

## BAB IV

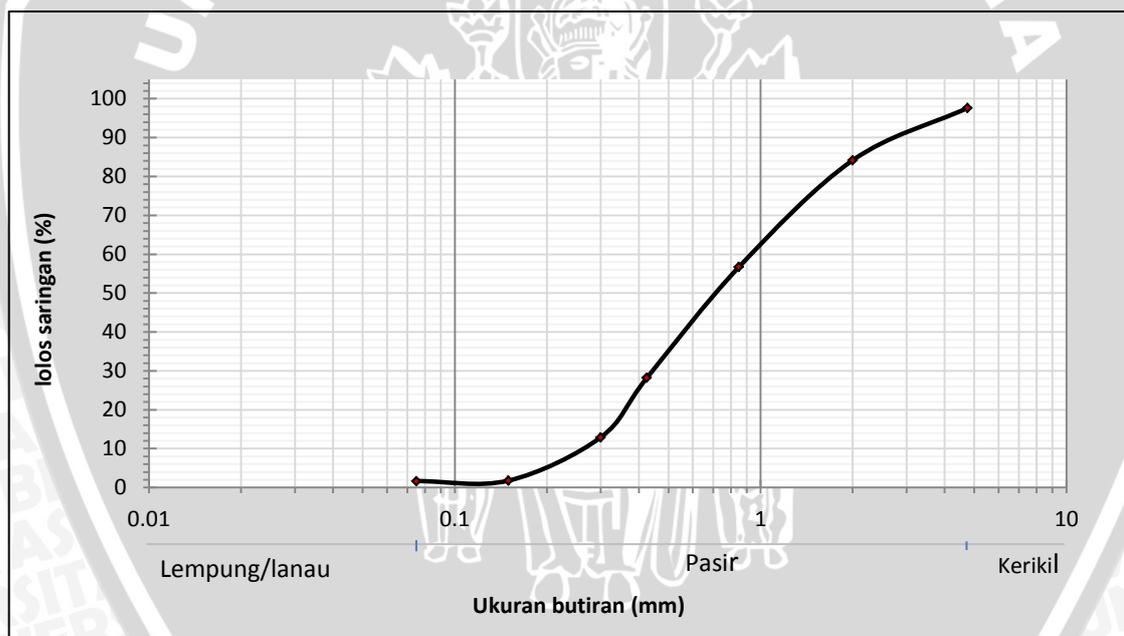
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Bahan

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari aliran sungai Brantas Malang. Sedangkan *pile* yang digunakan sebagai perkuatan lereng pasir terbuat dari mortar. Campuran mortar yang digunakan adalah 1 PC : 4 Pasir. *Pile* yang digunakan diperkuat dengan tulangan bambu.

##### 4.1.1 Analisis Saringan

Analisa saringan dilakukan untuk mengetahui gradasi butiran pasir yang dipakai dalam penelitian ini. Analisis dilakukan secara mekanik dengan menggunakan alat uji saringan ASTM (1980) D 422 . Gambar 4.1 berikut merupakan grafik hasil pengujian analisis saringan di laboratorium.



Gambar 4.1 Grafik Distribusi Butiran

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan distribusi ukuran butiran yang diklasifikasikan dengan sistem U.S.C.S . Berdasarkan Gambar 4.1 didapatkan perhitungan nilai  $C_u$  sebesar 3.45 dan  $C_c$  sebesar 0.775 . Sehingga pasir digolongkan dalam jenis SP (*Poorly Graded Sand*)

#### 4.1.2 Analisis Berat Jenis (Specific Gravity)

Berat jenis (*Specific Gravity*) adalah perbandingan antara berat kering udara suatu sampel tanah dengan berat air dimana berat dan volumenya sama dengan volume sampel tanah pada suhu dan temperatur yang sama. Pemeriksaan berat jenis ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis butiran tanah yang lewat saringan no.4 dengan menggunakan labu ukur (*picnometer*). Data yang diperoleh di laboratorium selanjutnya dimasukkan kedalam persamaan (4-1) berikut.

$$G_s = \frac{G_t \times W_s}{W_s - W_1 + W_2} \quad (4-1)$$

Dimana:

- $G_s$  = berat jenis tanah  
 $G_t$  = berat jenis air  
 $W_s$  = berat tanah kering  
 $W_1$  = berat labu ukur + air + tanah  
 $W_2$  = berat labu ukur + air

Berdasarkan pengujian dan pengolahan data yang telah dilakukan didapatkan nilai berat jenis rata-rata sebesar 2,689 seperti yang disajikan dalam Tabel 4.1 berikut ini. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat di Lampiran.2

Tabel 4.1 Berat jenis tanah rata-rata

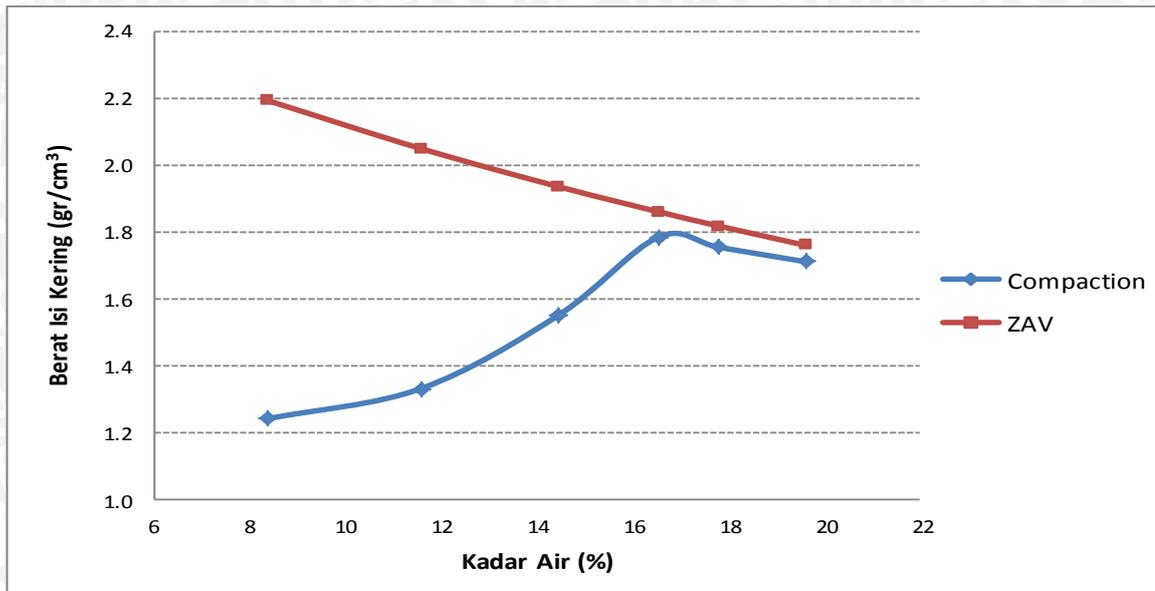
Labu ukur	A	B	Satuan
Berat jenis	2,709	2,669	gram/cm <sup>3</sup>
Berat jenis rata-rata	2,689		gram/cm <sup>3</sup>

Sumber: Hasil Analisis, 2011.

#### 4.1.3 Analisis Pemeriksaan Kepadatan Tanah (Compaction)

##### 4.1.3.1 Kepadatan Tanah Standar di Laboratorium

Pengujian kepadatan standar (*compaction*) bertujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan memadatkan tanah didalam *mould* yang berdiameter 102 mm (4 inch) dengan menggunakan *proctor* standar dengan berat 4,54 kg (10 lbs). Tinggi jatuh untuk pemadatan standar adalah sebesar 45,7 cm (18 inch). Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai berat isi kering ( $\gamma_{lab}$ ) sebesar 1,8 gr/cm<sup>3</sup> dengan kadar air optimum sebesar 18%. Grafik hasil pengujian tersebut disajikan dalam Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Grafik Pemadatan Standar

#### 4.1.3.2 Kepadatan Tanah Model

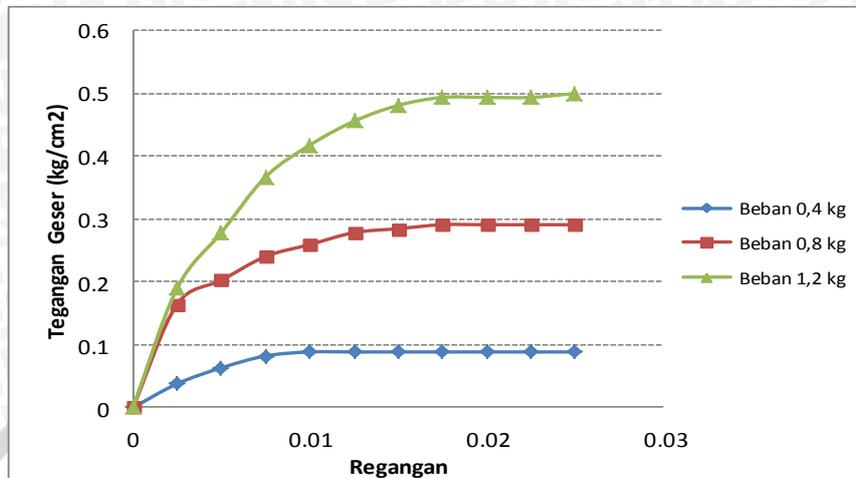
Dalam penelitian ini istilah kepadatan tanah model test dipakai karena pada saat percobaan dalam model box sangat sulit didapatkan kepadatan maksimum seperti halnya pada percobaan di laboratorium. Untuk menentukan berat isi kering pada model, digunakan *sand cone* ASTM D-1556 yang menghasilkan nilai berat isi kering ( $\gamma_{lap}$ ). Perbandingan berat isi kering yang diperoleh dari *sand cone* ( $\gamma_{lap}$ ) dengan berat isi kering yang diperoleh dari pemadatan standar di laboratorium ( $\gamma_{lab}$ ) menghasilkan nilai kepadatan relatif ( $D_R$ ). Berat isi kering ( $\gamma_{lap}$ ) yang dipakai dalam penelitian ini adalah  $1,61 \text{ gr/cm}^3$  untuk kepadatan relatif sebesar 88%. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

#### 4.1.4 Analisis Pengujian Geser Langsung (Direct Shear)

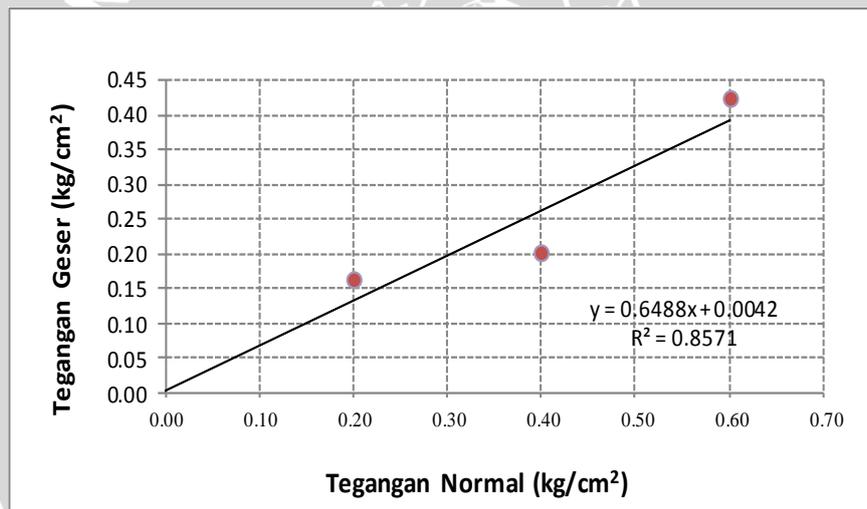
Uji direct shear dilakukan untuk mengetahui parameter dasar tanah. Parameter tersebut berupa kohesi ( $c$ ) dan sudut geser ( $\phi$ ). Selain itu didapatkan juga nilai sudut dilatansi ( $\Psi$ ). Sudut dilatansi merupakan derajat perubahan volume yang diperoleh dari grafik hubungan antara perpindahan vertikal ( $\Delta y$ ) dengan perpindahan geser ( $\Delta x$ ). Parameter ini nantinya akan digunakan sebagai data masukan dalam analisis perhitungan dan Plaxis.

Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali setiap lapisan yang berbeda (lapisan 3, 5, dan 7). Sebagai contoh, hasil pengujian *Direct Shear* pada  $D_r = 88\%$  pada lapisan

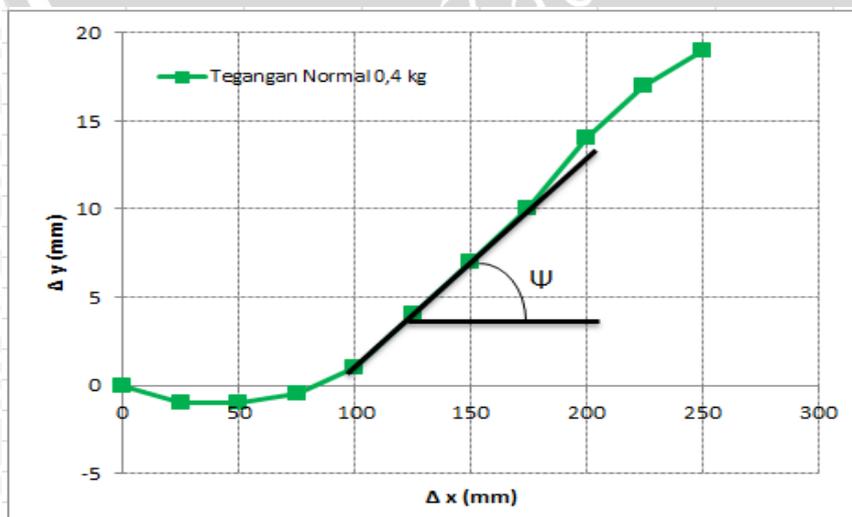
tujuh disajikan pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5a, Gambar 4.5b dan Gambar 4.5c berikut.



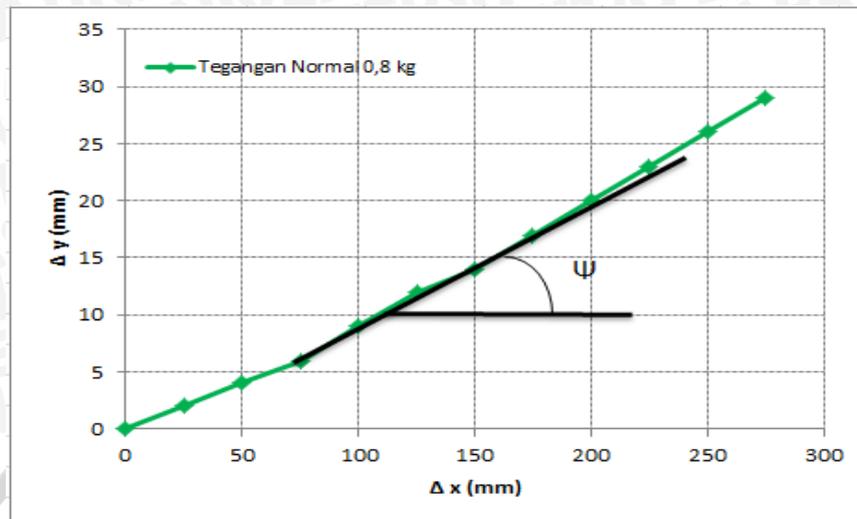
Gambar 4.3 Grafik hubungan tegangan geser dan regangan



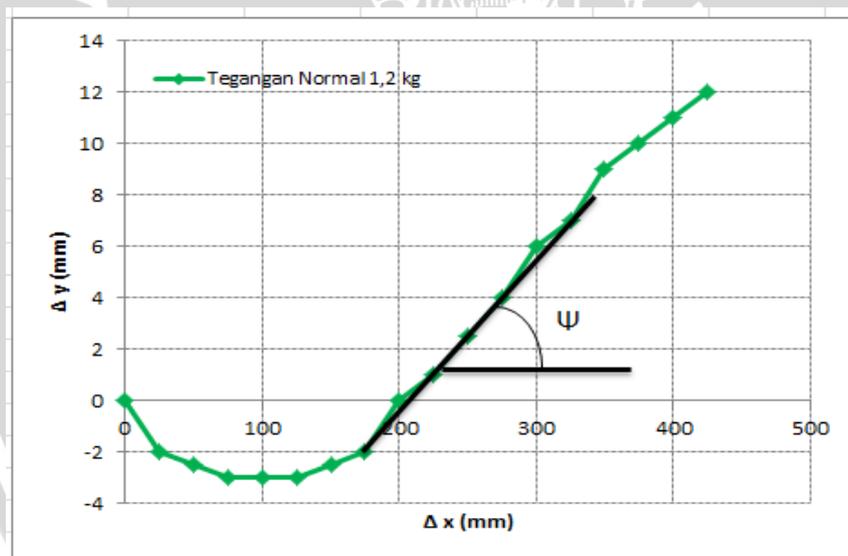
Gambar 4.4 Grafik hubungan tegangan geser dan tegangan normal



Gambar 4.5a Grafik hubungan perpindahan vertikal dan perpindahan horizontal



Gambar 4.5b Grafik hubungan perpindahan vertikal dan perpindahan horizontal



Gambar 4.5c Grafik hubungan perpindahan vertikal dan perpindahan horizontal

Berdasarkan grafik tersebut didapatkan sudut geser dalam sebesar  $38,68^\circ$  dan sudut dilatansi untuk masing-masing grafik sebesar  $10,57^\circ$ ,  $4,57^\circ$ , dan  $9,09^\circ$ . Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 5. Nilai-nilai sudut dilatansi dan sudut geser dalam yang diperoleh dari pengujian disajikan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.2 Nilai-nilai sudut dilatansi

Kepadatan Relatif	Lapisan	Beban (kg)	Sudut Dilatansi	Rata-rata
88%	3	0,4	10,57°	7,50°
		0,8	4,57°	
		1,2	9,09°	
	5	0,4	10,2°	
		0,8	9,09°	
		1,2	6,84°	
	7	0,4	6,84°	
		0,8	6,84°	
		1,2	3,43°	

Sumber: Hasil Analisis, 2011

Tabel 4.3 Nilai-nilai sudut geser dalam

Kepadatan Relatif	Lapisan	Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )	Rata-rata
88%	3	45,82°	38,6°
	5	37,23°	
	7	32,98°	

