

Analisis Perilaku Timbunan Tanah Pasir Menggunakan Uji Model Fisik

FADI MUHAMMAD AKMAL, YUKI ACHMAD YAKIN

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
e-mail: fadimuhammada@gmail.com

ABSTRAK

Ilmu teknik pada dasarnya berhubungan dengan pemodelan untuk mencari solusi dari permasalahan yang nyata. Pemodelan dapat berupa model fisik atau model numerik. Pemodelan yang dilakukan pada studi ini adalah model fisik, yaitu model fisik timbunan menerus dengan material tanah pasir. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui besarnya penurunan timbunan tanah pasir setelah diberi beban yang dimodelkan di laboratorium dengan material tanah yang sama tetapi kondisi pemadatannya berbeda. Tingkat kepadatan tanah yang didapatkan dan dimodelkan ada tiga yaitu, sangat lepas, sangat lepas sampai lepas, dan lepas. Penurunan umumnya terjadi pada tanah dengan kondisi kepadatan sangat lepas hingga lepas. Hasil penurunan dari pemodelan ini kemudian dibandingkan dengan metode numerik dan analitik. Penurunan yang didapat dari pemodelan empirik untuk pemodelan pertama dengan kepadatan sangat lepas adalah 1,2 cm, kedua model timbunan dengan kepadatan sangat lepas sampai lepas sebesar 0,75 cm, dan model timbunan ketiga dengan kepadatan lepas sebesar 0,45 cm.

Kata kunci: timbunan, tanah non-koheusif, penurunan, pemodelan geoteknik, model fisik: skala kecil.

ABSTRACT

Engineering is fundamentally concerned with modelling to find solutions of real problems. Modelling could be a physical model or numerical model. A model that had been analysed in this study was physical model of continuous embankment with sand as the material. The purpose of this analysis was to find the settlement of sand embankment after the embankment loaded through modelling in laboratory with same material but in different condition of compaction. The kinds of soil density that were modelling were, very loose, very loose-to-loose, and loose. Settlement commonly happened on very loose through loose density condition. The result from physical modelling were compare with numerical and analytical method. The settlement of the first modelling with very loose density was 1.2 cm, the second modelling with very loose-to-loose density was 0.75 cm, and the third modelling with loose density was 0.45 cm.

Keywords: embankment, non-cohesive soil, settlement, geotechnical modelling, physical models: small scale.

1. PENDAHULUAN

Pemodelan dan rekayasa sering dilakukan di dalam dunia teknik. Salah satu pemodelan yang mudah dilakukan adalah pemodelan fisik skala kecil. Pemodelan fisik adalah kegiatan untuk melakukan penelitian terhadap suatu elemen dengan aspek tertentu dengan menyederhanakan suatu bentuk dari wujud aslinya untuk mendapatkan informasi mengenai perilaku atau respon terhadap gaya-gaya yang bekerja. Pemodelan fisik dari sistem geoteknik dapat menghasilkan data untuk validasi dengan pendekatan terhadap pemodelan analitis dan dengan demikian dapat memberikan dasar perhitungan dari model fisik ke prototipe. Dalam suatu pemodelan harus disertakan parameter-parameter yang dibutuhkan yang dijadikan parameter utama dalam pemodelan supaya hasil dan efeknya dapat diketahui.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis penurunan timbunan tanah pasir dengan uji model fisik. Penurunan yang dianalisis adalah penurunan seketika pada timbunan tanah pasir tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan tiga kali pemodelan timbunan dengan sampel pasir yang sama, namun dengan kondisi yang berbeda.

Manfaat dari penelitian ini, yaitu dapat memberikan wawasan mengenai penurunan timbunan menggunakan tanah pasir akibat adanya beban yang diuji melalui model fisik. Selain itu, dapat dijadikan acuan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai analisis tanah lainnya dengan pengujian model fisik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Pasir

Tanah pasir merupakan tanah yang terbentuk dari batuan beku serta batuan sedimen yang memiliki butir kasar. Pasir merupakan jenis tanah *non-cohesive* dan bertekstur kasar, yang dicirikan adanya ruang pori besar diantara butir-butirnya (Craig, R. F., 1991). Kondisi ini menyebabkan tanah menjadi bersifat lepas dan gembur. Berdasarkan ukuran butirannya, jenis tanah yang digolongkan pasir adalah tanah yang lolos ayakan No. 4 (4,75 mm) dan tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm) menurut standar USCS (Das, B. M., 1994). Tanah pasir memiliki nilai sudut geser seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai Sudut Geser Tanah Pasir dan Hubungannya dengan Kepadatan, dan N-SPT.

Nilai N	Kepadatan Relatif		Sudut Geser Dalam/ ϕ ($^{\circ}$)	
	$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$		Peck	Meyerhoff
0-4	Sangat Lepas	0,0-0,2	< 28,5	< 30
4-10	Lepas	0,2-0,4	28,5-30	30-35
10-30	Sedang	0,4-0,6	30-36	35-40
30-50	Padat	0,6-0,8	36-41	40-45
> 50	Sangat Padat	0,8-1,0	> 41	> 45

(Sumber: Sosrodarsono Suyono, 1983)

2.2 Timbunan

Timbunan adalah pembebanan awal pada lapisan tanah yang berfungsi untuk mereduksi penurunan yang akan terjadi dan juga dapat meningkatkan daya dukung tanah tersebut.

