiang pancang mempengaruhi nilai penurunan yang terjadi. Semakin banyak jumlah tiang pancang maka jumlah nilai penurunan yang terjadi bertambah. Validasi hasil penurunan pada tiang pancang tunggal dan tiang pancang kelompok menggunakan perangkat lunak *Plaxis 8.2*.

Penelitian ini bertujuan mengetahui nilai penurunan dan nilai angka aman pada timbunan di atas tanah lunak dengan perkuatan tiang pancang menggunakan metode elemen hingga. Hasil analisis dengan perkuatan tiang pancang kemudian dibandingkan dengan hasil analisis tanpa perkuatan tiang. Penelitian ini menggunakan data tanah sekunder yang berasal dari kota Sidoarjo. Pembebanan yang digunakan berupa beban truk berdasarkan RSNI T-14-2004 dan kelas jalan arteri IA.

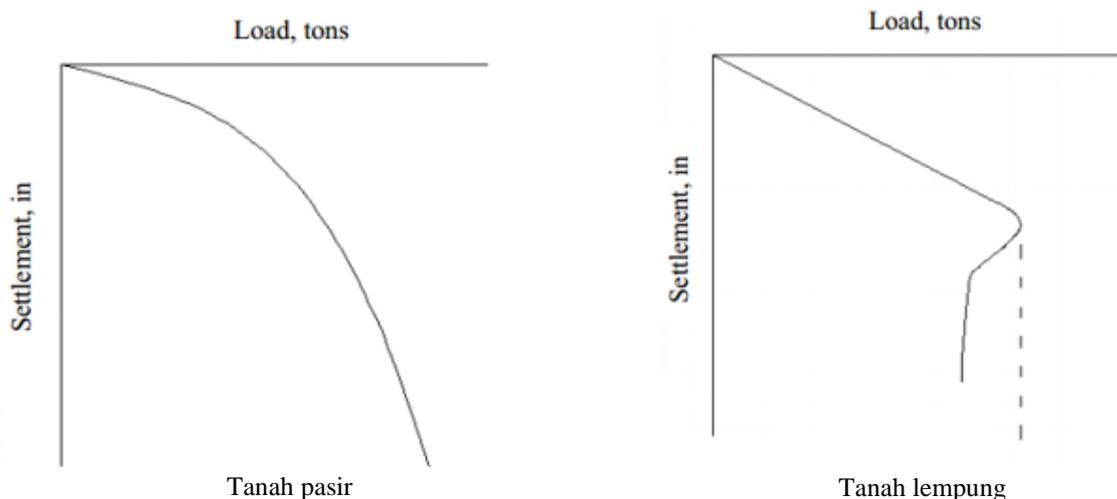
## 2. DASAR TEORI

### Tanah lunak

Terzaghi (1987) menjelaskan bahwa tanah lunak partikel-partikel tanah yang bersifat plastis dalam kadar air sedang hingga tinggi. Tanah lunak memiliki nilai daya dukung lebih kecil dari  $0,5 \text{ kg/cm}^2$ , dan nilai SPT kurang dari 4. Begeman (1965) menjelaskan bahwa tanah lunak memiliki nilai tahanan konus antara  $2,50 - 5,00 \text{ kg/cm}^2$  dan nilai kohesi *undrained* diantara  $1,25 - 2,50 \text{ T/m}^2$ . Bowles (1991) menjelaskan ciri-ciri tanah lunak yaitu memiliki kuat geser yang rendah, mempunyai nilai kompresibilitas yang besar, bersifat plastis dan mudah memampat dalam keadaan basah.

### Penurunan konsolidasi

Grafik 1 merupakan karakteristik penurunan yang terjadi pada jenis tanah pasir dan tanah lempung terhadap beban tiang pancang yang terjadi. Penurunan yang terjadi pada tanah timbunan ada tiga, yaitu penurunan seketika (*immediately settlement*), penurunan konsolidasi primer (*primary consolidation settlement*), penurunan konsolidasi sekunder (*secondary consolidation settlement*). Pembebanan yang baik harus diberikan hingga pondasi runtuh agar dapat menentukan daya dukung ultimit neto ( $Q_{un}$ ). Pembebanan pada tanah pasir dan lempung memiliki perilaku yang jauh berbeda.