Sumber: Hasil Analisis, 2011

#### 4.1.5 Analisis Pengujian Elastisitas Tanah

Modulus elastisitas tanah ( $E$ ) yang diperoleh dari uji pembebanan (loading test) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$E = \frac{(1-v^2)I_w}{\left(\frac{\Delta\delta}{\Delta qu}\right)} B_p$$

(4-2)

Dimana:

- $v$  : Angka poisson (digunakan 0,3 untuk tanah pasir)
- $I_w$  : Faktor bentuk pondasi (digunakan 0,8)
- $B_p$  : Lebar pondasi
- $\Delta\delta/\Delta qu$  : Slope grafik hubungan antara penurunan dan daya dukung

Grafik hubungan antara penurunan dan daya dukung tersebut diperoleh secara eksperimental dalam pengujian model. Nilai modulus elastisitas tanah disajikan dalam Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Nilai modulus elastisitas tanah

$D_2/D_1$	E tanah ( $\text{kN/m}^2$ )				E rata-rata ( $\text{kN/m}^2$ )
	( $L_x/L=0,905$ )	( $L_x/L=0,690$ )	( $L_x/L=0,452$ )	( $L_x/L=0,214$ )	
2.953	1779.05	2351.31	2070.88	1790.05	1717,91
3.937	1597.44	1793.75	1680.34	1617.19	
4.921	1458.01	1938.65	1650.25	1433.69	
5.906	1601.49	1719.97	1586.09	1418.31	

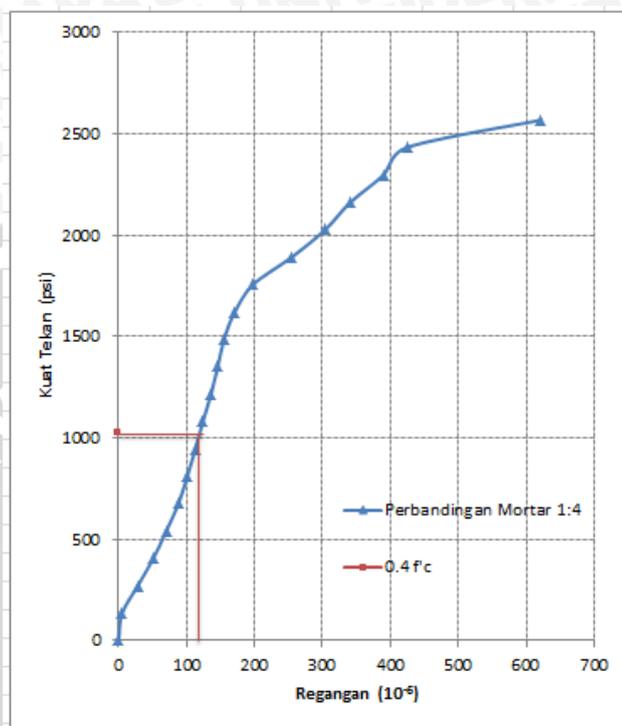
#### 4.1.6 Analisis Pengujian Elastisitas *Pile*

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, permodelan *pile* dibuat dari mortar dan diperkuat dengan tulangan bambu. Oleh karena itu untuk mengetahui nilai kuat tekan dan nilai elastisitas bahan maka dilakukan pengujian elastisitas *pile*. Nilai elastisitas *pile* nantinya akan digunakan sebagai data masukan pada program plaxis v8.2 sebagai permodelan penelitian di laboratorium.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa benda uji. Berdasarkan campuran yang telah ditentukan maka dibuat benda uji dengan tinggi sample sebesar 8 cm dan diameter sebesar 3,81 cm. Alat pengujian yang dipakai adalah alat uji tekan digital Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Brawijaya. Sebelum dilakukan pengujian tekan pada *pile*, sebelumnya telah dipasangkan *strain gauge* pada *pile* yang berguna untuk mengetahui hubungan antara kuat tekan ( $f'_c$ ) dengan regangan *pile* sehingga dapat dihitung nilai kuat elastisitas *pile* tersebut. Gambar 4.6 berikut merupakan pengujian yang telah dilakukan di laboratorium.

Gambar 4.6 Pengujian tekan dan elastisitas *pile*

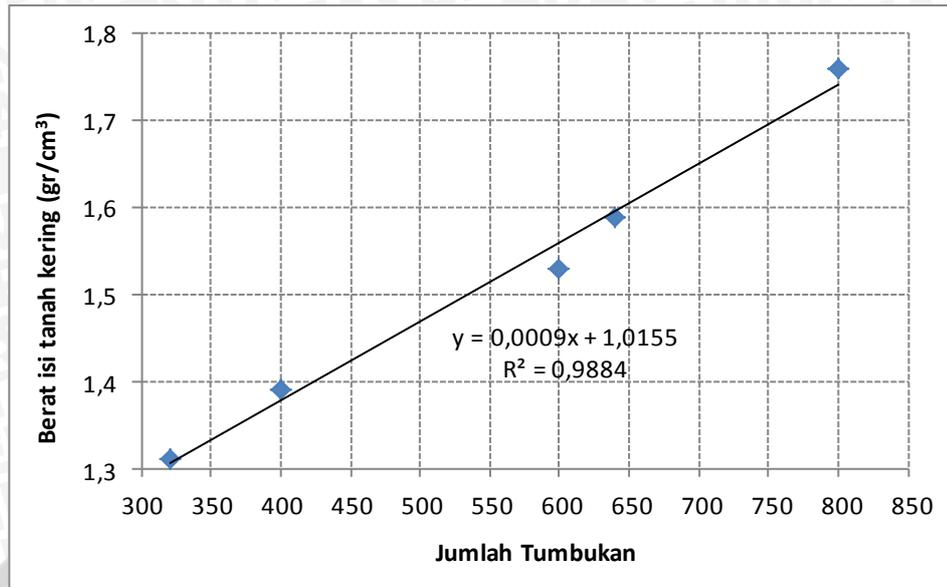
Berdasarkan pengujian ini didapatkan nilai elastisitas bahan untuk *pile* yaitu sebesar 66752,93 MPa dengan nilai kuat tekan sebesar 19,11 MPa. Nilai elastisitas *pile* didapatkan dari grafik hubungan antara kuat tekan dan regangan *pile* yang disajikan pada Gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4.7 Hubungan antara tegangan dan regangan *pile*

#### 4.2 Pengujian Model

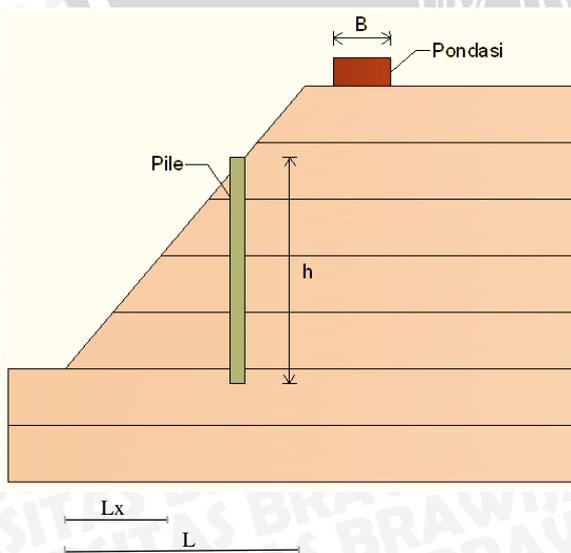
Dalam penelitian ini digunakan boks berukuran 100 cm x 100 cm x 70 cm dan akan diisi dengan pasir. Metode yang dipakai yaitu dengan memasukkan pasir dengan membagi sebanyak 7 lapisan. Tinggi model lereng adalah 70 cm sehingga tinggi per lapisan adalah 10 cm. Setelah itu dilakukan proses pemadatan pada model pasir. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah menggunakan proctor standart. Jumlah pukulan per lapisan ditentukan dengan melakukan trial error pada model test sebelum pengujian dilaksanakan. Hasil trial error ini disajikan dalam Gambar 4.8 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 4.



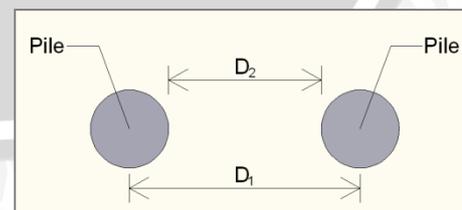
Gambar 4.8 Grafik hubungan berat isi kering dan jumlah tumbukan

Berdasarkan grafik di atas, didapatkan jumlah tumbukan untuk DR 88% adalah sebanyak 660 kali tumbukan untuk tiap lapisan. Sebagai kontrol dari kepadatan, maka pada setiap lapisan diambil sample *density* dan kadar air

Dalam penelitian ini juga ditetapkan beberapa simbol yang akan digunakan pada penyebutan variabel. Lebar pondasi disimbolkan dengan B, jarak pondasi dari puncak lereng disimbolkan dengan b, diameter *pile* disimbolkan dengan D1, jarak pusat ke pusat antar *pile* disimbolkan dengan D2, panjang *pile* disimbolkan dengan H, jarak antara dasar lereng dengan puncak lereng adalah L, dan jarak antara dasar lereng dengan *pile* adalah Lx. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.9 dan 4.10



Gambar 4.9 Tampak samping



Gambar 4.10 Detail D<sub>1</sub> dan D<sub>2</sub>

Berikut ini Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 mer

Tabel 4.5 Penyebutan variabel Panjang *pile*

Panjang <i>Pile</i>	D <sub>2</sub>	h	h/D <sub>2</sub>
30	10	30	3
35	10	35	3.5
40	10	40	4
45	10	45	4.5

Tabel 4.6 Penyebutan variabel lokasi *pile*

Lokasi <i>pile</i>	Lx	L	Lx/L
Atas	38	42	0,905
Tengah atas	29	42	0,690
Tengah	19	42	0,452
Bawah	9	42	0,214

### 4.3 Hasil Pengujian Kadar Air dan Kepadatan Laboratorium

#### 4.3.1 Kadar Air

Pengujian kadar air dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar kandungan air dalam pasir dan sebagai kontrol terhadap kepadatan. Untuk kepadatan relatif 88%, maka desain kadar air dalam box  $\pm 15\%$ . Pada penelitian ini, pengambilan sampel kadar air dilakukan di setiap lapisan kemudian di rata-rata. Dari hasil pengujian di laboratorium didapatkan data kadar air yang di tunjukkan pada tabel 4.7. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 8.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kadar Air Dengan Variasi Lokasi

Lokasi Pile	Lx/L	Panjang Pile (cm)	h/D <sub>2</sub>	Kadar Air %
Atas	0.90	30	3	15.290
		35	3.5	15.760
		40	4	15.450
		45	4.5	14.795
Tengah Atas	0.69	30	3	15.03
		35	3.5	15.05
		40	4	14.90
		45	4.5	15.031
Tengah	0.45	30	3	15.06
		35	3.5	15.01
		40	4	15.25
		45	4.5	14.93

Tabel 4.7 Hasil pengujian kadar air dengan Variasi lokasi  
(Lanjutan)

Lokasi Pile	Lx/L	Panjang Pile (cm)	h/D <sub>2</sub>	Kadar Air %
Bawah	0.21	30	3	14.38
		35	3.5	15.15
		40	4	15.20
		45	4.5	15.76

Sumber : analisis data 2012

#### 4.3.2 Pemeriksaan *Density*

Uji *density* dilakukan untuk mengetahui nilai kepadatan, yaitu berat isi tanah ( $\gamma_d$ ) dengan menggunakan alat *density ring*. Percobaan ini dilakukan tiap lapisan tanah yang dipadatkan sebanyak dua buah benda uji. Dari hasil uji *density* untuk tes kepadatan tiap sampel tanah yang digunakan untuk pemodelan lereng didapatkan nilai kepadatan tanah yang direncanakan. Hasil pengujian *density* untuk lokasi bervariasi dapat dilihat pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kepadatan Dengan Variasi Lokasi

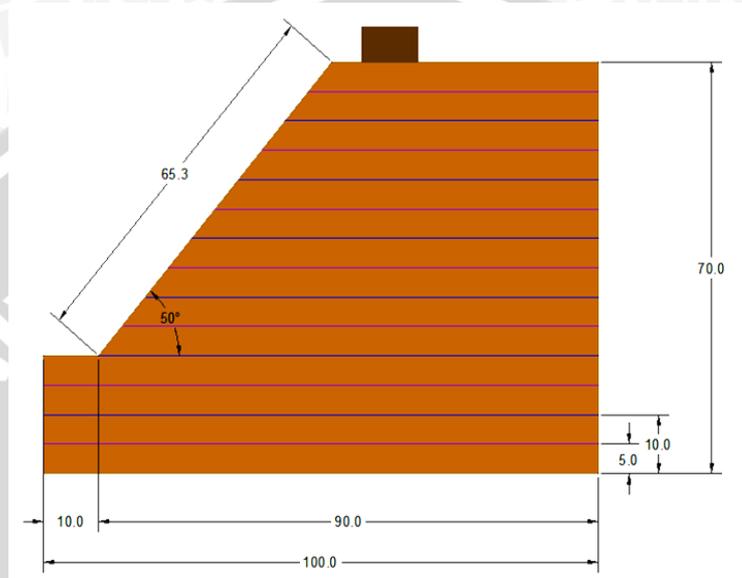
Lokasi Pile	Lx/L	Panjang Pile (cm)	h/D <sub>2</sub>	Density
Atas	0.90	30	3	1.558
		35	3.5	1.593
		40	4	1.619
		45	4.5	1.547
Tengah Atas	0.69	30	3	1.58
		35	3.5	1.561
		40	4	1.537
		45	4.5	1.56
Tengah	0.45	30	3	1.61
		35	3.5	1.593
		40	4	1.622
		45	4.5	1.62
Bawah	0.21	30	3	1.537
		35	3.5	1.542
		40	4	1.610
		45	4.5	1.562

Sumber : Analisis Data 2012

#### 4.4 Uji Pembebanan

##### 4.4.1 Lereng Tanpa Perkuatan

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pengujian terhadap model lereng tanah pasir tanpa perkuatan *pile*. Gambar 4.9 berikut menunjukkan model lereng 2D pada model lereng tanpa *pile* dimana sudut lereng yang dibentuk sebesar  $50^\circ$  dengan tinggi lereng 70 cm.



Gambar 4.11 Model lereng 2D tanpa perkuatan *pile*

Besarnya beban maksimum ( $Q_u$ ) yang dapat ditahan oleh lereng adalah sebesar  $0,358 \text{ kg/cm}^2$ . Beban maksimum ( $Q_u$ ) ditentukan berdasarkan prosedur pembebanan yang dilakukan di laboratorium dimana pada beban tersebut lereng telah mengalami keruntuhan yang ditandai dengan pembacaan proving ring yang cenderung tetap selama 3 kali pembacaan bahkan apabila diteruskan maka pembacaan proving ring akan turun. Besarnya beban maksimum dan penurunan yang terjadi pada lereng dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Beban Maksimum Dan Penurunan Lereng Tanpa Perkuatan

No	Beban P (kg)	$Q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Penurunan (mm)
0	0	0,000	0
1	23	0,024	0,075
2	46	0,048	0,1775
3	69	0,072	0,2525
4	92	0,095	0,375
5	115	0,119	0,5225
6	138	0,143	0,61
7	161	0,167	0,765

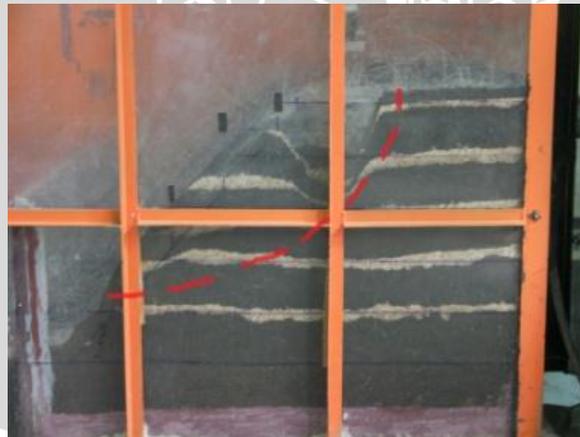
Tabel 4.9 Beban Maksimum Dan Penurunan Lereng Tanpa Perkuatan  
(lanjutan)

No	Beban P (kg)	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Penurunan (mm)
8	184	0,191	0,8425
9	207	0,215	1,0075
10	230	0,239	1,1875
11	253	0,262	1,3175
12	276	0,286	1,5175
13	299	0,310	1,745
14	322	0,334	1,9625
15	345	0,358	2,375
15	345	0,358	2,895
15	345	0,358	3,8025

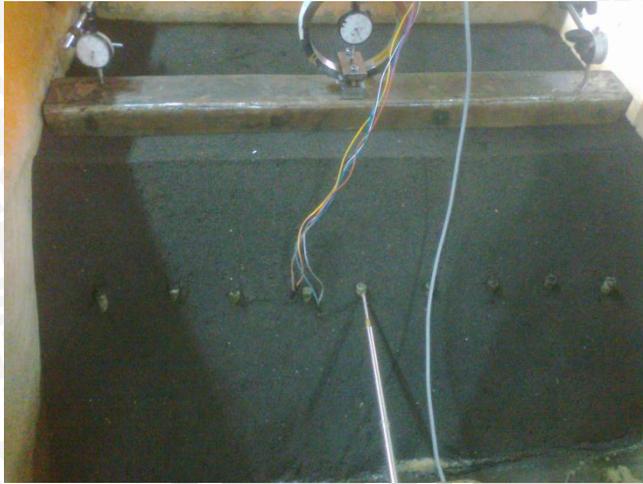
Sumber: Hasil Analisis, 2011

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Ananda (2011) pada kepadatan relatif 74 % menunjukkan bahwa hasil pembacaan strip yang dapat terbaca adalah sebesar 0,191 dimana jika dibandingkan dengan kepadatan relatif 88% maka daya dukung meningkat secara signifikan dengan hasil lebih dari dua kali lipatnya sebesar 0,358 kg/cm<sup>2</sup>.