Timbunan yang diberi beban di atasnya juga akan mengalami penurunan. Apabila timbunan diberi perkuatan, maka akan mengurangi penurunan yang terjadi.

2.3 Penurunan Seketika pada Tanah Pasir

Permeabilitas pasir yang begitu tinggi sehingga tekanan pori yang dihasilkan akan menghilang seketika pada saat beban diberikan. Dengan kata lain, keadaan ini adalah keadaan terdrainasi. Penurunan seketika diakibatkan dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air, tanpa adanya perubahan kadar air. Penurunan seketika biasanya terjadi selama proses konstruksi berlangsung.

Penurunan seketika merupakan bagian utama dari penurunan, walaupun mungkin masih ada yang berjalan perlahan-lahan, yaitu penurunan jangka panjang. Penurunan jangka panjang ini biasanya kecil dibandingkan dengan penurunan seketika. Penurunan ini terjadi dalam waktu yang sangat singkat saat dibebani secara cepat. Perhitungan penurunan dapat dihitung dengan **Persamaan 1**.

$$S_i = \Delta\sigma B \frac{1-\mu_s^2}{E_s} I_p \quad \dots (1)$$

dimana:

- S_i = penurunan seketika (m),
- $\Delta\sigma$ = beban timbunan (kN/m²),
- E_s = modulus elastisitas tanah (kN m²),
- μ_s = poisson's ratio,
- B = lebar atau diameter beban,
- I_p = non-dimensional influence factor.

Tabel 2. Influence Factors for Foundations

Shape	m_1	I_p		
		Flexible		Rigid
		Center	Corner	
Circle	-	1	0,64	0,79
Rectangular	1	1,12	0,56	0,88
	1,5	1,36	0,68	1,07
	2	1,53	0,77	1,21
	3	1,78	0,89	1,42
	5	2,1	1,05	1,7
	10	2,54	1,27	2,1
	20	2,99	1,49	2,46
	50	3,57	1,8	3
	100	4,01	2	3,43

(Sumber: H.F. Winterkorn, et.al., 1975 dalam Ishibashi, 2015)

dimana:

$$m_1 = \frac{L}{B} \text{ (panjang beban dibagi dengan lebar beban yang bekerja)}$$

2.4 Model Fisik

Model adalah tiruan sebuah sistem yang disusun untuk mempelajari karakteristik sistem nyatanya (Wood, D. M., 1990). Oleh karena tiruan, maka karakteristik sistem yang

digambarkan dalam model biasanya tidak menyeluruh, melainkan disesuaikan dengan kebutuhan tujuan studi. Dengan demikian, model memiliki sejumlah asumsi yang berkaitan dengan proses/struktur sistem maupun input/output dalam sistem.

Keuntungan dari pemodelan di laboratorium dengan skala kecil adalah memiliki kontrol sepenuhnya terhadap segala detail dan aspek pada model, dapat memilih jenis tanah yang akan diuji dengan data pendukung untuk menggolongkan perilaku mekanis tanah tersebut (Wood, D. M., 2004). Selain itu, dapat menentukan batasan-batasan dan kondisi pembebanan pada model, sehingga kita mengetahui jelas bagaimana beban itu diaplikasikan dan bagaimana pengaruhnya.

3. ANALISIS DATA

3.1 Metode Penelitian

Prosedur analisis yang dilakukan untuk pemodelan timbunan tanah pasir yang akan dianalisis dengan uji model fisik ini terdapat pada **Gambar 1**.

Penelitian ini dimulai dari persiapan material tanah pasir kemudian tanah tersebut disaring dan digunakan sebagai material utama model timbunan. Pasir yang digunakan adalah pasir dengan gradasi seragam. Setelah itu dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan beberapa data parameter tanah yang dalam penelitian ini hanya dilakukan pengujian kadar air, berat isi, dan berat jenis. Kemudian tahap selanjutnya membuat model fisik bak uji dan timbunan, dilanjutkan dengan pembebanan terhadap model timbunan dan analisis penurunan. Tahapan selanjutnya melakukan *back analysis* dengan metode numerik menggunakan program PLAXIS 2D dan metode analitik.

3.2 Persiapan Material

Tanah yang akan digunakan adalah tanah berbutir pasir, sebelum pengujian dilakukan, maka diperlukan uji analisa saringan untuk mendapatkan jenis tanah yang kita inginkan. Tujuan dari analisa saringan adalah menentukan distribusi butiran suatu contoh tanah. Proses uji analisa saringan ini dilakukan berdasarkan standar ASTM D 421.