Gambar 1. Grafik karakteristik penurunan terhadap beban *pile* (Citra 2018)

Pengujian konsolidasi akan menghasilkan nilai  $C_c$  yang kemudian dapat digunakan untuk mencari nilai penurunan primer suatu lapisan tanah menggunakan persamaan turunan konsolidasi Terzaghi pada persamaan:

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P'_0 + \Delta p}{P'_0} \quad (1)$$

dengan  $S_c$  = penurunan konsolidasi,  $C_c$  = index kompresi,  $H$  = tebal awal lapisan tanah,  $e$  = angka pori,  $P'_0$  = tekanan vertikal,  $\Delta p$  = pertambahan tekanan vertikal

### Timbunan

Timbunan adalah suatu usaha memindahkan material tanah dengan maksud pencapaian elevasi subgrage akhir yang disyaratkan dalam gambar perencanaan. Timbunan juga digunakan untuk penggantian material existing yang tidak memenuhi syarat. Nilai angka aman harus dimasukkan dalam analisis stabilitas timbunan untuk mengurangi resiko keruntuhan. Waktu kritis stabilitas timbunan pada tanah lunak adalah selama dan segera setelah selesai pelaksanaan karena proses konsolidasi tanah lunak di bawah timbunan menyebabkan kuat geser dari lapisan tanah lunak akan meningkat. Tabel 1 merupakan batas nilai angka aman yang ditetapkan oleh Balitbang PUPR.

**Tabel 1.** Nilai angka aman timbunan (*Balitbang PUPR*)

<i>Kelas Jalan</i>	<i>Nilai Angka Aman</i>
I & II	1,4
III & IV	1,3

### Tegangan efektif

Tegangan dalam tanah yang dipengaruhi oleh gaya-gaya dari air yang terdapat di dalam tanah. Terzaghi pada tahun 1925 melakukan percobaan berkaitan dengan tegangan efektif tanah pada tanah yang jenuh air dan berhubungan dengan dua tegangan yaitu tegangan normal total ( $\sigma$ ) dan tekanan air pori ( $u$ ). Perumusan tegangan efektif, tekanan air pori dapat dijelaskan dalam persamaan:

$$\sigma' = \sigma - u \tag{2}$$

dengan  $\sigma'$  = tegangan efektif,  $\sigma$  = tegangan normal total,  $u$  = tekanan air pori

### Pondasi tiang pancang

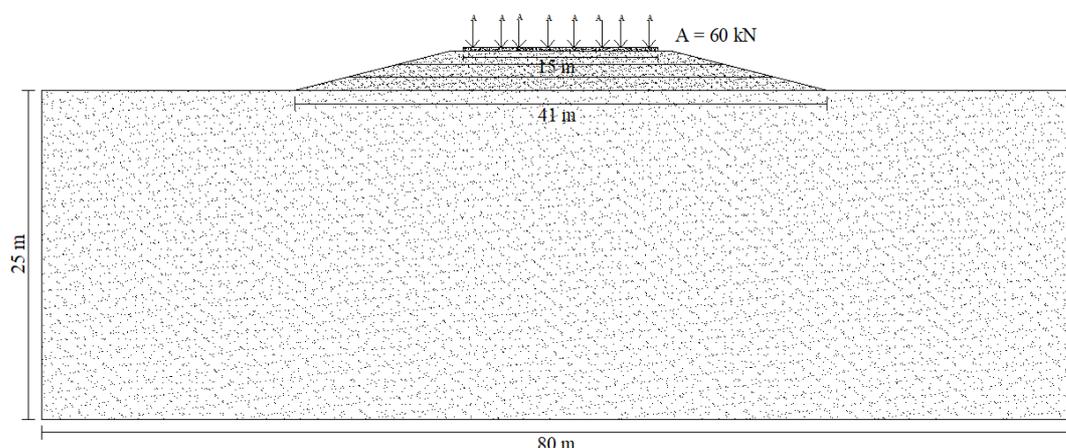
Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batuan yang terletak relative jauh dari permukaan, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang, panjangnya berkisar 6 – 10 m atau  $Df/B \geq 4$  (Hardyatmo, 2006). kapasitas daya dukung menyatakan tahanan geser untuk melawan penurunan akibat pembebanan. Nilai kapasitas daya dukung biasanya sebanding dengan nilai penurunan terhadap beban yang diberikan sebuah pondasi. Pondasi tiang digunakan pada tanah dengan daya dukung rendah dan lapisan tanah keras dengan kedalaman yang sangat dalam. Pondasi tiang dapat dibuat mengambang, yaitu dipakai dalam bentuk kelompok tiang. Keliling tanah terhadap tiang dapat mengembangkan tahanan kulit yang cukup untuk memikul beban rencana (Arifin, 2007).