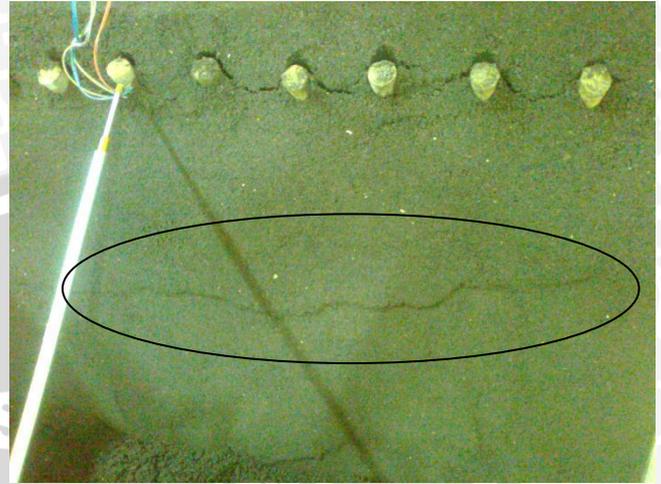
Pada penelitian di laboratorium, untuk mengetahui bidang keruntuhan pada lereng dapat dilihat dari pergerakan tanah pada model test. Garis keruntuhan dan pola keruntuhan yang didapat pada percobaan pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan 4.13 berikut.



Gambar 4.12 Garis keruntuhan yang terjadi pada model lereng



Gambar 4.13 Lereng sebelum pembebanan

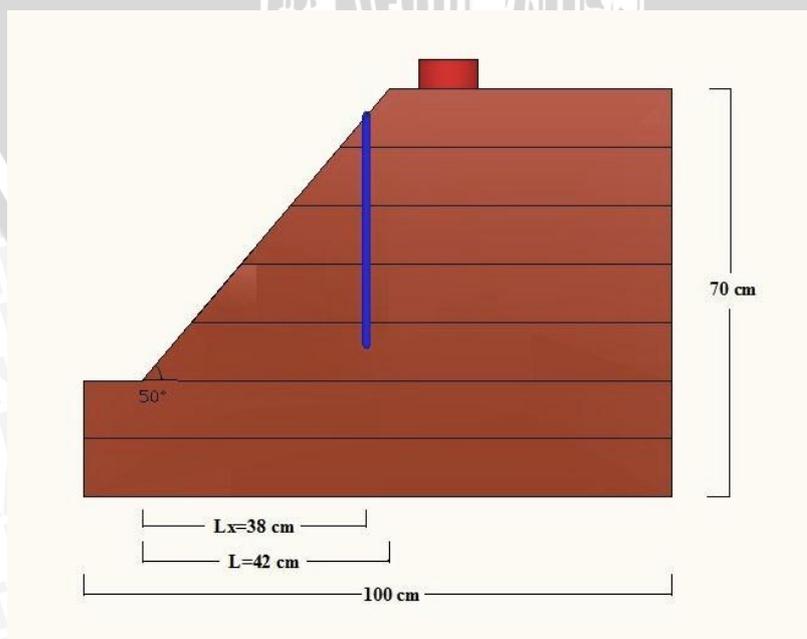


Gambar 4.14 Lereng setelah pembebanan

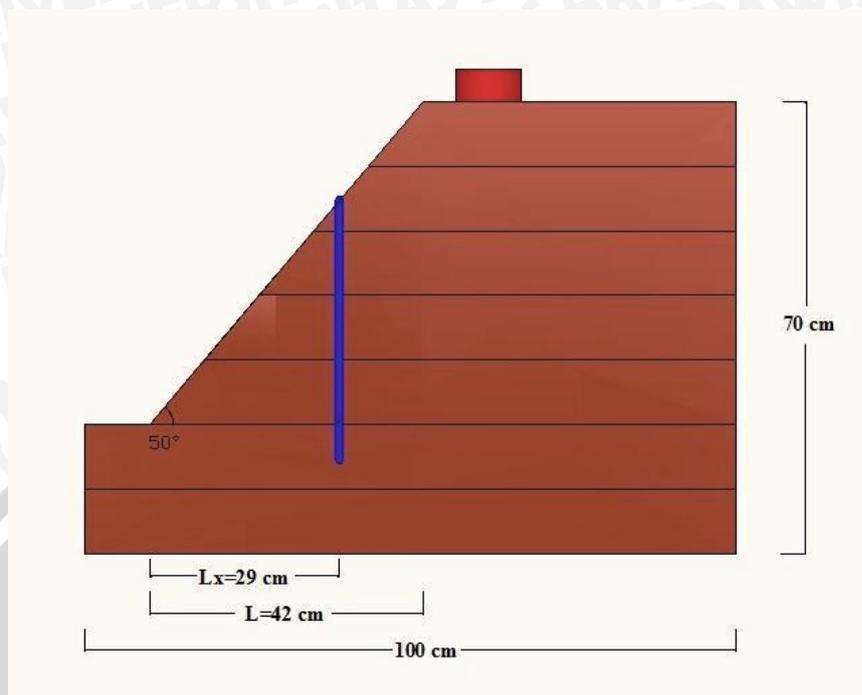
#### 4.4.2 Lereng Dengan Perkuatan *Pile*

##### 4.4.2.1 Variasi Panjang *Pile* Terhadap Lokasi *Pile*

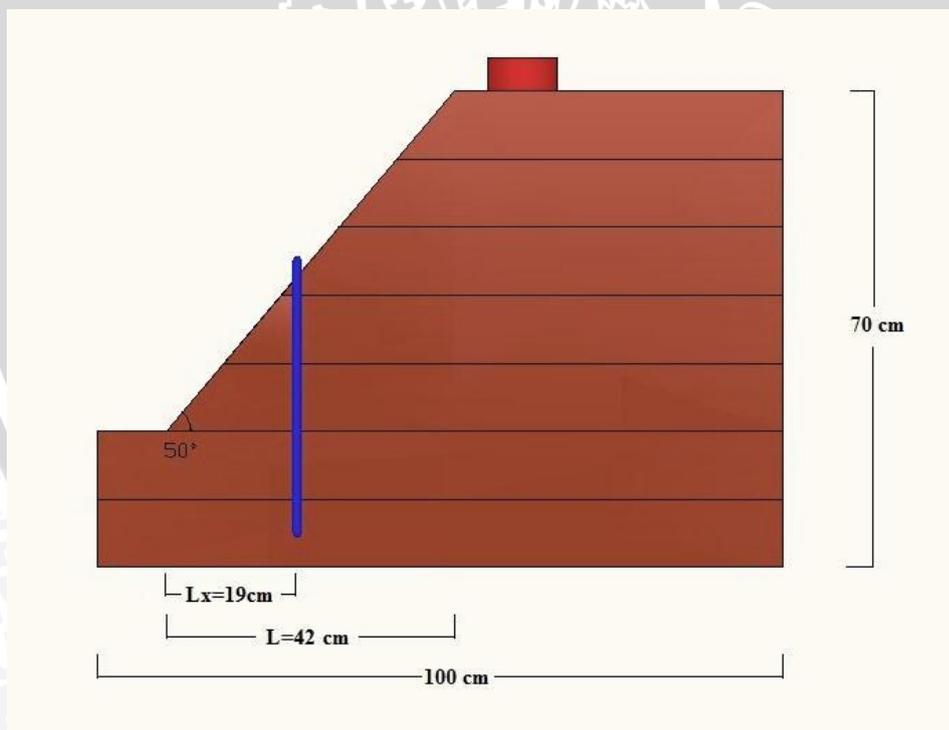
Pada pemodelan lereng dengan perkuatan *pile* ini dipakai 4 variasi panjang yaitu 30 cm ( $h/D_2=3$ ), 35 cm ( $h/D_2=3,5$ ), 40 cm ( $h/D_2=4$ ), dan 45 cm ( $h/D_2=4,5$ ). Dimana keempat variasi ini diuji cobakan pada 4 variasi lokasi yaitu Atas ( $L_x/L=0,905$ ), tengah atas ( $L_x/L=0,690$ ), tengah ( $L_x/L=0,452$ ), dan bawah ( $L_x/L=0,214$ ). Sedangkan variabel yang dibiarkan konstan adalah diameter *pile* 2,54 cm dan jarak antar 10 cm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.15a, Gambar 4.15b, Gambar 4.15c, dan Gambar 4.15d berikut.



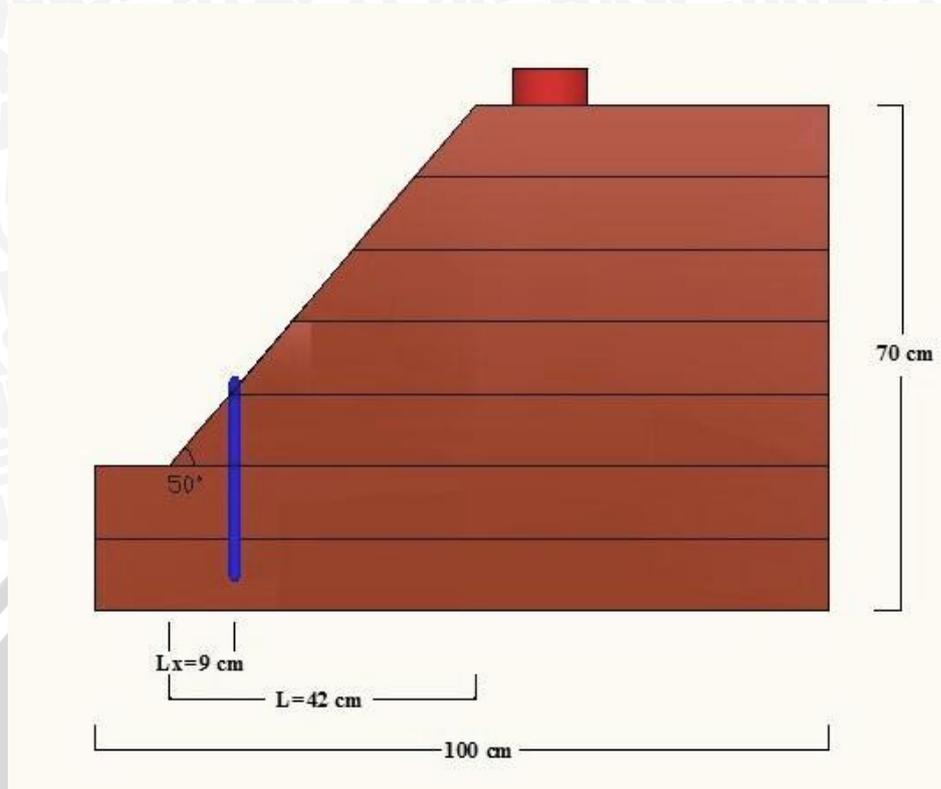
Gambar 4.15a Lereng dengan posisi *pile* atas



Gambar 4.15b Lereng dengan posisi *pile* tengah atas



Gambar 4.15c Lereng dengan posisi *pile* tengah

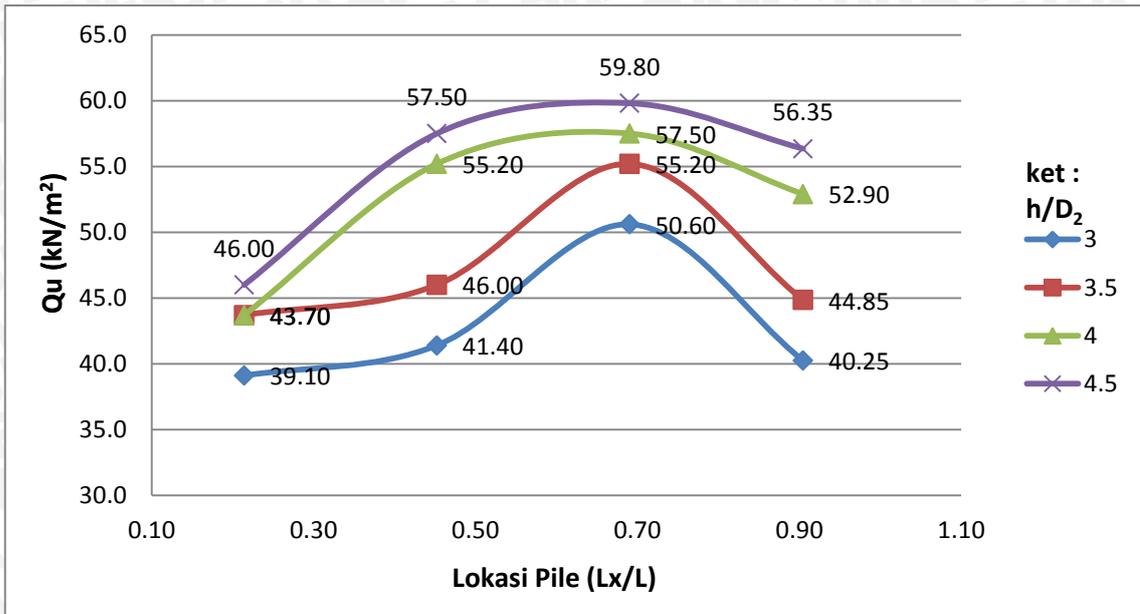


Gambar 4.15d Lereng dengan posisi *pile* bawah

Berdasarkan hasil pengujian lereng untuk setiap variasi panjang *pile* terhadap variasi lokasi penempatan *pile*, maka didapatkan data beban maksimum pada Tabel 4.10 berikut dan diperlihatkan secara grafis dalam Gambar 4.16.

Tabel 4.10 Beban Maksimum Untuk Setiap Variasi Panjang

Lokasi <i>Pile</i> ( $L_x/L$ )	$h/D_2$	$Q_u$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
0.905	3	0.4025
	3.5	0.4485
	4	0.5290
	4.5	0.5290
0.69	3	0.5060
	3.5	0.5520
	4	0.5520
	4.5	0.5980
0.452	3	0.4140
	3.5	0.4600
	4	0.5520
	4.5	0.5750
0.214	3	0.3910
	3.5	0.4370
	4	0.4370
	4.5	0.4600



Gambar 4.16 Perbandingan nilai beban maksimum ( $Q_u$ ) dengan variasi panjang terhadap lokasi *pile*

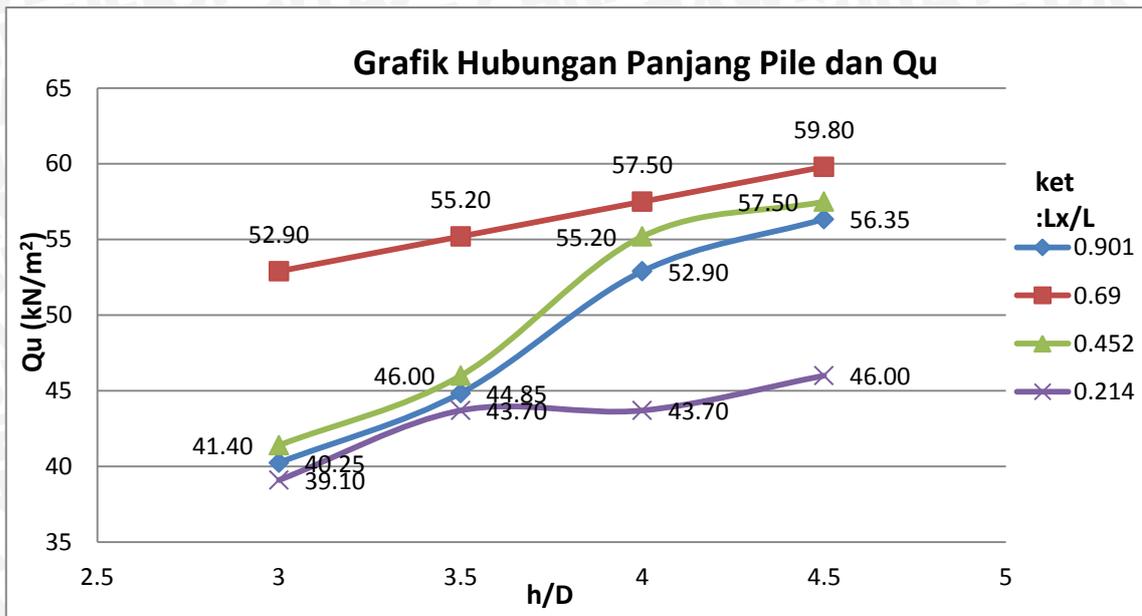
Berdasarkan hasil diatas dapat dilihat bahwa lokasi optimum terletak di lereng dengan penempatan *pile* lokasi tengah atas ( $L_x/L=0,690$ ).

#### 4.4.2.2 Variasi Lokasi *Pile* Terhadap Panjang *Pile*

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan untuk variasi lokasi terhadap terhadap variasi panjang *pile*, maka didapatkan data beban maksimum seperti pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Beban Maksimum Untuk Setiap Variasi Lokasi *Pile*

Panjang <i>pile</i> ( $h/D_2$ )	$L_x/L$	$Q_u$ ( $kg/cm^2$ )
3	0.905	0.4025
	0.69	0.5060
	0.452	0.4140
	0.214	0.3910
3.5	0.905	0.4485
	0.69	0.5520
	0.452	0.4600
	0.214	0.4370
4	0.905	0.5290
	0.69	0.5750
	0.452	0.5520
	0.214	0.4370
4.5	0.905	0.5290
	0.69	0.5750
	0.452	0.5520
	0.214	0.4370



Gambar 4.17 Perbandingan nilai beban maksimum ( $Q_u$ ) dengan variasi lokasi *pile* terhadap panjang *pile*

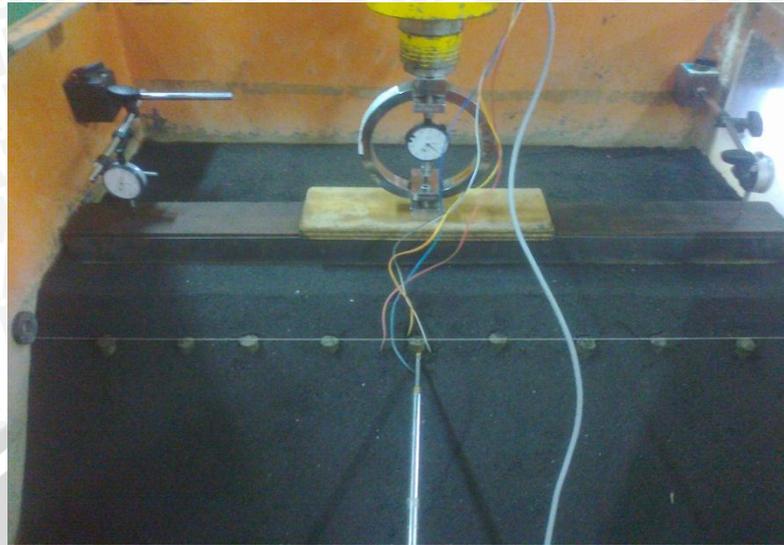
Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa panjang maksimum yang dapat memberikan nilai daya dukung yang paling tinggi adalah pada panjang 45 cm ( $h/D_2=4.5$ ).