3.3 Index Properties

Pengujian *index properties* tanah yang dilakukan pada tugas akhir ini hanya kadar air, berat isi, dan berat jenis tanah. Data yang didapat dari pengujian ini digunakan sebagai verifikasi. Hasil pengujian *index properties* sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian *Index Properties*

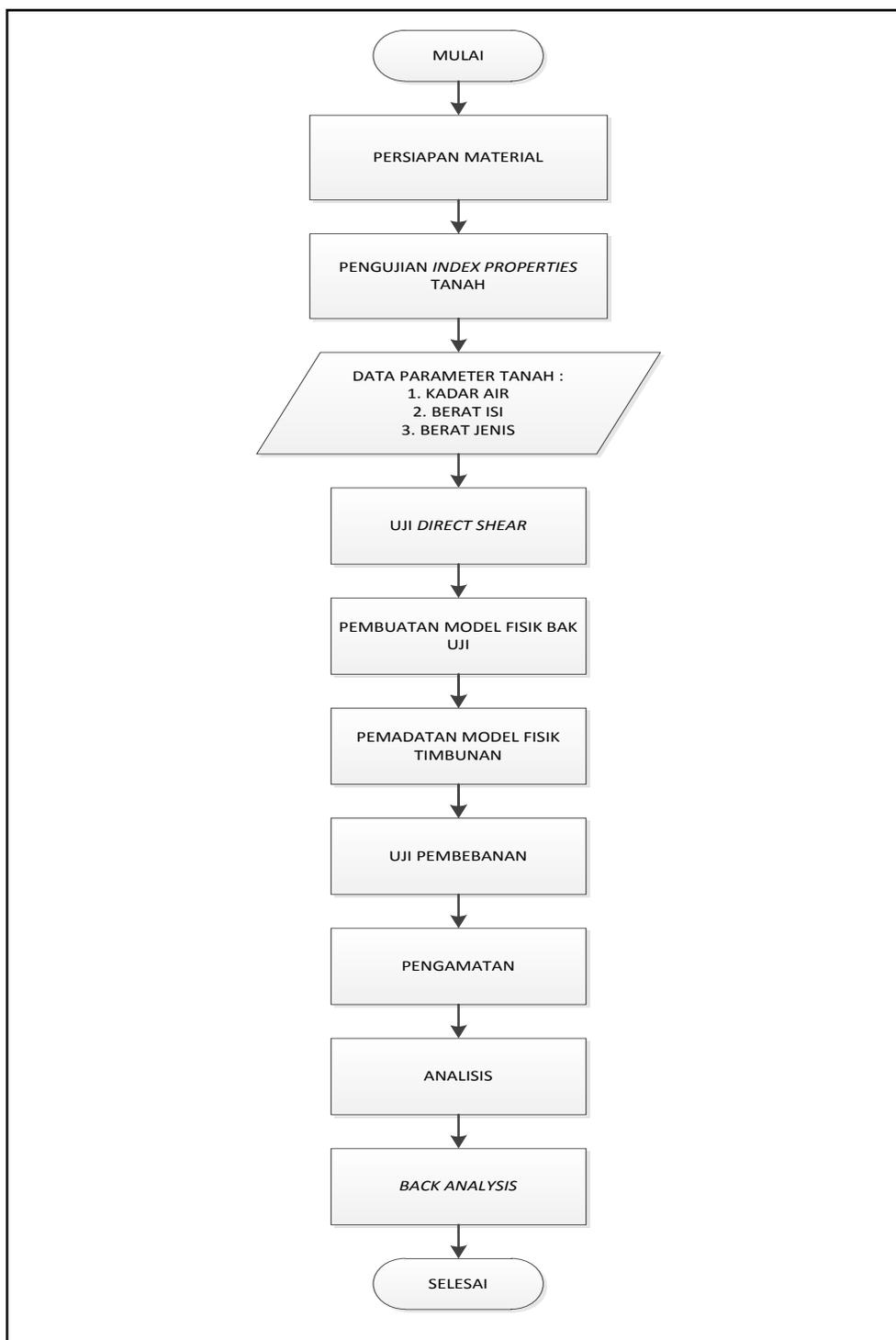
Index Properties	
Kadar Air	11,9 %
Berat Jenis	2,67 gr/cm ³
Berat Isi	1,63 gr/cm ³

3.4 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Dari pengujian *direct shear* diperoleh nilai kepadatan tanah pasir dan berat isi tanah yang kemudian dijadikan sebagai acuan pemodelan timbunan. Hasil dari pengujian *direct shear* dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Uji *Direct Shear*