### Metode elemen hingga

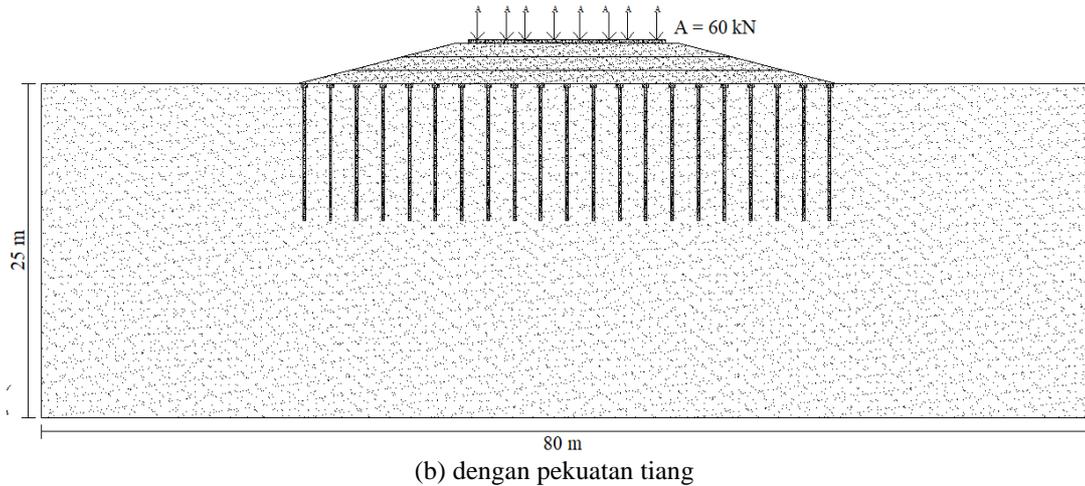
Metode elemen hingga merupakan prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat berbasis program komputer. Metode elemen hingga menggunakan data yang sederhana, namun dapat menciptakan perhitungan yang kompleks dan menyediakan output tampilan yang detail. Hasil perhitungan dari metode ini didapat secara otomatis berdasarkan prinsip penulisan angka yang benar. Konsep ini dapat dipelajari secara singkat setelah melakukan beberapa latihan (Vermeer, 1998).

## 3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dimulai dengan membuat model timbunan diatas tanah lunak beserta perkerasan dan model pembebanan. Tanah lunak dimodelkan dengan dimensi Panjang 80 m, kedalaman tanah lunak 25 m, dan panjang jalan yang ditinjau adalah 50 m. Tanah timbunan dimodelkan dengan lebar bawah timbunan 41 m, lebar atas timbunan 17 m, tinggi timbunan 3 m dibagi menjadi 3 lapisan, lebar perkerasan jalan 2 jalur dan 1 median dengan lebar 1 jalur 7 m yang terdiri dari 2 lajur. Beban yang digunakan yaitu sebesar 60 kN pada setiap titik beban. Perkerasan yang digunakan dengan  $f'c$  30 MPa.