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Ananda (2011) pada kepadatan relatif 74 % menunjukkan bahwa hasil lokasi terbaik untuk menahan beban runtuh adalah lokasi tengah atas dan panjang optimum yang dihasilkan juga menunjukkan hasil sebesar 45 cm. Dengan kata lain pengaruh kepadatan relatif yang diperbesar tidak merubah lokasi dan panjang optimum perkuatan *pile*.

#### 4.5 Analisis Stabilitas Lereng (*Slope Stability*)

##### 4.5.1 Analisis Penurunan tanah

Analisis penurunan tanah ditujukan untuk mengetahui hubungan atau pengaruh antara beban runtuh maksimum yang terjadi dengan penurunan tanah yang ada. Analisis dilakukan dengan cara membaca *dial gauge* yang terpasang di kanan kiri pondasi per satuan beban. Gambar 4.18 berikut ini menunjukkan posisi *dial gauge* pada saat pembebanan di lapangan.

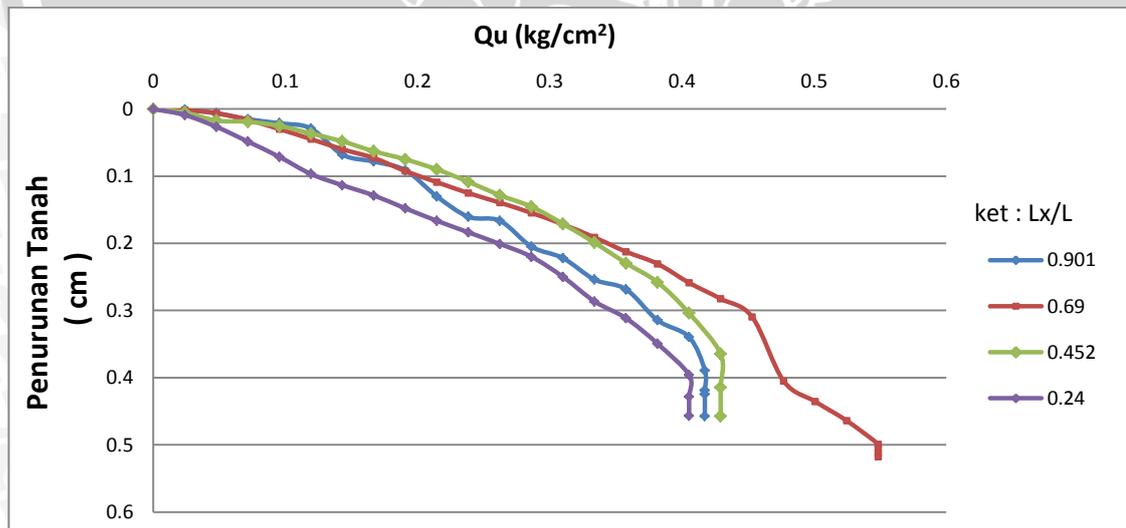


Gambar 4.18 letak pemasangan *dial gauge* pada pondasi

#### 4.5.1.1 Penurunan Tanah pada Variasi Panjang *Pile* Terhadap Lokasi *Pile*

##### a. Panjang 30 cm ( $h/D_2=3$ )

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di lapangan, nilai penurunan tanah dapat dibaca dengan menggunakan *dial gauge* yang terpasang dikedua sisi pondasi. Hasil pembacaan untuk variasi panjang *pile* 30 cm ini dapat dilihat pada Gambar 4.19 berikut ini.



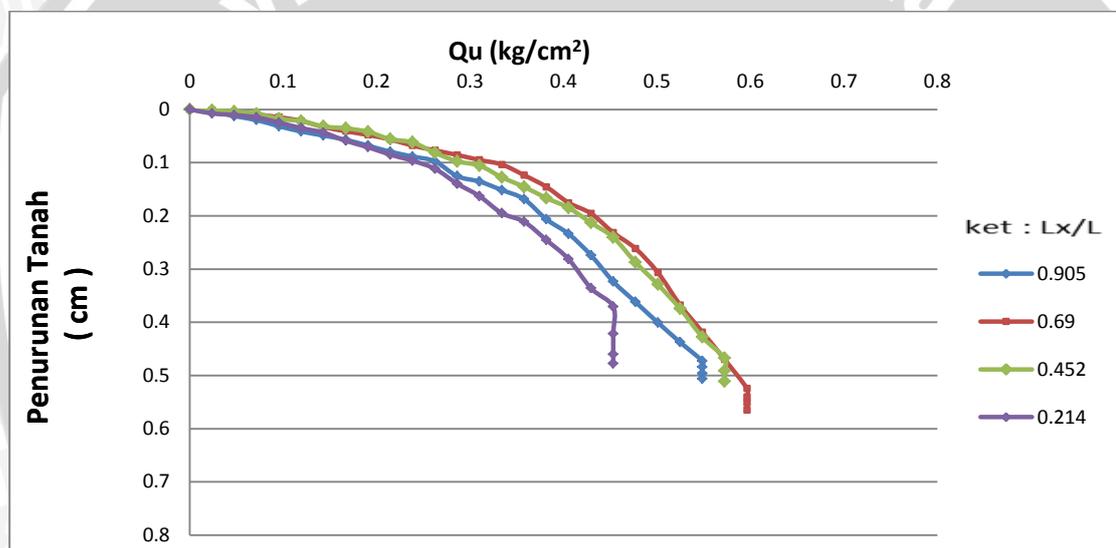
Gambar 4.19 Grafik hubungan  $Q_u$  dan penurunan tanah pada variasi  $h/D_2=3$

Pada lereng tanpa perkuatan, penurunan tanah pada beban runtuh maksimum adalah sebesar 0,380 cm.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat nilai penurunan terbesar terjadi pada variasi perkuatan di lokasi tengah atas yaitu sebesar 0.499. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 10. Sedangkan nilai penurunan terendah terjadi pada variasi lokasi bawah. Dari grafik dapat diketahui bahwa lokasi tengah atas merupakan lokasi optimum.

#### b. Panjang pile 35 cm ( $h/D_2 = 3,5$ )

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di lapangan, nilai penurunan tanah dapat dibaca dengan menggunakan dial gauge yang terpasang di kedua sisi pondasi. Hasil pembacaan untuk variasi panjang pile 35 cm ini dapat dilihat pada Gambar 4.20 berikut ini.



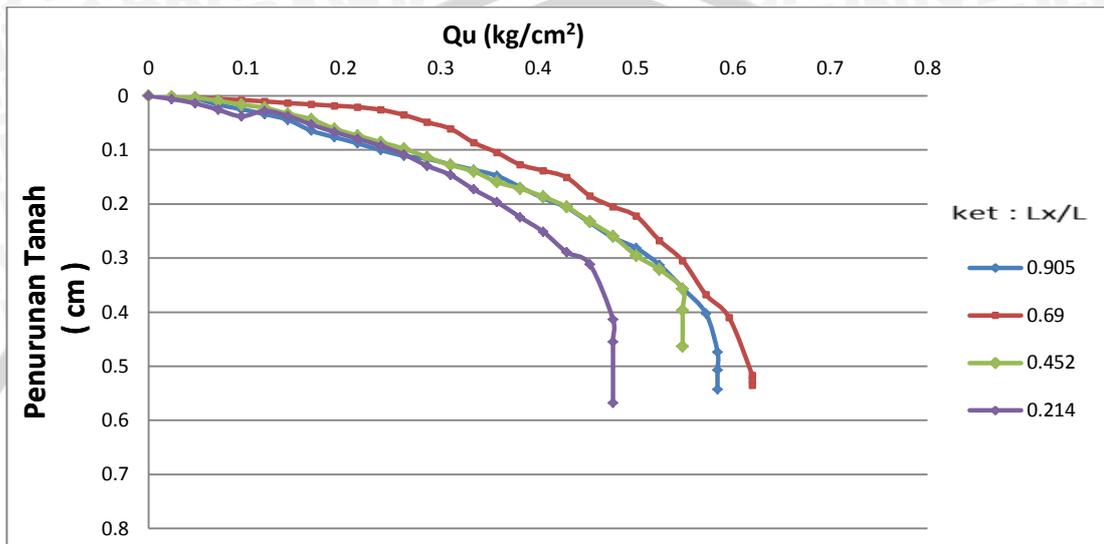
Gambar 4.20 Grafik hubungan  $Q_u$  dan penurunan tanah pada variasi  $h/D_2=3,5$

Pada lereng tanpa perkuatan, penurunan tanah pada beban runtuh maksimum adalah sebesar 0,380 cm. Sesangkan untuk *pile* di lokasi bawah ( $L_x/L = 0,214$ ) penurunan tanah pada saat beban runtuh adalah 0,501 cm, lokasi tengah ( $L_x/L = 0,452$ ) penurunannya 0,289 cm, lokasi tengah atas ( $L_x/L = 0,690$ ) penurutan tanahnya 0,494 cm dan lokasi atas ( $L_x/L = 0,905$ ) penurunannya sebesar 0,395 cm.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat bahwa lokasi pile optimum adalah tengah atas. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 10

### c. Panjang *pile* 40 cm ( $h/D_2=4$ )

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di lapangan, nilai penurunan tanah dapat dibaca dengan menggunakan *dial gauge* yang terpasang dikedua sisi pondasi. Hasil pembacaan untuk variasi panjang 40 cm ini dapat dilihat pada Gambar 4.21 berikut ini.

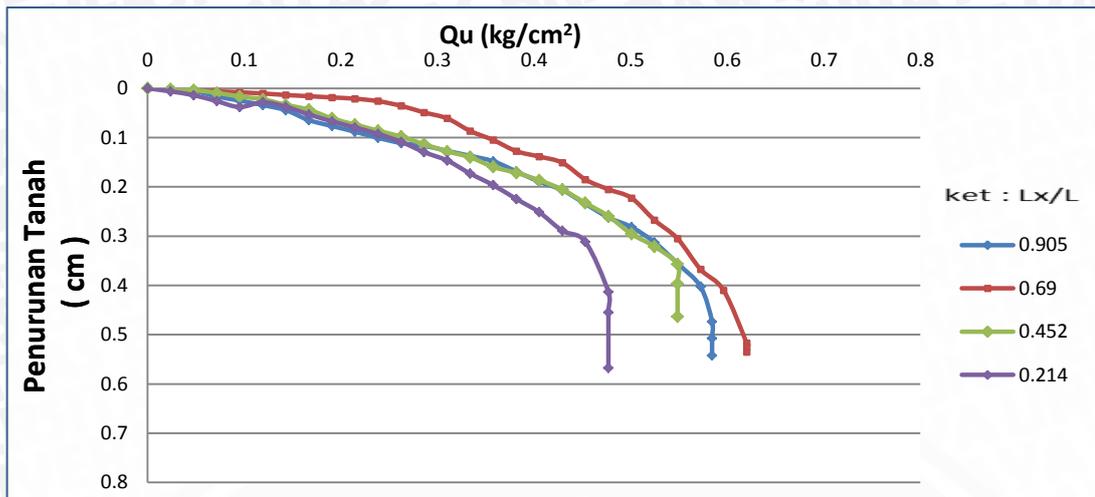


Gambar 4.21 Grafik hubungan  $Q_u$  dan penurunan tanah pada variasi  $h/D_2=4$

Pada lereng tanpa perkuatan, penurunan tanah pada beban runtuh maksimum adalah sebesar 0,380 cm. Sedangkan untuk lereng yang telah diberikan perkuatan *pile*, penurunan tanah pada pondasi cenderung semakin besar. Untuk *pile* di lokasi bawah ( $L_x/L = 0,214$ ) penurunan tanah pada saat beban runtuh adalah 0,422 cm, lokasi tengah ( $L_x/L = 0,452$ ) penurunannya 0,468 cm, lokasi tengah atas ( $L_x/L = 0,690$ ) penurunannya 0,525 cm dan lokasi atas ( $L_x/L = 0,905$ ) penurunannya sebesar 0,473 cm. Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa lokasi *pile* optimum adalah tengah atas

### d. Panjang *pile* 45 cm ( $h/D_2=4.5$ )

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di lapangan, nilai penurunan tanah dapat dibaca dengan menggunakan dial gauge yang terpasang dikedua sisi pondasi. Hasil pembacaan untuk variasi panjang *pile* 45 cm ini dapat dilihat pada Gambar 4.22 berikut ini.

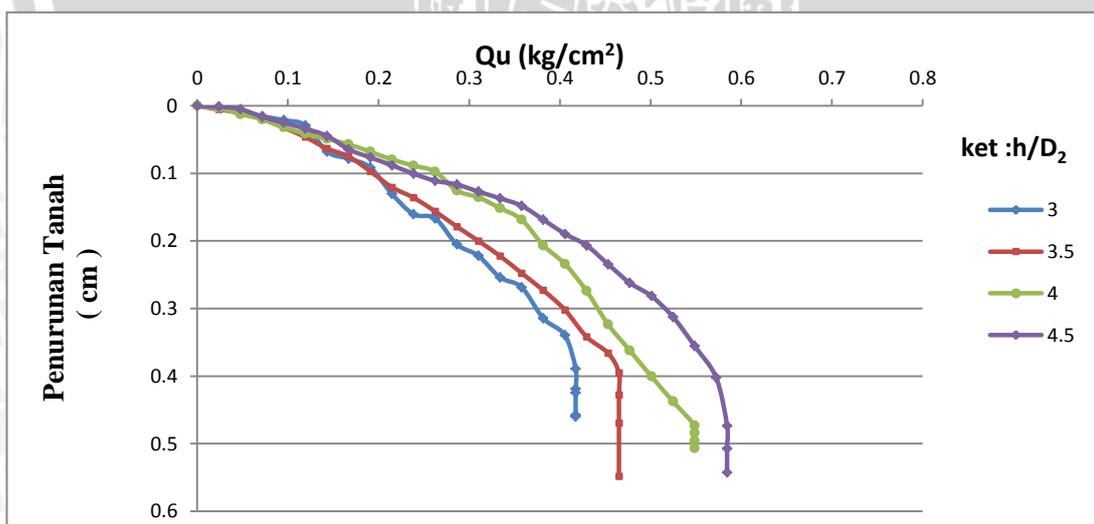


Gambar 4.22 Grafik hubungan  $Q_u$  dan penurunan tanah pada variasi  $h/D_2=4.5$

Pada lereng tanpa perkuatan, penurunan tanah pada beban runtuh maksimum adalah sebesar 0,380 cm. Sedangkan untuk *pile* di lokasi bawah ( $L_x/L = 0,214$ ) penurunan tanah pada saat beban runtuh adalah 0,414cm, lokasi tengah ( $L_x/L = 0,452$ ) penurunannya 0,463 cm, lokasi tengah atas ( $L_x/L = 0,690$ ) penurunan tanahnya 0,517 cm dan lokasi atas ( $L_x/L = 0,905$ ) penurunannya sebesar 0,474 cm. Dari grafik dapat dilihat bahwa penurunan terbesar adalah pada posisi tengah Penempatan *Pile* terhadap

#### 4.5.1.2 Penurunan Tanah pada Variasi Panjang *Pile* Terhadap Lokasi *Pile*

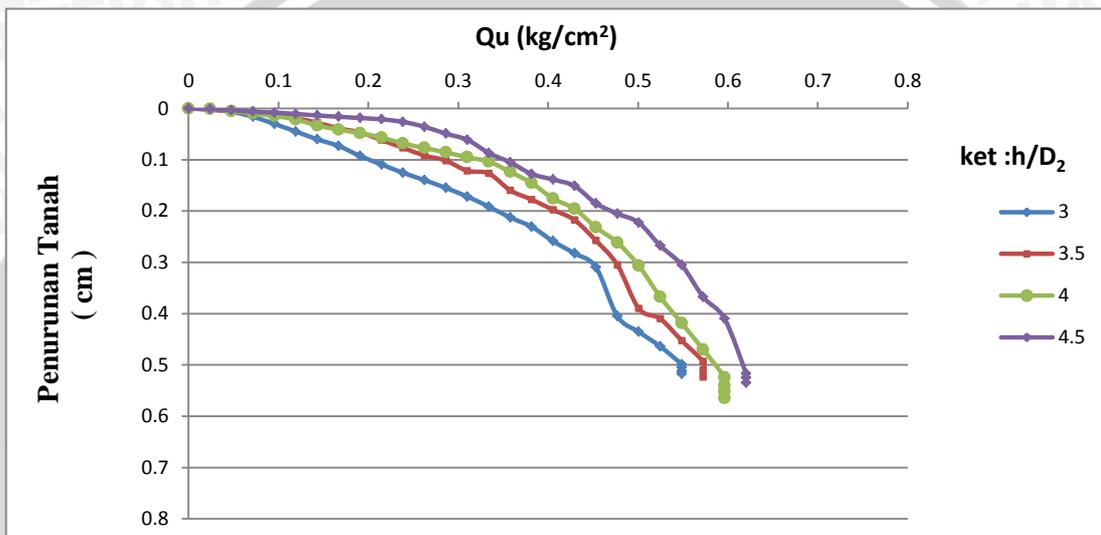
##### a. Lokasi Atas ( $L_x/L = 0.905$ )



Gambar 4.23 Grafik hubungan  $Q_u$  dan penurunan tanah pada variasi Lokasi Atas ( $L_x/L = 0.905$ )

Pada lereng tanpa perkuatan, penurunan tanah pada beban runtuh maksimum adalah sebesar 0,380 cm. Sedangkan untuk *pile* panjang 30 ( $h./D_2 = 3$ ) penurunan tanah pada saat beban runtuh adalah 0,389 cm, panjang 35 ( $h./D_2 = 3.5$ ) penurunannya 0,395 cm, Panjang 40 cm ( $h./D_2 = 4$ ) penurunan tanahnya 0,473 cm dan Panjang 45 cm ( $h./D_2 = 4.5$ ) penurunannya sebesar 0,474 cm. . Dari grafik di bawah ini dapat diketahui bahwa panjang *pile* optimum adalah 45 cm.