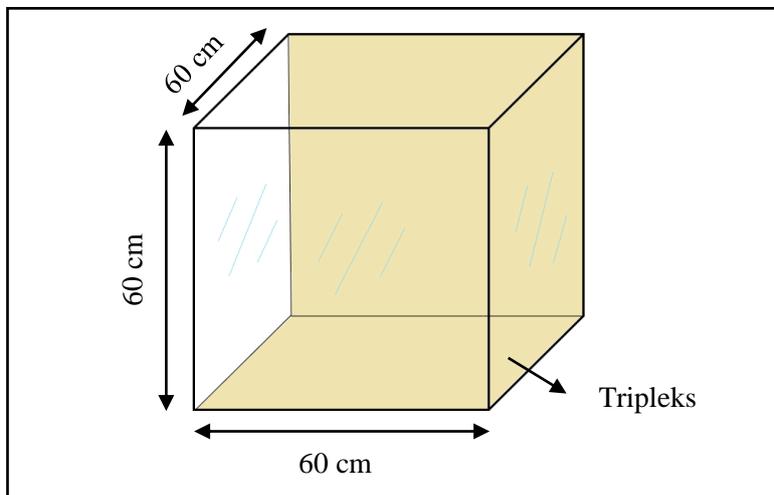
Pengujian	$\phi(^{\circ})$	γ (gr/cm ³)
Pertama	26,5	1,236
Kedua	29	1,413
Ketiga	32	1,475



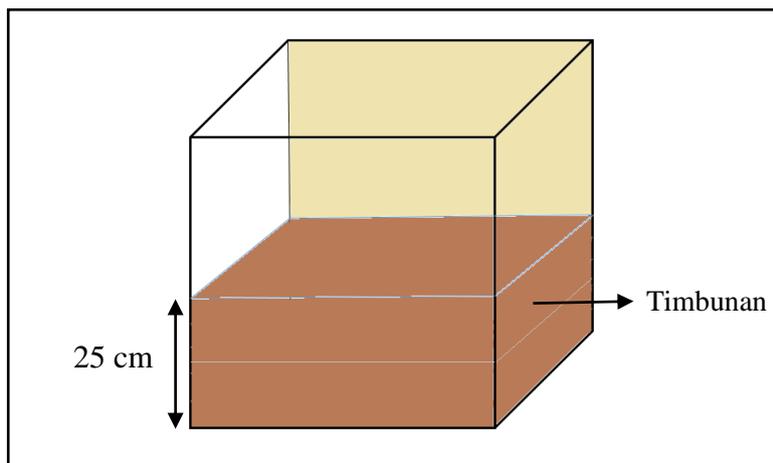
Gambar 1. Bagan alir pemodelan fisik timbunan tanah pasir

3.5 Pemodelan Timbunan

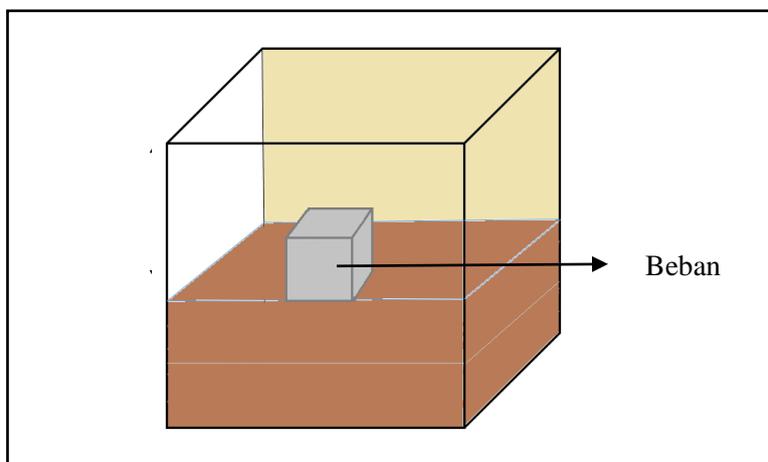
Model timbunan yang dibuat adalah timbunan menerus dengan ketinggian 25 cm. Model timbunan dibuat di dalam bak uji berbentuk kubus yang berukuran 60 cm x 60 cm x 60 cm. sketsa pemodelan dapat dilihat pada **Gambar 2 sampai Gambar 4**.



Gambar 2. Sketsa model fisik



Gambar 3. Sketsa model fisik setelah ada timbunan



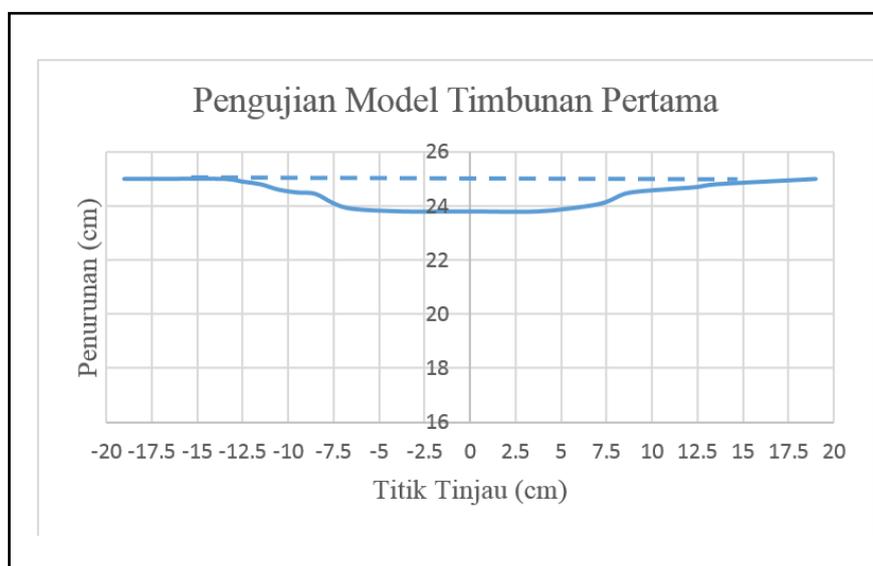
Gambar 4. Sketsa model fisik dengan pembebanan pada timbunan