(a) tanpa perkuatan



Gambar 2. Model timbunan diatas tanah lunak tanpa pekuatan

Data sekunder yang digunakan meliputi data tanah *existing*, data tanah timbunan, data perkerasan jalan, dan data tiang pancang. Variasi yang digunakan pada penelitian ini meliputi variasi ukuran tiang dengan bentuk yang sama, variasi jarak antar tiang dan variasi kedalaman tiang. Variasi ukuran tiang yang ditinjau adalah ukuran 20x20 cm<sup>2</sup>; 25x25 cm<sup>2</sup>; dan 30x30 cm<sup>2</sup>. Variasi jarak antar tiang yang ditinjau adalah 1,60 m; 1,80 m; 2,00 m; dan 2,20 m. Variasi kedalaman yang ditinjau adalah 10,00 m; 15,00 m; dan 20,00 m.

Tabel 2 dan Tabel 4 merupakan parameter-parameter perkerasan jalan dan tiang pancang yang dibutuhkan dalam analisis metode elemen hingga. Parameter yang dibutuhkan untuk analisis yaitu kekakuan aksial (*EA*), kekakuan lentur (*EI*), diameter tiang (*d*), dan angka *poisson* (*v*). Tabel 3 merupakan parameter-parameter tanah yang dibutuhkan dalam analisis metode elemen hingga. Parameter yang dibutuhkan yaitu berat isi tak jenuh ( $\gamma_{unsat}$ ), berat isi jenuh ( $\gamma_{sat}$ ), modulus elastisitas tanah (*E<sub>ref</sub>*), angka *poisson* (*v*), kohesi (*c*), sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan sudut dilatansi ( $\psi$ ).

Tabel 2. Data perkerasan jalan

Parameter	Nilai		Satuan
	Jalur Jalan	Median Jalan	
<i>EA</i>	8.341.672,49	6.305.711,69	kN/m
<i>EI</i>	62.562,544	47.292,838	kNm <sup>2</sup> /m
<i>d</i>	0,30	0,3	m
$\gamma_{beton}$	24,00	24,00	kN/m <sup>3</sup>
<i>v</i>	0,15	0,15	-

Tabel 3. Data tanah *existing* dan timbunan

Parameter	Nilai		Satuan
	Tanah Asli	Tanah Timbunan	
<i>Material model</i>	<i>Mohr – Coulomb</i>	<i>Mohr – Coulomb</i>	-
<i>Material type</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	-
$\gamma_{unsat}$	10,199	12,062	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{sat}$	16,083	17,260	kN/m <sup>3</sup>
<i>E<sub>ref</sub></i>	3.923,00	73.549,87	kN/m <sup>2</sup>
<i>v (nu)</i>	0,40	0,40	-
<i>c</i>	11,76	3,92	kN/m <sup>2</sup>
$\phi$ ( <i>phi</i> )	4,00	28,00	°
$\psi$ ( <i>psi</i> )	0,00	0,00	°

Tabel 4. Data tiang pancang

Parameter	Nilai				Satuan
	TP (20x20)	TP (25x25)	TP (30x30)	Pile cap	
<i>EA</i>	1128000,00	1762500,00	2675286,90	7431352,50	kN/m
<i>EI</i>	3760,00	9179,69	20064,65	154819,84	kNm <sup>2</sup> /m
<i>d</i>	0,20	0,25	0,30	0,5	m
$\gamma_{beton}$	24,00	24,00	24,00	24	kN/m <sup>3</sup>
<i>v</i>	0,20	0,20	0,20	0,20	-