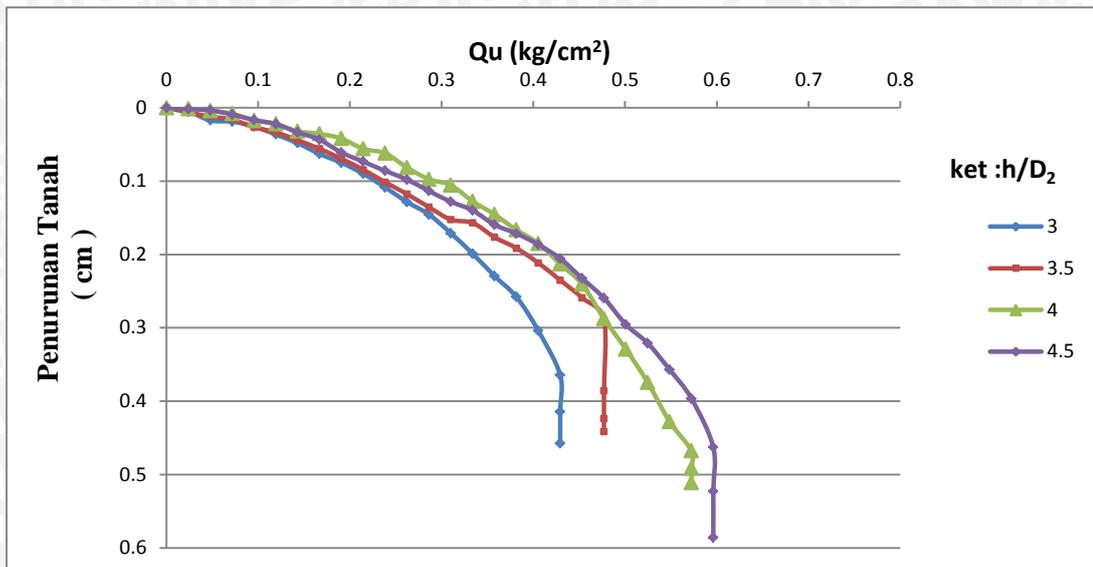
#### b. Lokasi Tengah Atas ( $Lx/L = 0,69$ )



Gambar 4.24 Grafik hubungan  $Q_u$  dan penurunan tanah pada variasi Lokasi Tengah Atas ( $Lx/L = 0,69$ )

Pada lereng tanpa perkuatan, penurunan tanah pada beban runtuh maksimum adalah sebesar 0,380 cm. Sedangkan untuk *pile* panjang 30 ( $h./D_2 = 3$ ) penurunan tanah pada saat beban runtuh adalah 0,3499 cm, panjang 35 ( $h./D_2 = 3.5$ ) penurunannya 0,494cm, Panjang 40 cm ( $h./D_2 = 4$ ) penurunan tanahnya 0,525 cm dan Panjang 45 cm ( $h./D_2 = 4.5$ ) penurunannya sebesar 0,517 cm. . Dari grafik dapat diketahui bahwa panjang *pile* optimum adalah 45 cm.

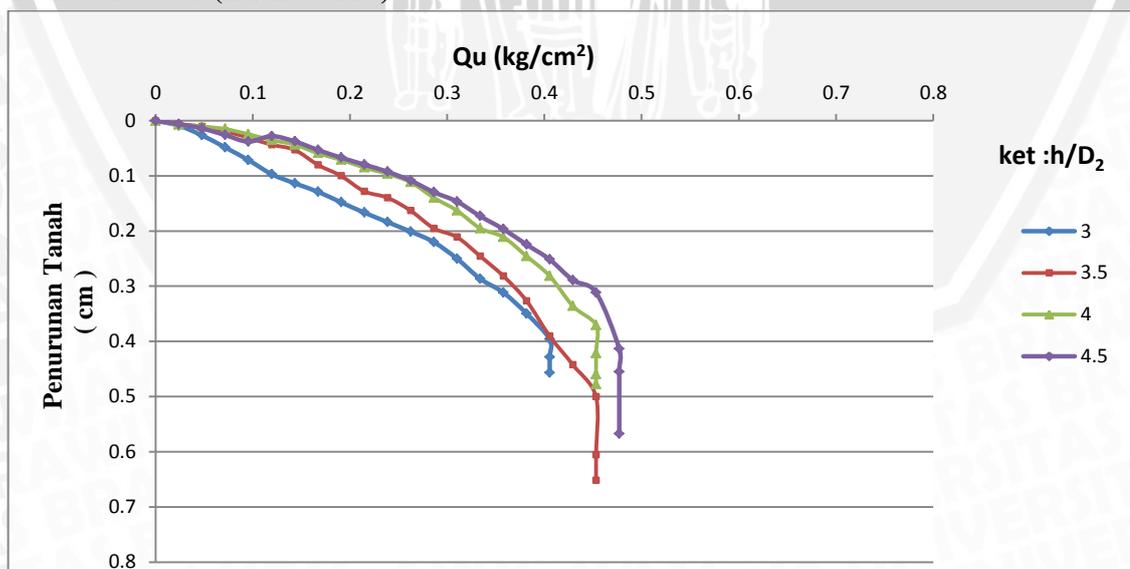
### b. Lokasi Tengah ( $L_x/L = 0,452$ )



Gambar 4.25 Grafik hubungan  $Q_u$  dan penurunan tanah pada variasi Lokasi Tengah ( $L_x/L = 0,452$ )

Pada lereng tanpa perkuatan, penurunan tanah pada beban runtuh maksimum adalah sebesar 0,380 cm. Sedangkan untuk *pile* panjang 30 ( $h/D_2 = 3$ ) penurunan tanah pada saat beban runtuh adalah 0,3645 cm, panjang 35 ( $h/D_2 = 3.5$ ) penurunannya 0,289 cm, Panjang 40 cm ( $h/D_2 = 4$ ) penurunannya 0,468 cm dan Panjang 45 cm ( $h/D_2 = 4.5$ ) penurunannya sebesar 0,463 cm. Dari grafik dapat diketahui bahwa panjang *pile* optimum adalah 45 cm

### d. Lokasi Bawah ( $L_x/L=0.214$ )



Gambar 4.26 Grafik hubungan  $Q_u$  dan penurunan tanah pada variasi Lokasi Tengah ( $L_x/L = 0,214$ )

Pada lereng tanpa perkuatan, penurunan tanah pada beban runtuh maksimum adalah sebesar 0,380 cm. Sedangkan untuk *pile* panjang 30 cm ( $h/D_2 = 3$ ) penurunan tanah pada saat beban runtuh adalah 0,396 cm, panjang 35cm ( $h/D_2 = 3.5$ ) penurunannya 0,5005 cm, Panjang 40 cm ( $h/D_2 = 4$ ) penurunannya 0,3705 cm dan Panjang 45 cm ( $h/D_2 = 4.5$ ) penurunannya sebesar 0,414 cm. Dari grafik dapat diketahui bahwa panjang *pile* optimum adalah 45 cm

#### 4.5.2 Analisis Faktor *Bearing Capacity Improvement* (BCI)

##### 4.5.2.1 Perbandingan BCI pada Variasi Lokasi *Pile* Terhadap Panjang *Pile*

Faktor *Bearing Capacity Improvement* (BCI) adalah suatu faktor perbandingan antara beban runtuh maksimum saat diberi perkuatan *pile* dengan beban runtuh maksimum tanpa perkuatan *pile*. Untuk melihat pengaruh dari panjang *pile* pada BCI maka dapat dilihat dari grafik. Berdasarkan analisis beban maksimum yang dilakukan untuk setiap masing-masing variasi panjang dan lokasi perkuatan, maka didapatkan nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI) seperti pada Tabel 4.12.

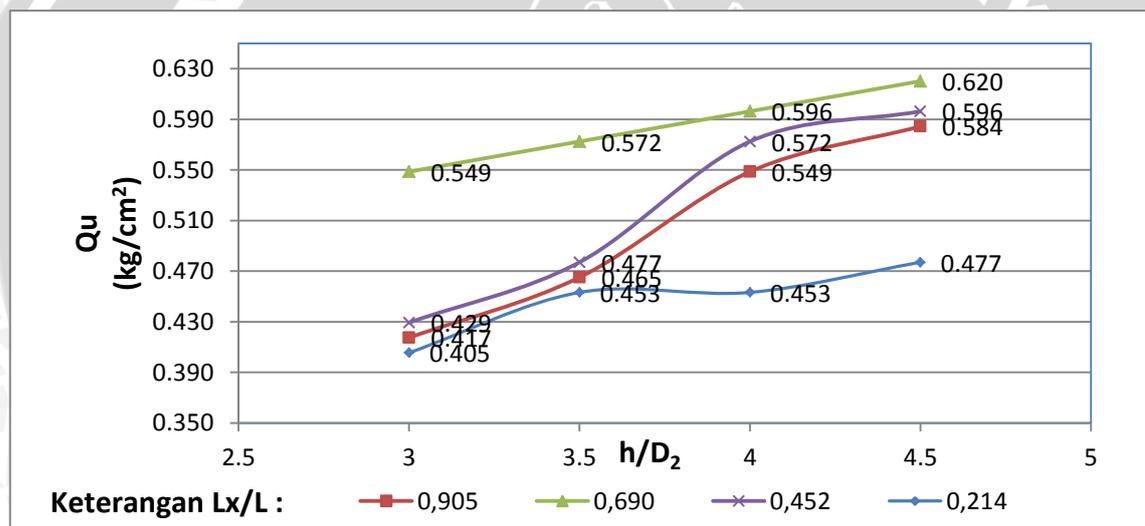
Tabel 4.12 Nilai BCI untuk tiap variasi panjang *pile* terhadap lokasi *pile*

$h/D_2$	$L_x/L$	$Q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	BCI
3	0,905 (Atas)	0.417	1.17
	0,69 (Tengah Atas)	0.549	1.53
	0,452 (Tengah)	0.429	1.20
	0,214 (Bawah)	0.405	1.13
3.5	0,905 (Atas)	0.465	1.30
	0,69 (Tengah Atas)	0.572	1.60
	0,452 (Tengah)	0.477	1.33
	0,214 (Bawah)	0.453	1.27
4	0,905 (Atas)	0.549	1.53
	0,69 (Tengah Atas)	0.596	1.67
	0,452 (Tengah)	0.572	1.60
	0,214 (Bawah)	0.453	1.27

Tabel 4.12 Nilai BCI untuk tiap variasi panjang *pile* terhadap lokasi *pile* (lanjutan)

$h/D_2$	$L_x/L$	$Q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	BCI
4.5	0,905 (Atas)	0.584	1.63
	0,69 (Tengah Atas)	0.620	1.73
	0,452 (Tengah)	0.596	1.67
	0,214 (Bawah)	0.477	1.33

Dengan melihat tabel peningkatan BCI diatas, dapat dibandingkan nilai peningkatan BCI pada tiap variasi panjang *pile* dan lokasi perkuatan *pile*. Grafik perbandingan BCI tiap variasi perkuatan dapat dilihat pada Gambar 4.28 berikut.



Gambar 4.27 Perbandingan peningkatan BCI untuk setiap variasi panjang *pile* terhadap variasi lokasi perkuatan

Dengan melihat hasil dari Gambar 4.28 diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai BCI terbesar adalah pada variasi lokasi tengah atas dan panjang pile sebesar 45 cm ( $h/D_2=4.5$ ). Berdasarkan Gambar 4.28 menunjukkan variasi BCI dengan berbagai variasi panjang *pile* dengan lokasi yang berbeda dimana peningkatan secara signifikan terjadi ketika lereng diberi perkuatan *pile* dengan panjang 45 cm pada lokasi tengah atas dan tengah. Variasi tersebut dapat memberi faktor BCI hingga 1,73 kali lebih baik daripada lereng tanpa perkuatan.

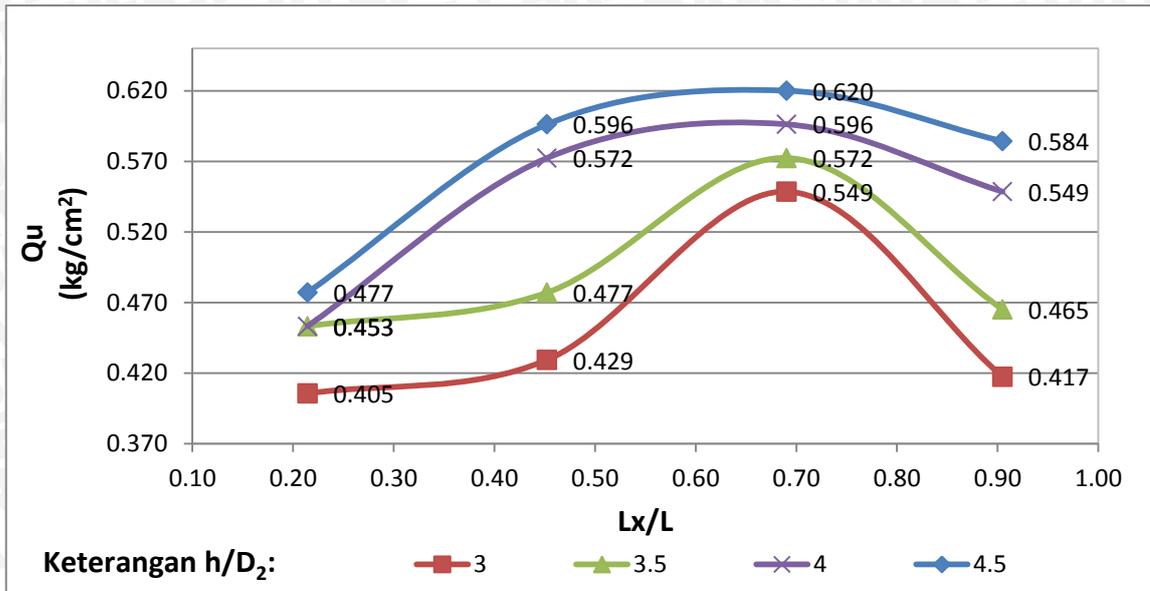
#### 4.5.2.2 Perbandingan BCI pada Variasi Panjang *Pile* Terhadap Lokasi *Pile*

Berdasarkan analisis beban maksimum yang dilakukan untuk setiap masing-masing variasi lokasi perkuatan dan panjang *pile*, maka didapatkan nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI) seperti pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Nilai BCI Untuk Tiap Variasi Lokasi *Pile* Terhadap Panjang *Pile*

Lx/L	h/D <sub>2</sub>	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	BCI
0.905	3 (30 cm)	0.417	1.17
	3.5 (35 cm)	0.465	1.30
	4 (40 cm)	0.549	1.53
	4.5 (45 cm)	0.584	1.63
0.69	3 (30 cm)	0.549	1.53
	3.5 (35 cm)	0.572	1.60
	4 (40 cm)	0.596	1.67
	4.5 (45 cm)	0.620	1.73
0.452	3 (30 cm)	0.429	1.20
	3.5 (35 cm)	0.477	1.33
	4 (40 cm)	0.572	1.60
	4.5 (45 cm)	0.596	1.67
0.214	3 (30 cm)	0.405	1.13
	3.5 (35 cm)	0.453	1.27
	4 (40 cm)	0.453	1.27
	4.5 (45 cm)	0.477	1.33

Dengan melihat tabel peningkatan BCI diatas, dapat dibandingkan nilai peningkatan BCI pada tiap variasi lokasi perkuatan *pile* dan panjang *pile*. Grafik perbandingan BCI tiap variasi perkuatan dapat dilihat pada Gambar 4.28 berikut.



Gambar 4.28 Perbandingan peningkatan BCI untuk setiap variasi lokasi perkuatan *pile* terhadap variasi panjang *pile*

Dengan melihat hasil dari Gambar 4.28 diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai BCI terbesar adalah pada variasi panjang 45 cm ( $h/D_2 = 4.5$ ) di lokasi tengah atas. Berdasarkan Gambar 4.29 menunjukkan variasi BCI dengan berbagai variasi lokasi perkuatan *pile* dengan panjang *pile* yang berbeda dimana peningkatan secara signifikan terjadi ketika lereng diberi perkuatan *pile* dengan panjang 45 cm pada lokasi tengah atas. Variasi tersebut dapat memberi faktor BCI hingga 1,73 kali lebih baik daripada lereng tanpa perkuatan.

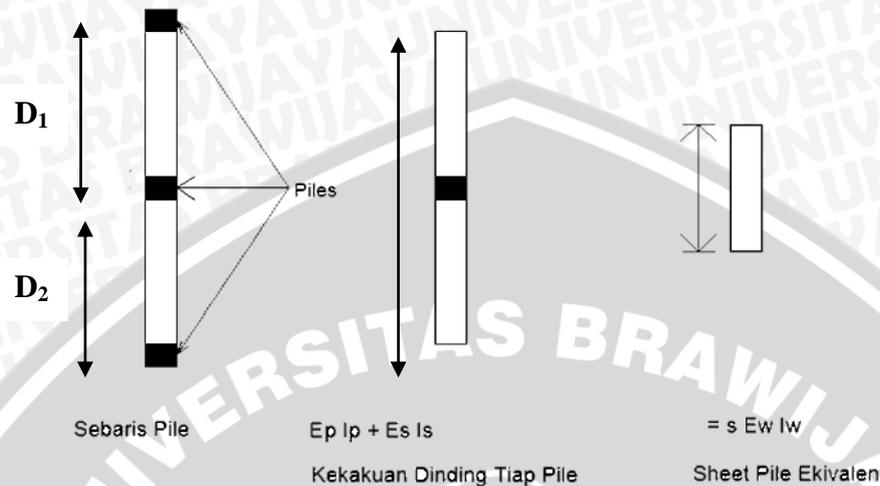
### 4.5.3 Analisis Faktor Keamanan Lereng (SF) dengan Program PLAXIS 8.2

#### 4.5.3.1 Nilai Transformasi EI dan EA Tanah untuk Kondisi 2D

Analisis dalam penelitian ini menggunakan *Finite Element Method* (FEM) untuk menghitung stabilitas lereng. Asumsi yang dibutuhkan pada metode ini lebih sedikit dibandingkan dengan metode konvensional, sehingga koefisien keamanan minimum lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan metode *finite difference*. Dalam metode ini, pada analisa sistem interaksi lereng dengan perkuatan *pile*, *pile* biasanya dianggap menjadi elastis, yang mengarahkan pada kenyataan bahwa hanya deformasi dan gaya dalam yang dapat dianalisa sedangkan sistem stabilitas dan keruntuhan lereng tidak dapat dianalisis.

Pada PLAXIS yang digunakan adalah PLAXIS 2D, sehingga untuk mengetahui pengaruh jarak dan diameter *pile* tidak bisa langsung memasukkannya ke dalam

material *pile*. Pengaruh jarak dan diameter dihitung berdasarkan transformasi nilai EI dan EA baik *pile* maupun tanah ke dalam bentuk EI ekuivalen terlebih dahulu seperti Gambar 4.25.