3.6 Uji Pembebanan

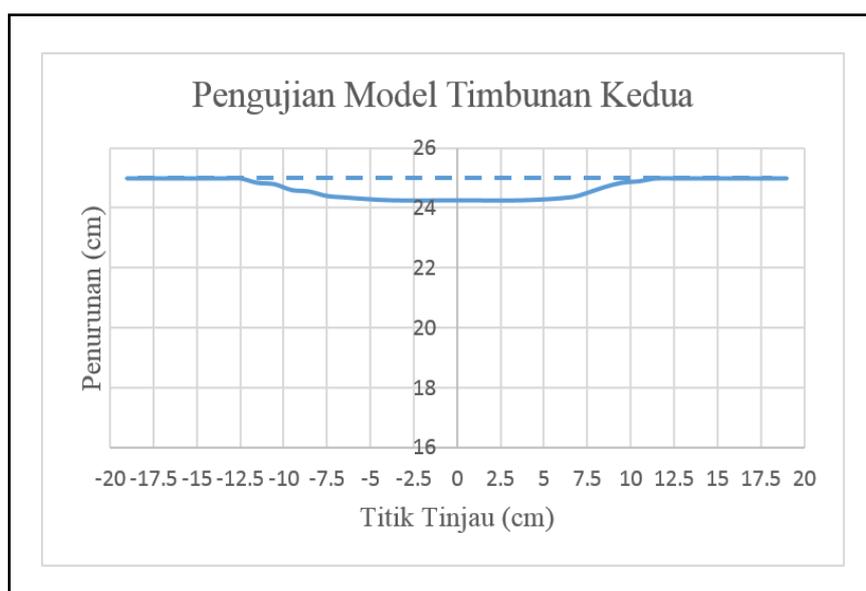
Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan pola yang sama untuk semua jenis kepadatan tanah yang berbeda. Pembebanan dilakukan sebanyak empat kali dengan menggunakan kubus beton berukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm dengan berat yang hampir seragam. Beban diletakkan di tengah timbunan dan menempel dengan sisi depan bak uji agar mudah diamati, kemudian beban selanjutnya diletakkan di atas beban yang pertama dan seterusnya sampai pembebanan yang keempat.

3.7 Analisis Penurunan yang Terjadi pada Timbunan

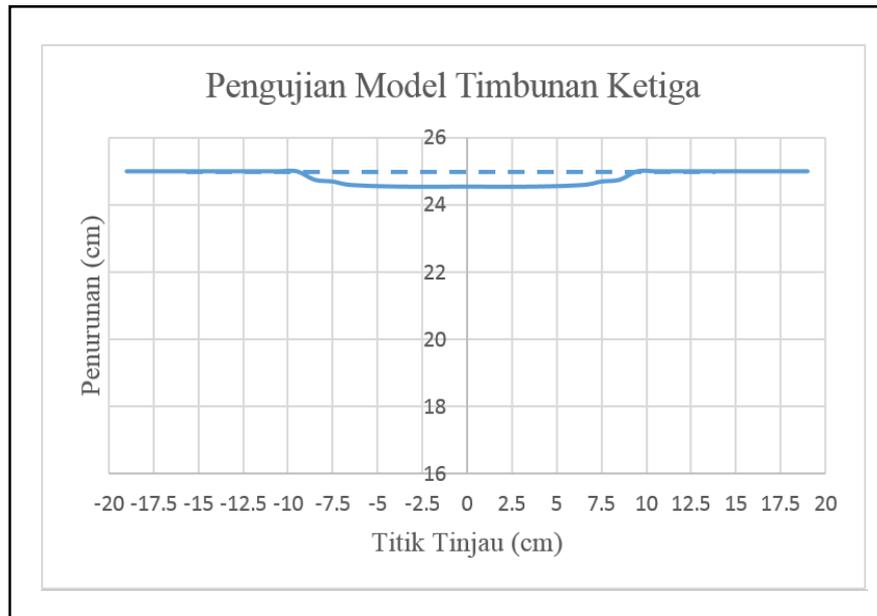
Penurunan yang didapat untuk pemodelan pertama adalah 1,2 cm, model timbunan yang kedua sebesar 0,75 cm, dan model timbunan ketiga sebesar 0,45 cm dari empat tahap pembebanan yang telah dilakukan.