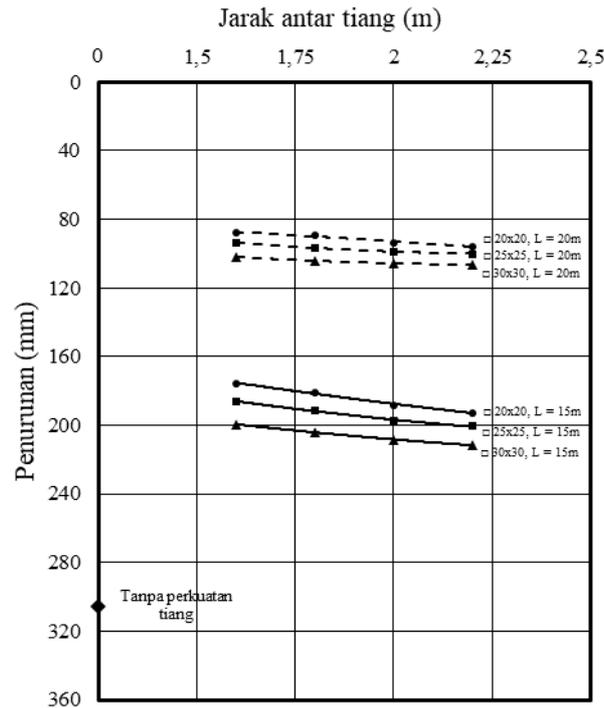
#### 4. HASIL PENELITIAN

Tabel 5 merupakan rekapitulasi hasil analisis timbunan di atas tanah lunak menggunakan metode elemen hingga. Hasil analisis yang ditampilkan berupa hasil analisis tanpa perkuatan dan perkuatan tiang berupa nilai penurunan dan nilai angka aman, Hasil analisis menggambarkan perilaku perkuatan tiang pada timbunan diatas tanah lunak dengan variasi yang telah ditentukan.

Tabel 5. Rekapitulasi hasil analisis

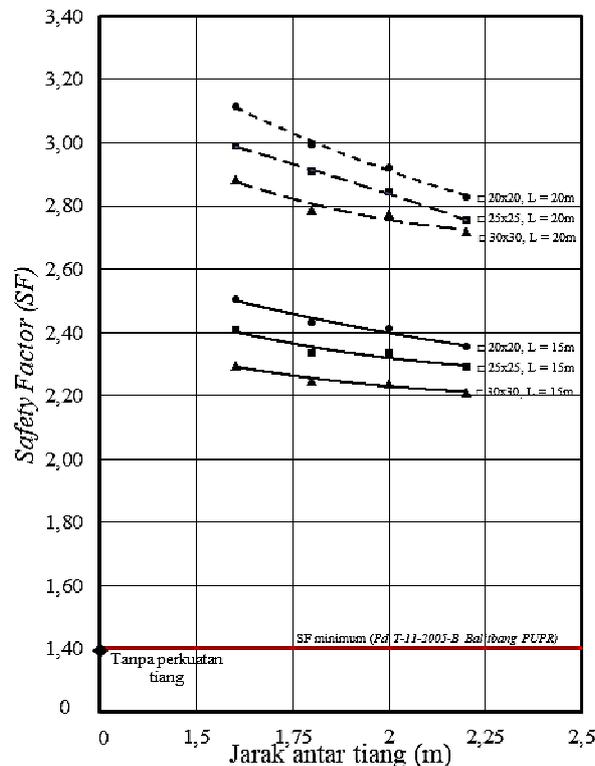
Jenis Perkuatan	Kedalaman Tiang/ <i>H</i> (m)	Jarak antar Tiang/ <i>d</i> (m)	$\delta$ (mm)	<i>SF</i>	
20x20 cm <sup>2</sup>	Tanpa Perkuatan		305,2900	1,3950	
		15,00	1,60	175,5600	2,5054
			1,80	180,7300	2,4323
			2,00	188,4800	2,4122
	2,20		192,5700	2,3544	
	20,00		1,60	87,5900	3,1143
			1,80	89,3100	2,9949
			2,00	93,5200	2,9203
			2,20	95,7100	2,8303
	25x25 cm <sup>2</sup>	15,00	1,60	186,2600	2,4077
			1,80	191,1800	2,3378
			2,00	197,4200	2,3363
2,20			200,6800	2,2902	
20,00		1,60	93,7100	2,9892	
		1,80	96,8500	2,9089	
		2,00	98,6800	2,8426	
		2,20	100,1500	2,7545	
30x30 cm <sup>2</sup>		15,00	1,60	199,6100	2,2950
			1,80	203,8200	2,2460
			2,00	208,6500	2,2401
			2,20	211,5700	2,2103
	20,00	1,60	101,7900	2,8837	
		1,80	104,4400	2,7875	
		2,00	105,4700	2,7746	
		2,20	106,3900	2,7188	