Gambar 4.29 Ekuivalensi nilai EI *pile* dan tanah

$d$  = diameter *pile*

$D_1$  = jarak pusat ke pusat *pile*

$D_2$  = jarak tepi ke tepi *pile*

Karena pile berbentuk lingkaran sehingga bentuk lingkaran ditransformasi terlebih dahulu ke bentuk persegi. Jadi diameternya menjadi :

$$D = \frac{1}{2} \cdot d \cdot \sqrt{\pi}$$

Untuk mentransformasikan nilai EI dan EA, maka digunakan persamaan berikut

:

$$I_{\text{tanah}} = \frac{1}{12} \cdot D_2 \cdot D^3$$

$$I_{\text{pile}} = \frac{1}{12} D^4$$

$$I_{\text{eq}} = \frac{1}{12} \cdot D_1 \cdot D^3$$

$$EI_{\text{eq}} = (EI_{\text{tanah}} + EI_{\text{pile}}) / D_1$$

$$EA_{\text{eq}} = E_{\text{eq}} \times D \times D_1$$

dimana  $D_1$  adalah jarak pusat ke pusat *pile* dan  $D$  adalah diameter *pile*. Pada penelitian ini nilai  $E$  tanah diambil sebesar  $1718 \text{ kN/m}^2$  dan  $E$  *pile* sebesar  $66752933 \text{ kN/m}^2$  berdasarkan hasil uji elastisitas *pile*. Nilai EA dan EI ekuivalen dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.14 Perhitungan EI dan EA ekivalen

Diameter (m)	Jarak antar (m)	E eq (kN/m <sup>2</sup> )	I eq (m <sup>4</sup> )	EA eq (kN)	EI eq (kNm <sup>2</sup> )
0,0254	0,1	3,05,E+09	2,14,E-08	1,501,E+06	63.74

Berdasarkan pengujian dasar dan pengujian lereng yang telah dilakukandi laboratorium, maka melalui program plaxis v.8.2 dapat dilakukan analisis perubahan *Safety Factor* yang terjadi untuk setiap variasi kondisi lereng. Adapun kondisi-kondisi lereng yang digunakan dalam analisis ini antara lain adalah sebagai berikut:

- Kondisi 1 : Kondisi lereng tanpa beban luar dan tanpa perkuatan tiang
- Kondisi 2 : Kondisi lereng tanpa beban luar dan dengan perkuatan tiang
- Kondisi 3 : Kondisi lereng dengan beban luar dan tanpa perkuatan tiang
- Kondisi 4 : Kondisi lereng dengan beban luar dan dengan perkuatan tiang

Dengan membandingkan tiap kondisi maka akan dapat diketahui bagaimana pengaruh beban luar dan pengaruh perkuatan tiang terhadap peningkatan nilai *Safety Factor* pada lereng untuk tiap variabel yang diuji cobakan. Untuk mengetahui besarnya perubahan *Safety Factor* maka ditetapkan beban luar yang bekerja adalah beban runtuh percobaan pembebanan lereng tanpa perkuatan yaitu sebesar 15 strip pembacaan atau kurang lebih sama dengan 36 KN.

Kondisi yang dibandingkan antara lain :

- a. Kondisi 1 dan 2

Pada kondisi ini, perbandingan dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh tiang terhadap kekuatan lereng bila tidak ada beban luar yang bekerja.

- b. Kondisi 1 dan 3

Pada kondisi ini, perbandingan dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh sebelum dan sesudah adanya penambahan beban luar terhadap kekuatan lereng tanpa perkuatan.

- c. Kondisi 2 dan 4

Pada kondisi ini, perbandingan dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan *Safety Factor* pada lereng yang telah diberikan perkuatan tiang sebelum dan setelah penambahan beban.

- d. Kondisi 3 dan 4

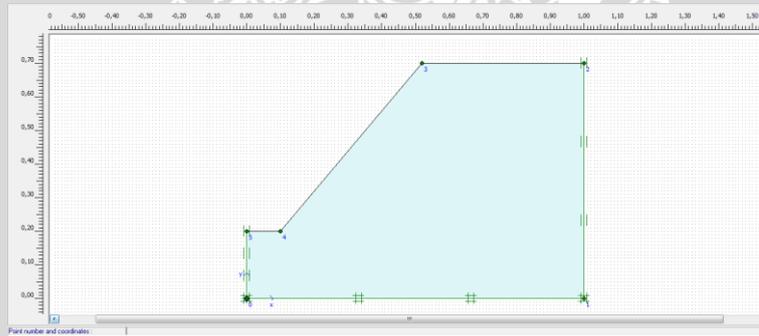
Pada kondisi ini, perbandingan dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh kekuatan tiang pada lereng yang telah diberikan penambahan beban luar.

Berikut beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan *Finite Element Method* menggunakan program plaxis v.8.2 dapat dilihat pada Tabel 4.15.

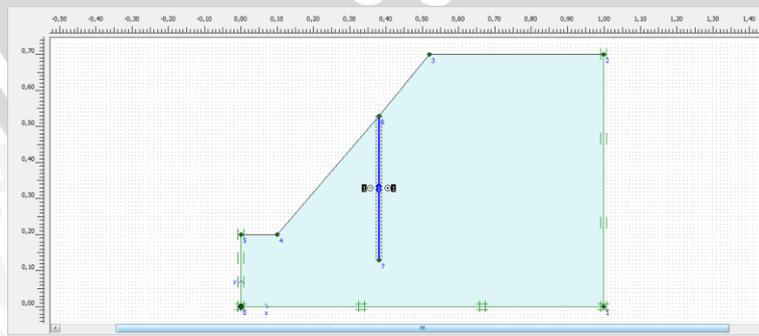
Tabel 4.15 Parameter input material tanah pada program plaxis v.8.2

Parameter	Satuan	Nilai
Perilaku tanah	-	Drained
Cohesion ( $c$ )	$\text{kN/m}^3$	0,6
Sudut geser dalam ( $\phi$ )	Derajat	38,6
Berat isi kering tanah ( $\gamma_d$ )	$\text{kN/m}^3$	16,1
Berat isi jenuh tanah ( $\gamma_s$ )	$\text{kN/m}^3$	18

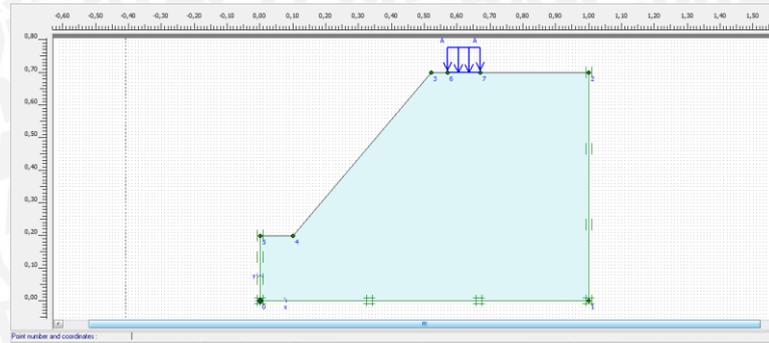
Adapun beberapa kondisi yang diasumsikan pada analisis plaxis v.8.2 dapat dilihat pada Gambar 4.30a, Gambar 4.30b, Gambar 4.30c, dan Gambar 4.30d berikut.



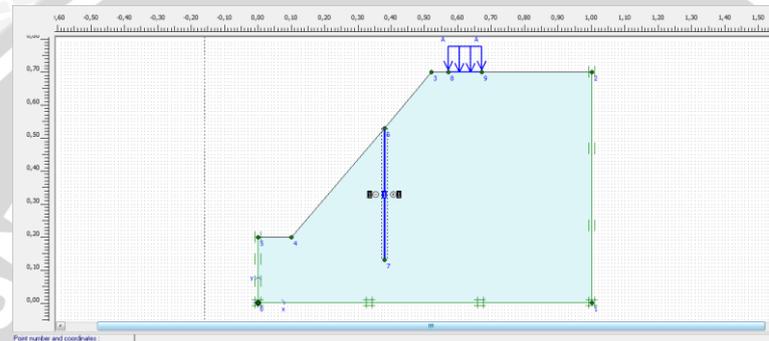
Gambar 4.30a Kondisi 1 lereng (tanpa perkuatan dan tanpa beban luar)



Gambar 4.30b Kondisi 2 lereng (dengan perkuatan dan tanpa beban luar)



Gambar 4.30c Kondisi 3 lereng (tanpa perkuatan dan dengan beban luar)



Gambar 4.30 d Kondisi 4 lereng (tanpa perkuatan dan dengan beban luar)

#### 4.5.3.2 Faktor Keamanan pada Variasi Panjang *Pile* Terhadap Lokasi *Pile*

Untuk setiap kondisi, menghasilkan nilai angka keamanan yang berbeda yang dipengaruhi oleh variasi panjang maupun lokasi *pile*. Nilai *Safety Factor* (angka keamanan) dengan variasi panjang dan lokasi *pile* dapat dilihat pada tabel 4.16

Tabel 4.16 Nilai *Safety Factor* pada setiap kondisi untuk tiap variasi panjang *pile* terhadap lokasi *pile*

Lx/L	h/D <sub>2</sub>	SF				Rasio Peningkatan SF (%)
		Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4	
0,905 (Atas)	3	1,521	1.649	0,600	0.672	12
	3.5	1,521	1.702	0,600	0.682	13.6
	4	1,521	1.756	0,600	0.746	24.3
	4.5	1,521	1.784	0,600	0.785	30.8
0,69 (Tengah Atas)	3	1,521	1.667	0,600	0.719	19.8
	3.5	1,521	1.73	0,600	0.747	24.5
	4	1,521	1.819	0,600	0.75	25
	4.5	1,521	1.882	0,600	0.77	28.3

Tabel 4.16 Nilai *Safety Factor* pada setiap kondisi untuk tiap variasi panjang *pile* terhadap lokasi *pile* (lanjutan)

Lx/L	h/D <sub>2</sub>	SF				Rasio Peningkatan SF (%)
		Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4	
0,452 (Tengah)	3	1,521	1.787	0,600	0.715	19.2
	3.5	1,521	1.89	0,600	0.721	21.2
	4	1,521	1.993	0,600	0.724	21.67
	4.5	1,521	2.003	0,600	0.737	22.83
0,214 (bawah)	3	1,521	1.729	0,600	0.676	29.3
	3.5	1,521	1.729	0,600	0.676	29.3
	4	1,521	1.729	0,600	0.676	29.3
	4.5	1,521	1.729	0,600	0.676	29.3

Untuk safety factor (SF) sama dengan 1 (kritis), beban runtuh yang dapat dipikul adalah sebesar 16 KN. Hasil ini dianalisis dari grafik nilai SF untuk penambahan beban setiap 1 strip

Dari analisis yang dilakukan dengan program Plaxis v.8.2, dapat dibandingkan akibat yang terjadi karena pengaruh perkuatan dan beban sebagai berikut :

1. Perbandingan kondisi 1 dengan kondisi 2

Dalam perhitungan kondisi 1, hanya dimasukkan parameter berat sendiri tanah tanpa pengaruh perkuatan *pile* maupun pengaruh beban luar. Sedangkan pada kondisi 2 lereng diberikan perubahan yaitu penambahan *pile*. Hal ini dapat dilihat dari nilai SF yang bertambah setelah lereng mendapat perkuatan *pile* dengan nilai SF tertinggi pada *pile* dengan panjang *pile* 45 cm di lokasi tengah lereng.

2. Perbandingan kondisi 1 dengan kondisi 3

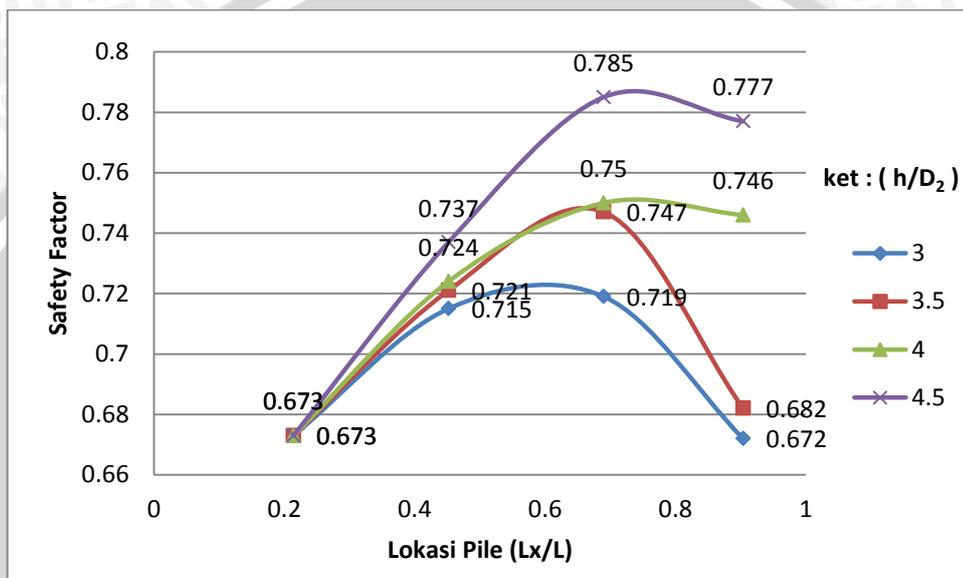
Dalam perhitungan kondisi 3, lereng diberikan penambahan beban luar sebesar 36 kN/m<sup>2</sup> tanpa perkuatan *pile*. Dari analisis dapat dilihat bahwa nilai *Safety Factor* lereng turun hingga mencapai kurang lebih 50 % dari nilai sebelum penambahan beban luar.

3. Perbandingan kondisi 2 dan kondisi 4

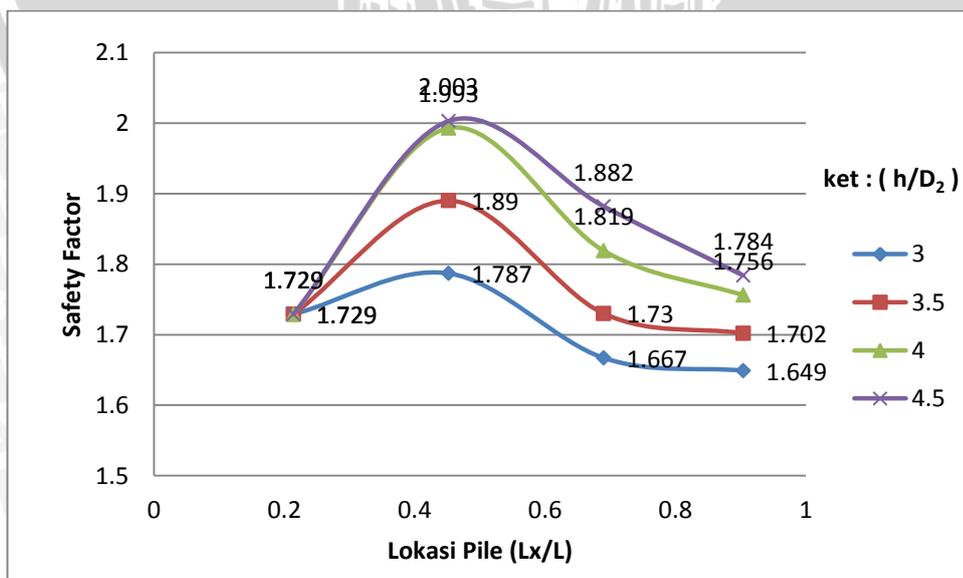
Dalam perhitungan kondisi 4, lereng mendapat penambahan beban luar dan perkuatan *pile*. Dari analisis yang dilakukan, nilai SF turun dari nilai sebelum diberikan penambahan beban luar.

4. Perbandingan kondisi 3 dan 4:

Dari perbandingan 2 kondisi ini, didapatkan rasio peningkatan angka keamanan lereng. Nilai SF tertinggi setelah diberikan perkuatan terjadi pada lereng yang telah diberikan perkuatan *pile* dengan panjang 45 cm di lokasi tengah atas lereng. Adapun grafik perbandingan nilai *Safety Factor* pada setiap variasi panjang *pile* terhadap lokasi dapat dijelaskan pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32.