Gambar 5. Hasil penurunan pada model timbunan pertama



Gambar 6. Hasil penurunan pada model timbunan kedua



Gambar 7. Hasil penurunan pada model timbunan ketiga

Dari hasil pengujian *direct shear* dan penurunan yang terjadi, model timbunan pertama dapat dikategorikan sebagai tanah dengan tingkat kepadatan sangat lepas (*very loose*), model yang kedua adalah (*very loose to loose*), dan model ketiga adalah lepas (*loose*). Karena nilai sudut gesernya berada pada batas minimum antara *loose* dan *very loose*, nilai berat isinya dan penurunannya tidak berbeda jauh dengan model ketiga, maka model yang kedua dikategorikan *very loose to loose*.

3.8 Back Analysis

Back analysis merupakan tahap analisis ulang dengan menggunakan program dan perhitungan analitik. Hasil dari kedua metode ini memiliki perbedaan, namun perbedaannya tidak begitu signifikan.

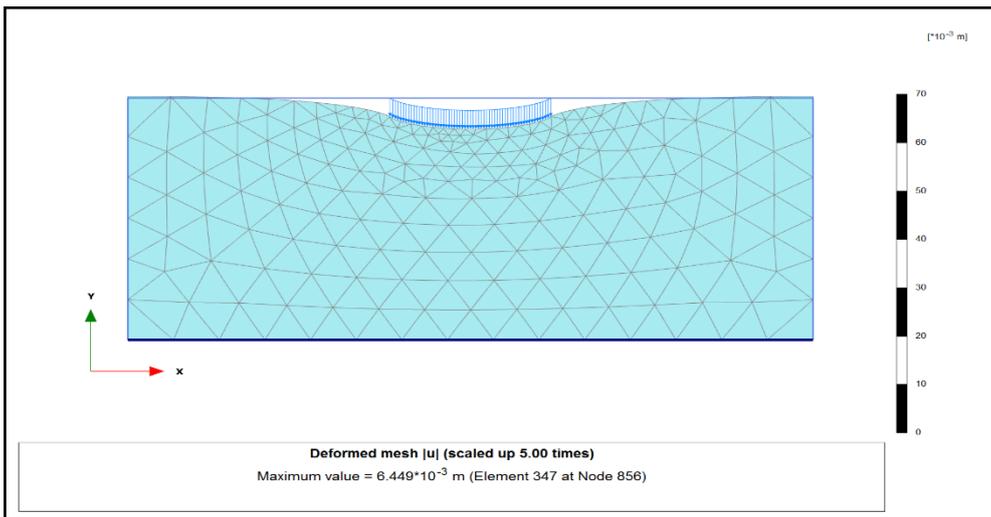
3.8.1 Metode Numerik

Penurunan yang dianalisis dalam metode ini menggunakan program numerik berbasis *finite element method*, yaitu PLAXIS 2D. Pada metode numerik ini nilai modulus berasal dari hasil analisis empirik dan *Poisson's Ratio* adalah asumsi. Hasil dari *back analysis* pada metode ini untuk setiap pengujiannya dapat dilihat pada **Tabel 5**, **Gambar 8** sampai **Gambar 10**, dan hasil *cross section* penurunan dapat dilihat pada **Gambar 11**.

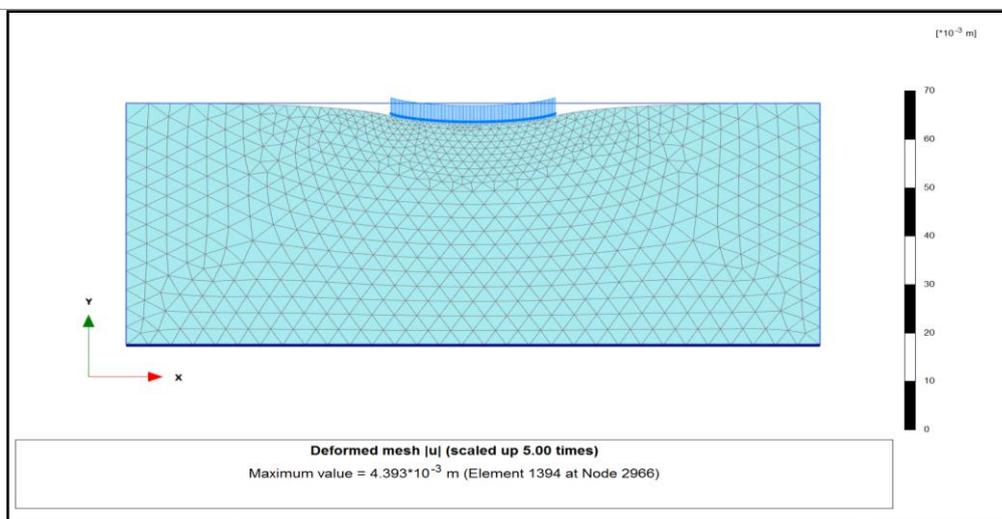
Tabel 5. Hasil Back Analysis dengan Metode Numerik

Parameter		Pengujian		
		Pertama	Kedua	Ketiga
ϕ	($^{\circ}$)	26,5	29	32
$\Delta\sigma$	(kN/m ²)	13,84	13,84	13,84
μ		0,35	0,3	0,3
E	(kN/m ²)	288,32	461,3	768,84
H	(m)	0,25	0,25	0,25
ΔH	(m)	$6,4 \times 10^{-3}$	$4,4 \times 10^{-3}$	$2,6 \times 10^{-3}$