Hasil analisis pada Tabel 5 kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antar parameter dengan jarak antar tiang yaitu jarak 1,60 m; 1,80 m; 2,00 m; dan 2,20 m. Grafik yang ditampilkan memuat variasi tiang yang telah ditentukan yaitu variasi ukuran tiang 20x20 cm<sup>2</sup>; 25x25 cm<sup>2</sup>; 30x30 cm<sup>2</sup> dan variasi kedalaman tiang 15m; 20m.



Gambar 3. Grafik penurunan dengan perkuatan tiang

Gambar 3 merupakan grafik nilai penurunan yang terjadi setelah analisis dengan metode elemen hingga. Penurunan yang terjadi meningkat seiring dengan bertambahnya jarak antar tiang. Hal ini dikarenakan jarak antar tiang bertambah, sehingga jumlah tiang berkurang. Ukuran tiang juga mempengaruhi nilai penurunan yang terjadi, semakin besar ukuran tiang maka penurunan semakin meningkat. Gambar 3 menunjukkan bahwa perkuatan tiang dapat mengurangi nilai penurunan yang terjadi pada timbunan di atas tanah lunak. Penurunan yang terjadi pada perkuatan tiang menghasilkan penurunan yang lebih kecil dari tanpa perkuatan yaitu sebesar 65,15% - 71,31%.



Gambar 4. Grafik nilai angka aman perkuatan tiang

Gambar 4 merupakan grafik nilai angka aman yang terjadi setelah analisis dengan metode elemen hingga. Nilai angka aman yang terjadi menurun seiring dengan bertambahnya jarak antar tiang. Ukuran tiang mempengaruhi nilai angka aman yang terjadi, semakin besar ukuran tiang maka nilai angka aman semakin menurun. Gambar 4 menunjukkan bahwa perkuatan tiang dapat meningkatkan nilai angka aman yang terjadi pada timbunan di atas tanah lunak. Nilai angka aman yang terjadi pada perkuatan tiang meningkat sebesar 94,90% - 123,25%.

Hasil penelitian di atas berbeda dengan Grafik 1 yang menyatakan bahwa penurunan akan bertambah seiring dengan beban tiang pancang yang bertambah. Penelitian selanjutnya sangat diperlukan dengan menggunakan metode-metode yang berbeda sehingga validasi hasil penelitian dengan metode elemen hingga dapat dibandingkan.

## **5. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisis diatas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perkuatan tiang menghasilkan nilai penurunan lebih kecil dan nilai angka aman yang lebih besar dibanding tanpa perkuatan.
2. Ukuran tiang dan jarak antar tiang mempengaruhi nilai penurunan dan nilai angka aman.
3. Perkuatan tiang dengan ukuran 20x20 cm<sup>2</sup>, jarak antar tiang 1,60 m dan kedalaman 20 m menghasilkan nilai penurunan yang paling kecil, yaitu berkurang sebesar 71,31% dari penurunan tanpa perkuatan.
4. Perkuatan tiang dengan ukuran 20x20 cm<sup>2</sup>, jarak antar tiang 1,60 m dan kedalaman 20 m meningkat nilai angka aman sebesar 123,25% dari tanpa perkuatan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Adam, N., F., 2014. *Analisis Penurunan Pondasi Tiang Pancang Tunggal dan Kelompok pada Pembangunan Gedung Training Center Universitas Negeri Gorontalo*. Gorontalo : Universitas Negeri Gorontalo.
- Arifin, Z., 2007. *Komparasi Daya Dukung Aksial Tunggal Dihitung Dengan Beberapa Metodel Analisis*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Hardyatmo, H.C. 2006. *Teknik Pondasi 2*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Hardyatmo, H.C. 2008. *Teknik Pondasi 2*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Hardyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Terzaghi, Karl, Ralph B. Peck, 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York : Wiley – Interscience.