Gambar 4.31 Perbandingan nilai *Safety Factor* pada variasi panjang *pile* untuk setiap lokasi perkuatan untuk kondisi 4



Gambar 4.32 Perbandingan nilai *Safety Factor* pada variasi panjang *pile* untuk setiap lokasi perkuatan untuk kondisi 2

Berdasarkan Gambar 4.31 dan 4.32, dapat dilihat bahwa lokasi optimum *pile* tidak sama untuk 2 kondisi yang berbeda. Untuk kondisi lereng dengan *pile* tanpa beban luar yang ditunjukkan pada gambar 4.31, terlihat bahwa lokasi optimum *pile* terletak pada lokasi tengah dengan panjang 45 cm. Sedangkan untuk kondisi 4 dimana lereng diperkuat dengan *pile* dan ditambah dengan beban luar, maka lokasi optimum yang didapatkan adalah pada tengah Atas

#### 4.6 Analisis Stabilitas *Pile*

##### 4.6.1 Analisis Gaya Lateral pada *Pile* (P(z))

Ito dan Matsui (1975) dalam jurnalnya pertama kali mengusulkan metode perhitungan analitis untuk memprediksi tekanan tanah pada kondisi batas untuk lereng yang diperkuat tiang dalam baris berdasarkan pada teori deformasi plastis, dan kemudian De Beer dan Carpentier, 1977 dalam Sayhan Firat (2009), mengembangkan persamaan tersebut sebagai persamaan komparasi dari Ito dan Matsui (1975). Pada pemodelan lereng tanah pasir ini yang memiliki nilai  $c = 0,004$  dan nilai  $\phi = 38,6^{\circ}$  dipasang sebaris *pile* dengan diameter 2,54 cm dan panjang 40 cm dengan panjang *pile* yang divariasikan berdasarkan desain awal yaitu 30 cm, 35 cm, 40 cm, dan 45 cm. Persamaan yang dipergunakan untuk menghitung gaya lateral tersebut untuk tanah pasir adalah seperti yang dirumuskan di bawah ini :

=

- a. Persamaan Ito dan Matsui (1975) untuk tanah pasir

$$p(z) = \frac{\gamma z}{N_{\phi}} \left\{ D_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{(N_{\phi}^{1/2} \tan \phi + N_{\phi} - 1)} \exp \left( \frac{D_1 - D_2}{D_2} N_{\phi} \tan \phi \tan \left( \frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right) - D_2 \right\} \quad (4-1)$$

- b. Persamaan De Beer dan carpentier untuk tanah pasir :

$$p(z) = \frac{\gamma z}{N_{\phi}} \left\{ 1 + \frac{\sin \phi}{2} N_{\phi} \right\} \times \left[ D_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{F_1(\phi)} e^{\frac{D_1 - D_2}{D_2} F_2(\phi)} - D_2 \right] \quad (4-2)$$

$$F_1(\phi) = \frac{N_{\phi}}{\tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)} (1 - \sin \phi) \tan \phi + N_{\phi} (1 - \sin \phi) - 1 \quad (4-2a)$$

$$F_2(\phi) = \frac{1 - \sin^2 \phi}{1 + \sin^2 \phi} \tan \phi \tan \left( \frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \quad (4-2b)$$

dimana :

- $D_1$  = jarak pusat ke pusat antar *pile*  
 $D_2$  = jarak antar tiang bagian dalam (jarak tepi ke tepi)  
 $\phi$  = sudut geser dalam tanah  
 $\gamma$  = berat isi tanah  
 $z$  = kedalaman *pile* yang terkena bidang longsor dari permukaan tanah  
 $N_\phi = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)$

#### 4.6.1.1 Gaya Lateral Tanah pada Variasi panjang *Pile* Terhadap Lokasi *Pile*

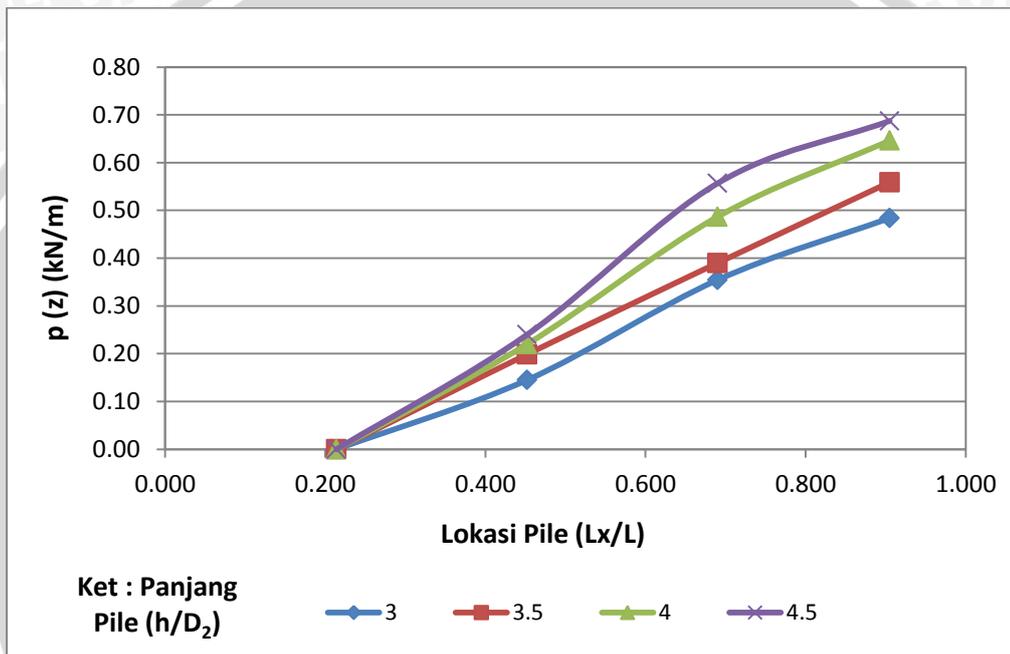
Untuk bisa menghitung gaya lateral berdasarkan rumus-rumus teoritis tersebut, maka sebelum itu harus diketahui terlebih dahulu pola kelongsoran dari lereng yang diperkuat dengan *pile*. Tinggi *pile* atau kedalaman *pile* yang masih dipengaruhi oleh bidang longsor dapat didapatkan dari analisis dengan menggunakan program plaxis v.8.2. Beban lateral yang diperoleh dari persamaan di atas untuk *pile* dengan variasi panjang *pile* terhadap lokasi, dapat dilihat pada Tabel 4.17 berikut.

Tabel 4.17 Perbandingan gaya lateral yang diterima *pile* pada variasi panjang *pile* terhadap lokasi *pile*

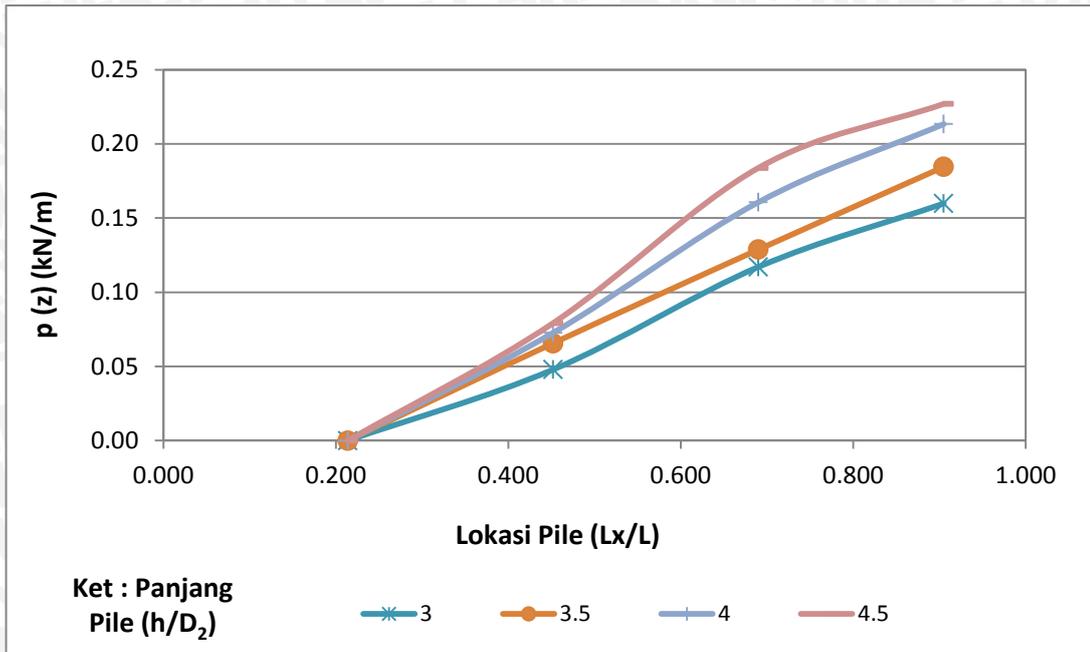
h/D <sub>2</sub>	Lx/L	Gaya lateral tanah ( p(z) ) ( kg/m)	
		Ito & matsui	De beer & Carpentier
2,953	0.905	27.89	9.21
	0.69	27.28	9.01
	0.452	16.47	5.44
	0.214	0.00	0.00
3,934	0.905	36.67	12.11
	0.69	27.95	9.23
	0.452	18.33	6.05
	0.214	0.00	0.00
4,921	0.905	39.34	12.99
	0.69	31.45	10.39
	0.452	28.00	9.25
	0.214	0.00	0.00

Tabel 4.17 Perbandingan gaya lateral yang diterima *pile* pada variasi panjang *pile* terhadap lokasi *pile*

h/D <sub>2</sub>	Lx/L	Gaya lateral tanah ( p(z) ) ( kg/m)	
		Ito & matsui	De beer & Carpentier
5,905	0.905	41.55	13.72
	0.69	37.90	12.52
	0.452	33.15	10.95
	0.214	0.00	0.00

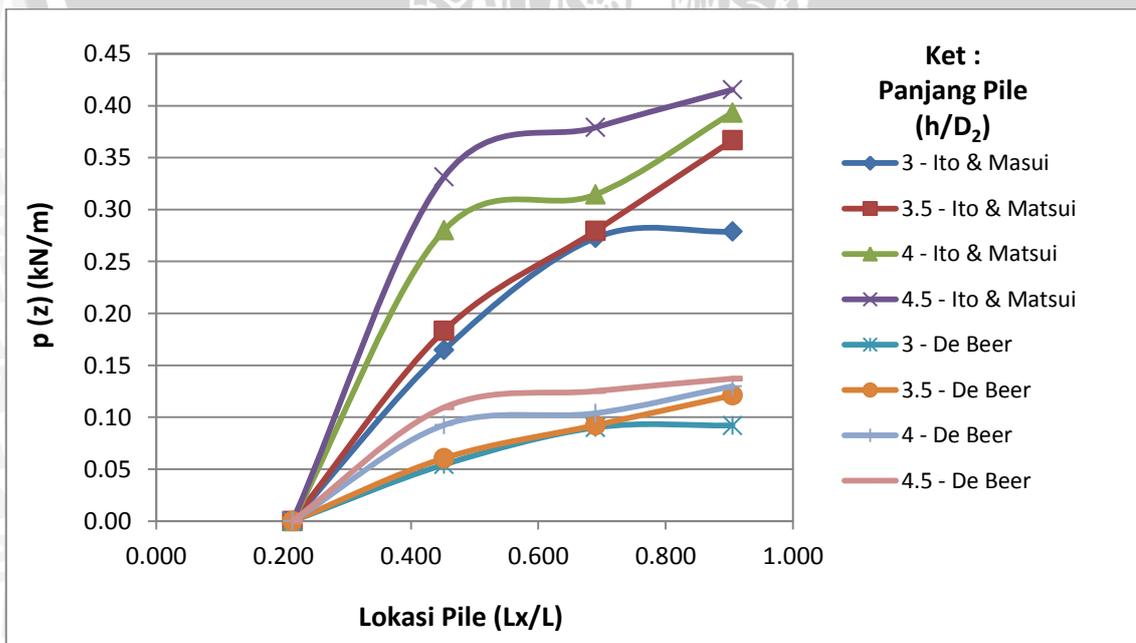


Gambar 4.33 Perbandingan nilai P(z) pada variasi panjang *pile* terhadap lokasi perkuatan dengan metode Ito & Matsui



Gambar 4.34 Perbandingan nilai P(z) pada variasi panjang *pile* terhadap lokasi perkuatan dengan metode De Beer & Carpentier

Berdasarkan Gambar 4.33 dan Gambar 4.34, dapat dilihat bahwa gaya lateral terbesar terjadi pada *pile* dengan panjang 45 cm cm pada lokasi yang cenderung mengarah ke atas dan tengah atas. Adapun nilai P(z) terbesar didapatkan bila analisis dilakukan dengan menggunakan metode Ito & Matsui, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.35



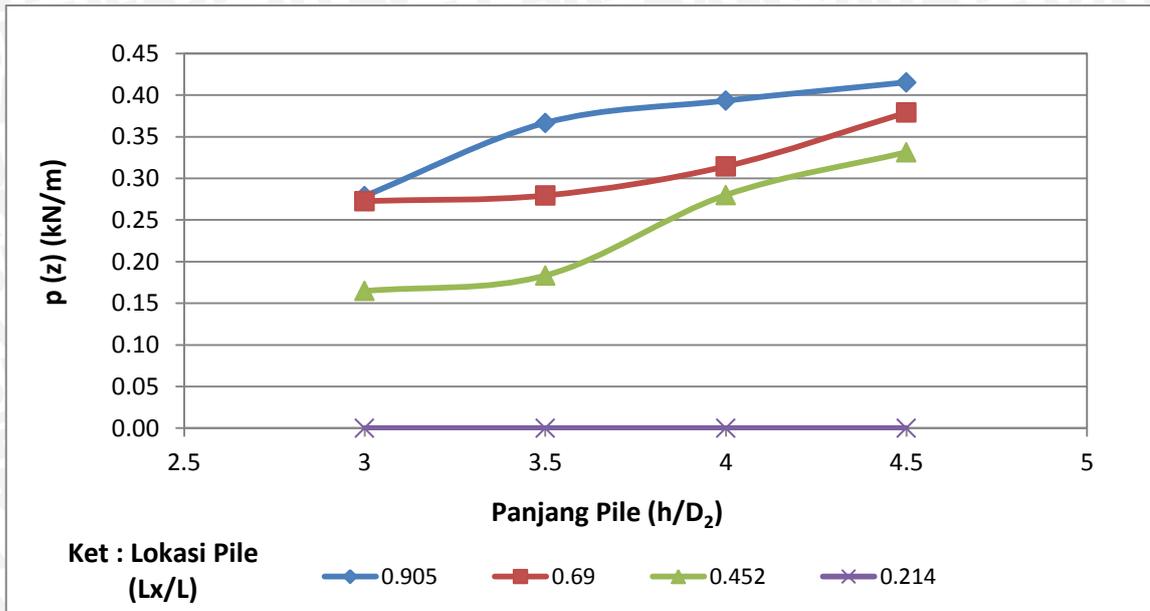
Gambar 4.35 Perbandingan nilai  $P(z)$  pada variasi panjang *pile* terhadap lokasi perkuatan dengan metode Ito & Matsui dan De Beer & Carpentier

#### 4.6.1.2 Gaya Lateral Tanah pada Variasi Lokasi *Pile* Terhadap Panjang *Pile*

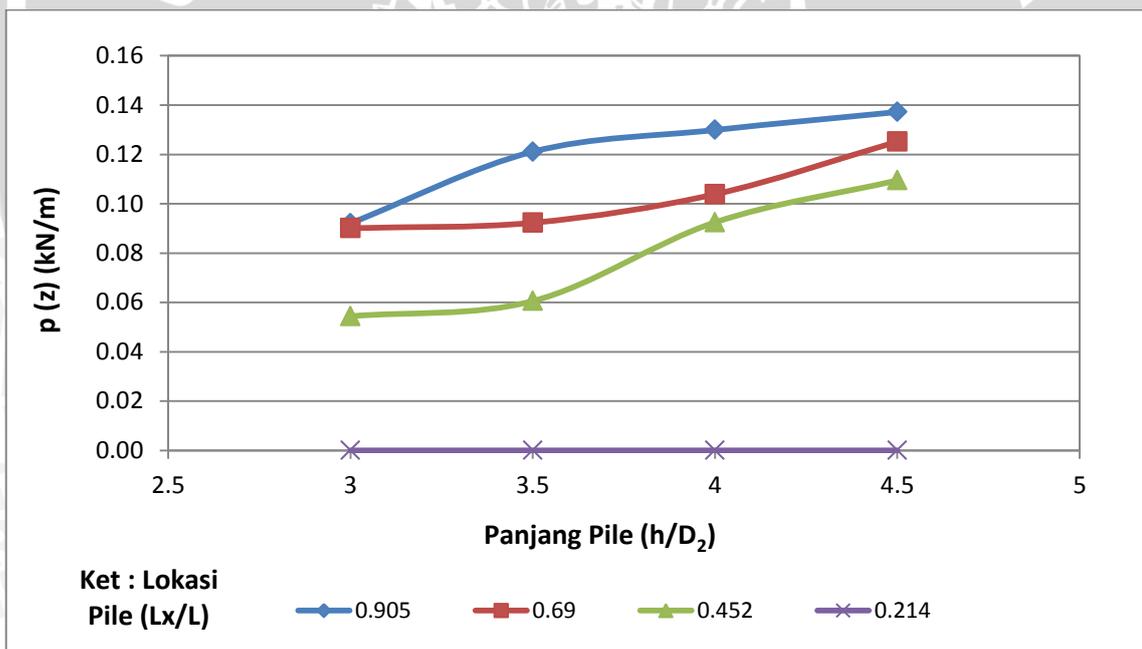
Berdasarkan analisis gaya lateral tanah yang dilakukan di laboratorium, hasil dari variasi lokasi terhadap panjang *pile*, dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Perbandingan gaya lateral yang diterima *pile* pada variasi lokasi terhadap panjang *pile*

Lx/L	D2/D1	Gaya lateral tanah ( p(z) ) ( kg/m)	
		Ito & matsui	De beer & Carpentier
0,905	3	27.89	9.21
	3.5	36.67	12.11
	4	39.34	12.99
	4.5	41.55	13.72
0,69	3	27.28	9.01
	3.5	27.95	9.23
	4	31.45	10.39
	4.5	37.90	12.52
0,452	3	16.47	5.44
	3.5	18.33	6.05
	4	28.00	9.25
	4.5	33.15	10.95
0.214	3	0.00	0.00
	3.5	0.00	0.00
	4	0.00	0.00
	4.5	0.00	0.00

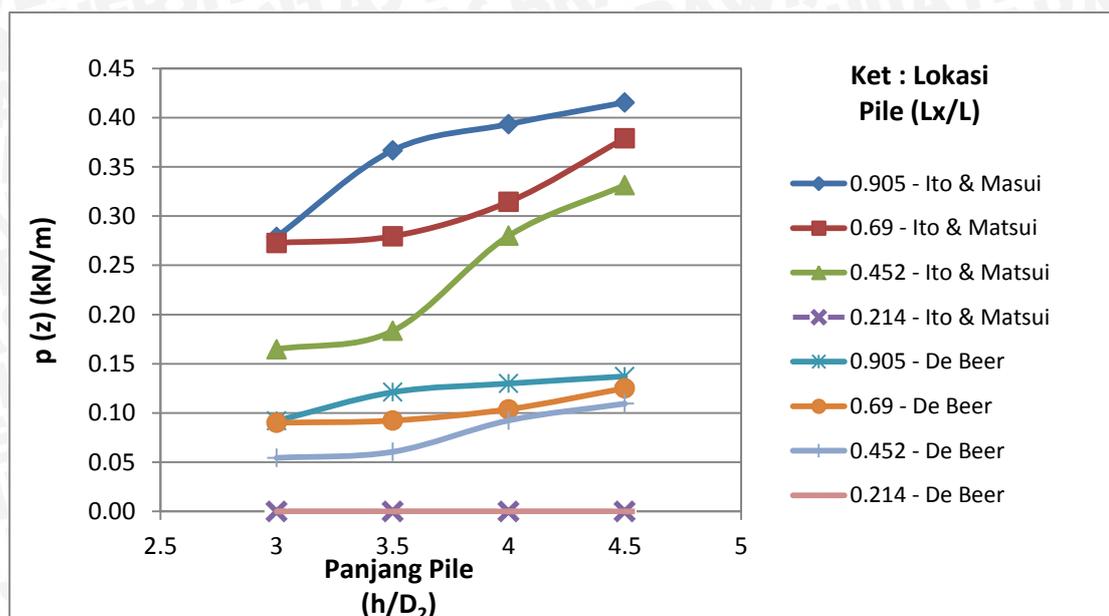


Gambar 4.36 Perbandingan nilai  $P(z)$  variasi lokasi terhadap panjang *pile* dengan metode Ito & Matsui



Gambar 4.37 Perbandingan nilai  $P(z)$  variasi lokasi terhadap panjang *pile* dengan metode De Beer & Carpentier

Berdasarkan Gambar 4.36 dan Gambar 4.37, dapat dilihat bahwa gaya lateral terbesar terjadi pada *pile* dengan panjang 45 cm di lokasi atas dan tengah atas. Adapun nilai  $P(z)$  terbesar didapatkan bila analisis dilakukan dengan menggunakan metode Ito & Matsui, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.38



Gambar 4.38 Perbandingan nilai  $P(z)$  terhadap lokasi perkuatan dengan metode Ito & Matsui dan De Beer & Carpentier

Dari Tabel 4.38 dapat diketahui bahwa penempatan *pile* sangat berpengaruh pada gaya lateral yang terjadi. Selain itu panjang *pile* juga berpengaruh, hal ini disebabkan karena *pile* yang semakin panjang akan menambah gaya penahan untuk mencegah terjadinya kelongsoran. Sehingga akan meningkatkan stabilitas lereng

Dari data perhitungan empiris dan teoritis dapat diperoleh nilai yang paling optimum adalah *pile* dengan panjang 45 cm yang dipasang pada lokasi atas lereng atau pada lokasi tengah atas lereng. Pada variasi lokasi dan panjang tersebut *pile* dapat bekerja bersama-sama secara optimum sehingga pola kelongsoran lereng alami dapat berubah dan dapat memperbesar nilai beban runtuh maksimum yang dapat ditahan.