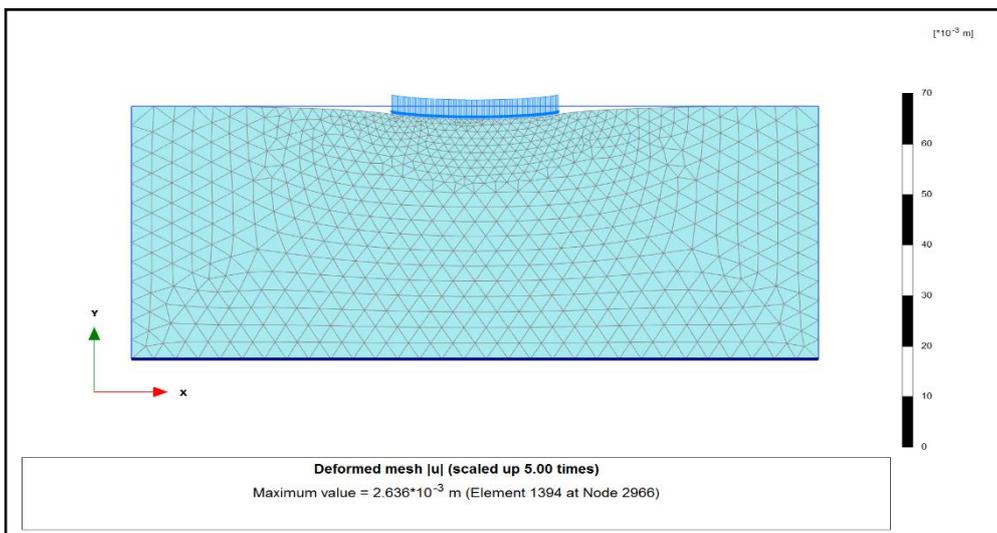
Analisis Perilaku Timbunan Tanah Pasir Menggunakan Uji Model Fisik



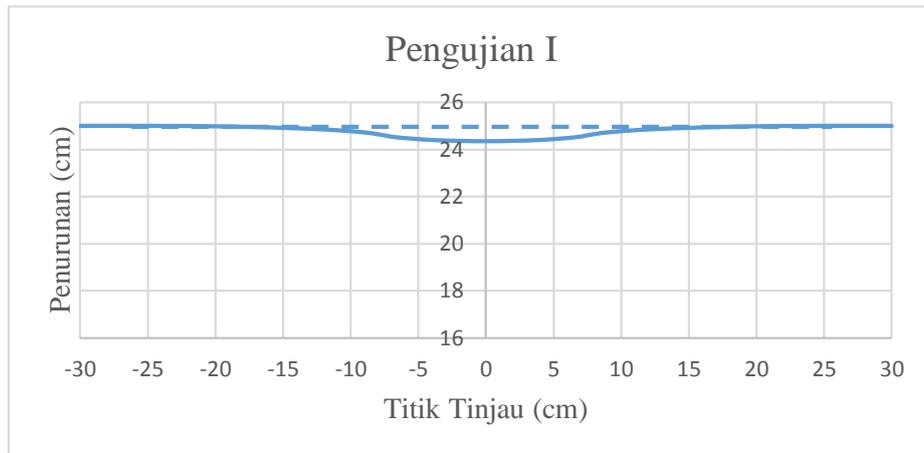
Gambar 8. Hasil *back analysis* untuk model timbunan pertama



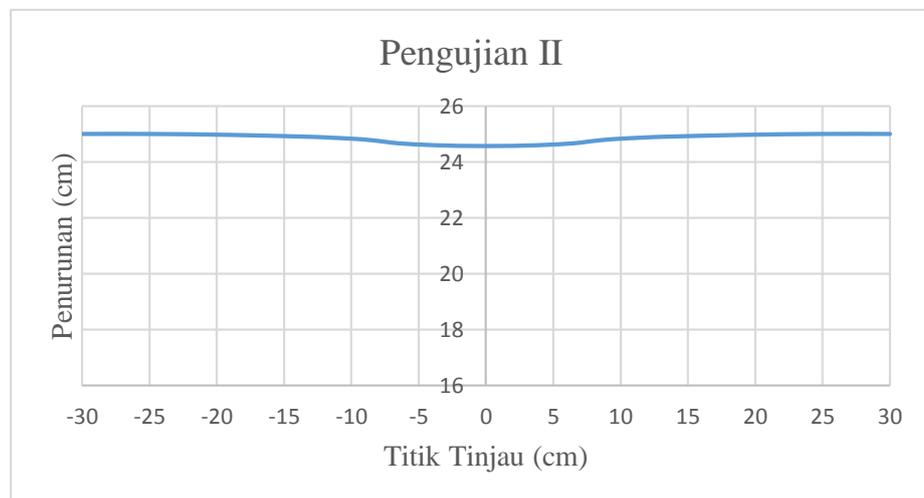
Gambar 9. Hasil *back analysis* untuk model timbunan kedua



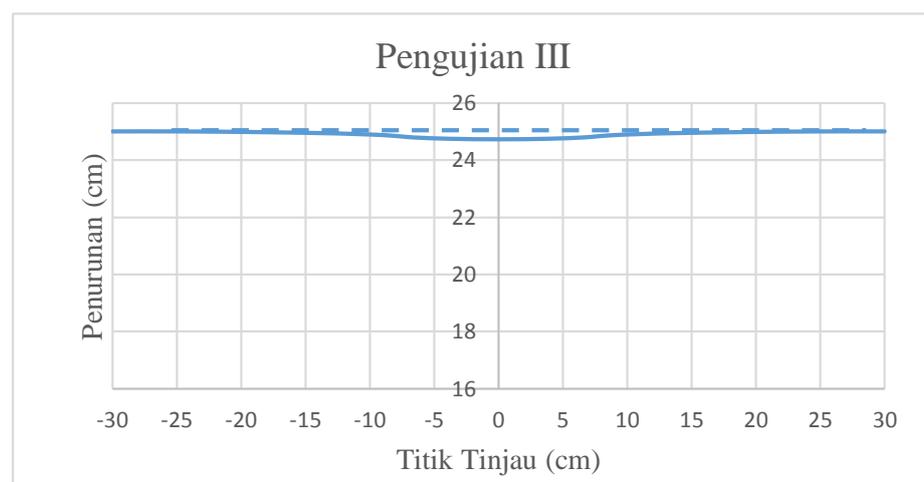
Gambar 10. Hasil *back analysis* untuk model timbunan ketiga



(a)



(b)



(c)

Gambar 11. Cross section hasil penurunan metode numerik (a) pengujian pertama, (b) pengujian kedua, dan (c) pengujian ketiga

3.8.2 Metode Analitik

Pada metode ini perhitungan penurunan menggunakan rumus. Rumus yang digunakan pada metode ini ada pada **Persamaan 1**. Material beban yang digunakan berupa beton kubus dengan panjang dan lebar 0,15 m, luas alas yang terkena beban sebesar 0,0225 m² dan total beban seberat 31,14 kg yang dijadikan sebagai data untuk perhitungan. Hasil perhitungan metode analitik untuk tiap kepadatan dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil *Back Analysis* dengan Metode Analitik

		Pengujian		
Parameter		Pertama	Kedua	Ketiga
m_1		1	1	1
$\Delta\sigma$	(kN/m ²)	0,3114	0,3114	0,3114
B	m	0,15	0,15	0,15
μ		0,35	0,3	0,3
E	(kN/m ²)	288,32	461,3	768,84
I_p		0,88	0,88	0,88
S_i	m	$5,6 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-3}$	$2,2 \times 10^{-3}$

4. KESIMPULAN

1. Penurunan maksimum yang terjadi pada model timbunan yang pertama adalah 1,2 cm, model timbunan kedua sebesar 0,75 cm, dan model yang ketiga sebesar 0,45 cm.
2. Kepadatan tanah yang didapatkan berdasarkan hasil pengujian untuk model timbunan yang pertama adalah *very loose*, dan untuk model timbunan yang kedua adalah *very loose to loose* karena nilai sudut gesernya yang berada di batas minimum antara *very loose* dan *loose*, dan ketiga adalah *loose*. Hal ini dikarenakan pasir yang digunakan adalah pasir dengan gradasi buruk, sehingga pasir sulit untuk dipadatkan. Selain itu, pada umumnya penurunan terjadi pada kondisi kepadatan tanah *very loose* dan *loose*.
3. Semakin tanah itu padat, maka penurunan yang terjadi akan semakin kecil karena pori antar butiran tanahnya semakin kecil akibat dari pemadatan. Sehingga butiran tanah tidak memiliki ruang untuk berpindah.
4. Pada pengujian ketiga, kepadatan tanah dikatakan *loose* karena hasil penurunan dan berat isinya tidak berbeda jauh dengan model timbunan pada pengujian yang kedua walaupun nilai sudut gesernya dapat dikategorikan sebagai tanah dengan kepadatan *medium*.
5. Hasil *back analysis* dengan menggunakan metode numerik dan analitik tidak berbeda jauh, namun kedua hasil tersebut sedikit berbeda dengan hasil analisis empirik. Hal ini mungkin dikarenakan adanya faktor skala pemodelan pada tahapan prakonstruksi dan konstruksi model fisik.

5. DAFTAR RUJUKAN

- Craig, R. F. (1991). Mekanika Tanah Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
 Das, B. M. (1994). Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
 Suyono, S. (1983). Mekanika Tanah & Teknik Pondasi. Jakarta: Pradnya Paramita.

- Ishibashi, I. & Hazarika, H. (2015). Soil Mechanics Fundamentals and Applications Second Edition. Florida: CRC Press.
- Wood, D. M. (1990). Soil Behaviour and Critical State Soil Mechanics. New York: Cambridge University Press.
- Wood, D. M. (2004). Geotechnical Modelling. New York: Spoon Press.