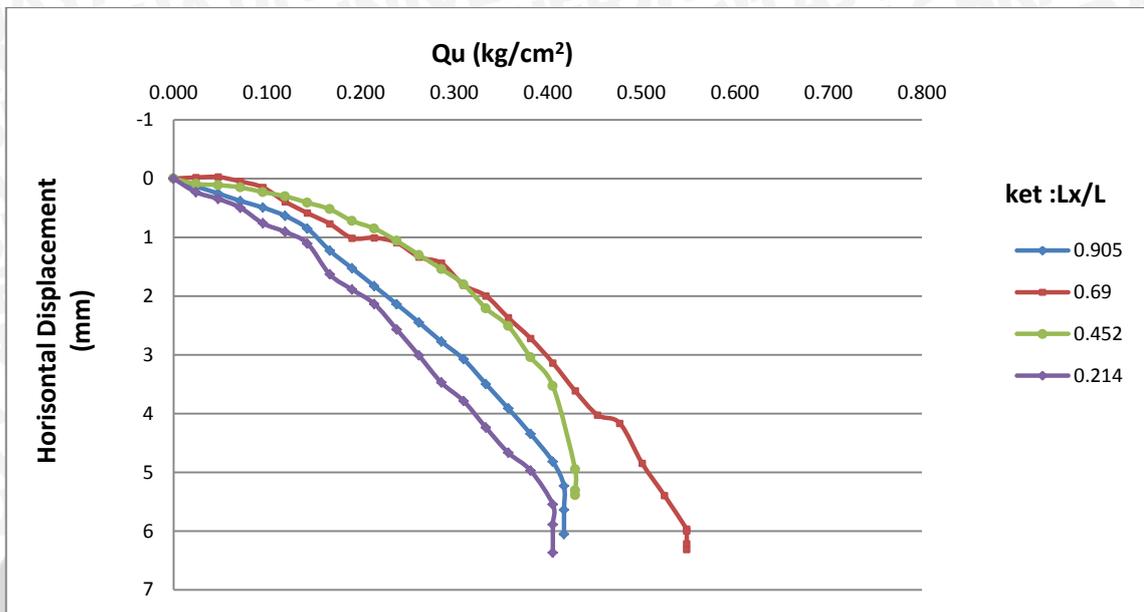
## 4.6.2 Analisis Perpindahan *pile*

### 4.6.2.1 Horizontal Displacement Pile pada Variasi Panjang Pile Terhadap Lokasi Pile

#### a. Panjang 30 cm

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di laboratorium, nilai perpindahan horizontal (*Horizontal displacement*) pada kepala *pile* dapat dibaca dengan menggunakan alat LVDT (*Linear Variable Deformation Transformer*) yang dipasang di *pile* tengah pada bagian atas *pile*. Dari data yang diperoleh pada variasi *pile* lokasi bawah mengalami perpindahan sebesar 5.55 mm, untuk variasi lokasi tengah bawah perpindahan yang terjadi sebesar 4.95mm, variasi lokasi tengah atas sebesar 5.969 mm

dan untuk variasi lokasi atas mengalami perpindahan sebesar 5.231mm. Hasil pembacaan perpindahan horizontal dapat dilihat pada Gambar 4.39.

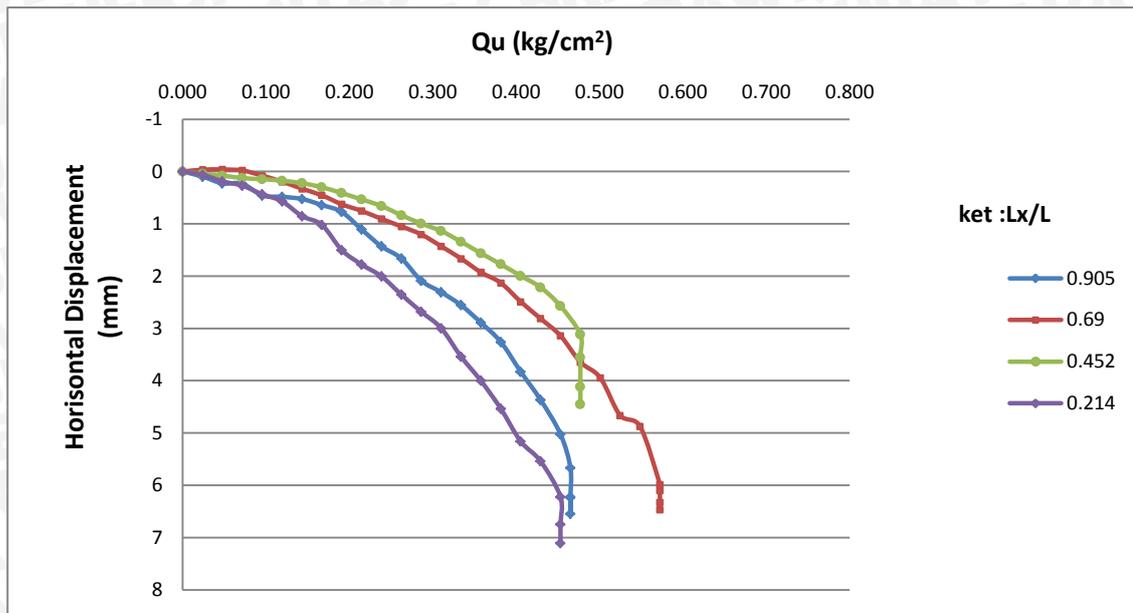


Gambar 4.39 Perbandingan nilai *horizontal displacement* untuk variasi panjang 30

Berdasarkan grafik diatas, lokasi optimum pada variasi panjang 30 cm adalah pada lokasi tengah atas (  $Lx/L = 0,690$  ) karena memiliki nilai perpindahan yang lebih rendah pada tiap peningkatan beban dengan beban runtuh terbesar.

#### b. Panjang 35 cm

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di laboratorium, nilai perpindahan horizontal (*Horizontal displacement*) pada kepala *pile* dapat dibaca dengan menggunakan alat LVDT (*Linear Variable Deformation Transformer*) yang dipasang di *pile* tengah pada bagian atas *pile*. Dari data yang diperoleh pada variasi *pile* lokasi bawah mengalami perpindahan sebesar 6.22 mm, untuk variasi lokasi tengah bawah perpindahan yang terjadi sebesar 3.177 mm, variasi lokasi tengah atas sebesar 5.98 mm dan untuk variasi lokasi atas mengalami perpindahan sebesar 6,225 mm. Hasil pembacaan perpindahan horizontal dapat dilihat pada Gambar 4.40.

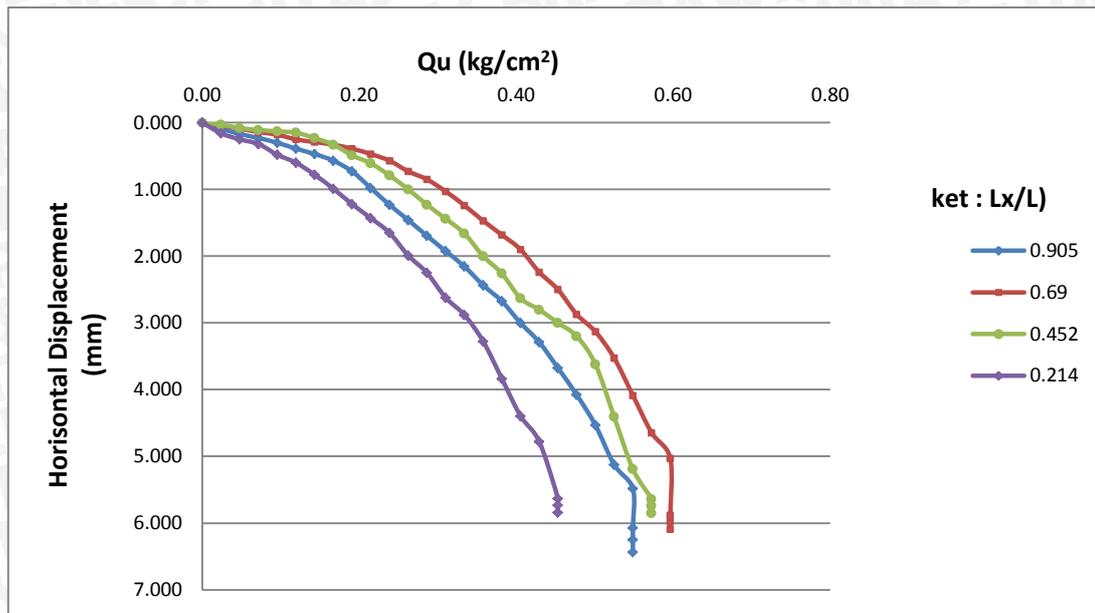


Gambar 4.40 Perbandingan nilai *horizontal displacement* untuk variasi panjang 35 cm

Berdasarkan grafik diatas, lokasi optimum pada variasi panjang 35 cm adalah pada lokasi tengah atas ( $Lx/L = 0,690$ ) karena memiliki nilai perpindahan yang lebih rendah pada tiap peningkatan beban dengan beban runtuh terbesar. Sehingga pertambahan bebannya mampu ditahan lebih kuat pada lokasi tengah atas ini.

### c. Panjang 40 cm

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di laboratorium, nilai perpindahan horizontal (*Horizontal displacement*) pada kepala *pile* dapat dibaca dengan menggunakan alat LVDT (*Linear Variable Deformation Transformer*) yang dipasang di *pile* tengah pada bagian atas *pile*. Dari data yang diperoleh pada variasi *pile* lokasi bawah mengalami perpindahan sebesar 5,63 mm, untuk variasi lokasi tengah bawah perpindahan yang terjadi sebesar 5,64 mm, variasi lokasi tengah atas sebesar 5,03 mm dan untuk variasi lokasi atas mengalami perpindahan sebesar 5.48 mm. Hasil pembacaan perpindahan horizontal dapat dilihat pada Gambar 4.41

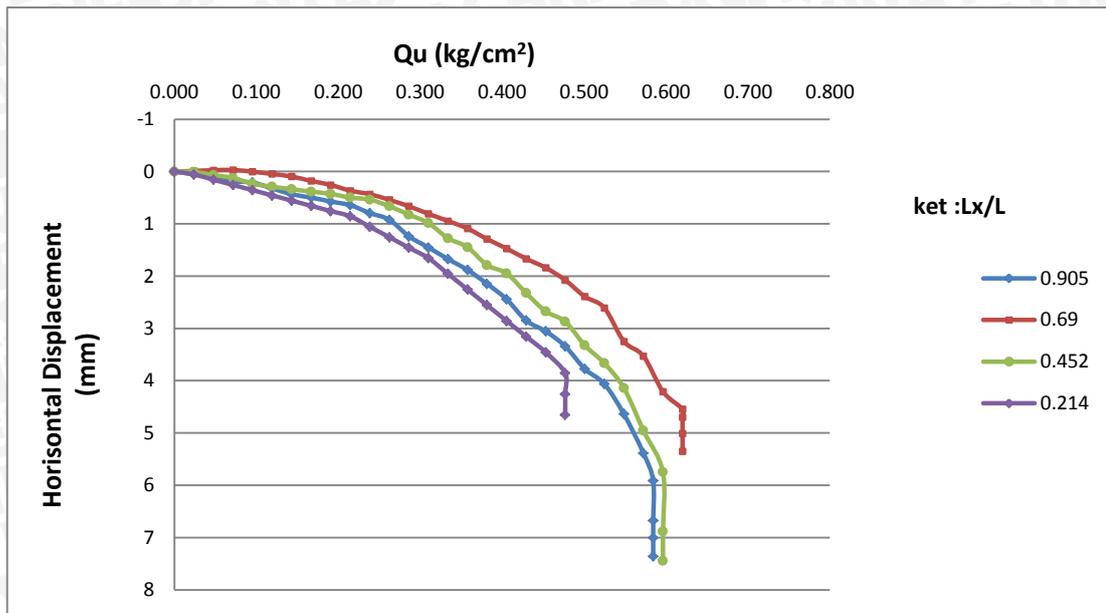


Gambar 4.41 Perbandingan *horizontal displacement* untuk variasi Panjang 40 cm

Berdasarkan grafik diatas, lokasi optimum pada variasi panjang 40 cm adalah pada lokasi tengah atas (  $Lx/L = 0,690$  ) karena memiliki nilai perpindahan yang lebih rendah pada tiap peningkatan beban dengan beban runtuh terbesar. Sehingga pertambahan bebannya mampu ditahan lebih kuat pada lokasi tengah atas ini.

#### d. Panjang 45 cm

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di laboratorium, nilai perpindahan horizontal (*Horizontal displacement*) pada kepala *pile* dapat dibaca dengan menggunakan alat LVDT (*Linear Variable Deformation Transformer*) yang dipasang di *pile* tengah pada bagian atas *pile*. Dari data yang diperoleh pada variasi *pile* lokasi bawah mengalami perpindahan sebesar 3.856 mm, untuk variasi lokasi tengah bawah perpindahan yang terjadi sebesar 5,74 mm, variasi lokasi tengah atas sebesar 4.69 mm dan untuk variasi lokasi atas mengalami perpindahan sebesar 5.912 mm. Hasil pembacaan perpindahan horizontal dapat dilihat pada Gambar 4.42.



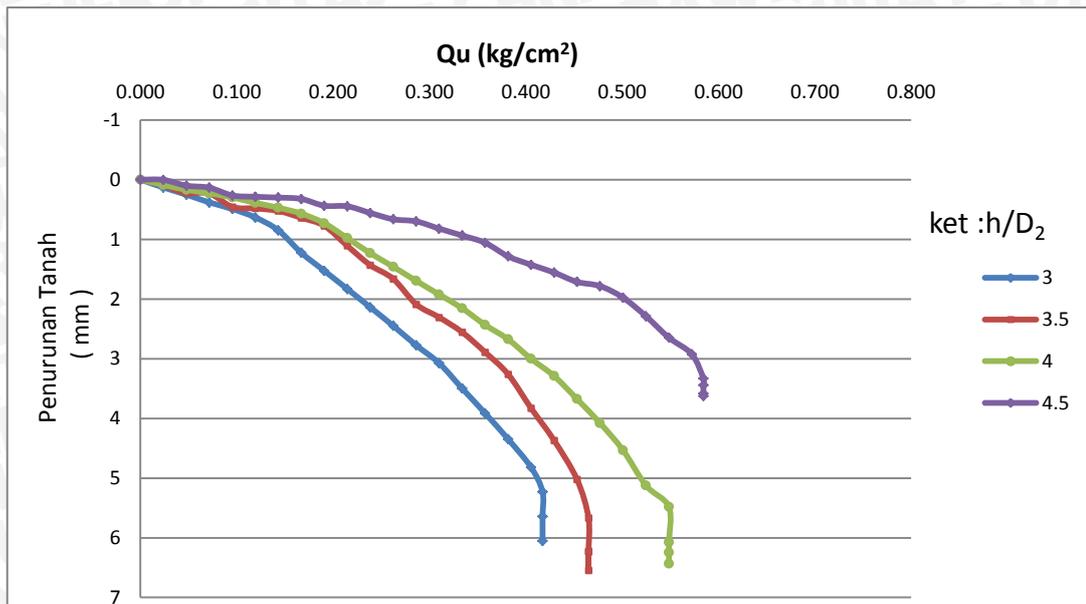
Gambar 4.42 Perbandingan *horizontal displacement* untuk variasi panjang 45 cm

Berdasarkan grafik diatas, lokasi optimum pada variasi panjang 45 cm adalah pada lokasi tengah atas ( $Lx/L = 0,690$ ) karena memiliki nilai perpindahan yang lebih rendah pada tiap peningkatan beban dengan beban runtuh terbesar. Sehingga pertambahan bebannya mampu ditahan lebih kuat pada lokasi tengah atas ini.

#### 4.6.2.2 *Horizontal Displacement Pile* pada Variasi Lokasi *Pile* Terhadap Panjang *Pile*

##### a. *Pile* lokasi atas ( $Lx/L = 0,905$ )

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di laboratorium, nilai perpindahan horizontal (*Horizontal displacement*) pada kepala *pile* dapat dibaca dengan menggunakan alat LVDT (*Linear Variable Deformation Transformer*) yang dipasang di *pile* tengah pada bagian atas *pile*. Dari data yang diperoleh pada variasi panjang 30 cm mengalami perpindahan sebesar 5.231 mm, untuk variasi panjang 35 cm perpindahan yang terjadi sebesar 5.668 mm, variasi panjang 40 cm sebesar 5.481 mm dan untuk variasi panjang 45 cm mengalami perpindahan sebesar 3.33 mm. Hasil pembacaan perpindahan horizontal dapat dilihat pada Gambar 4.43

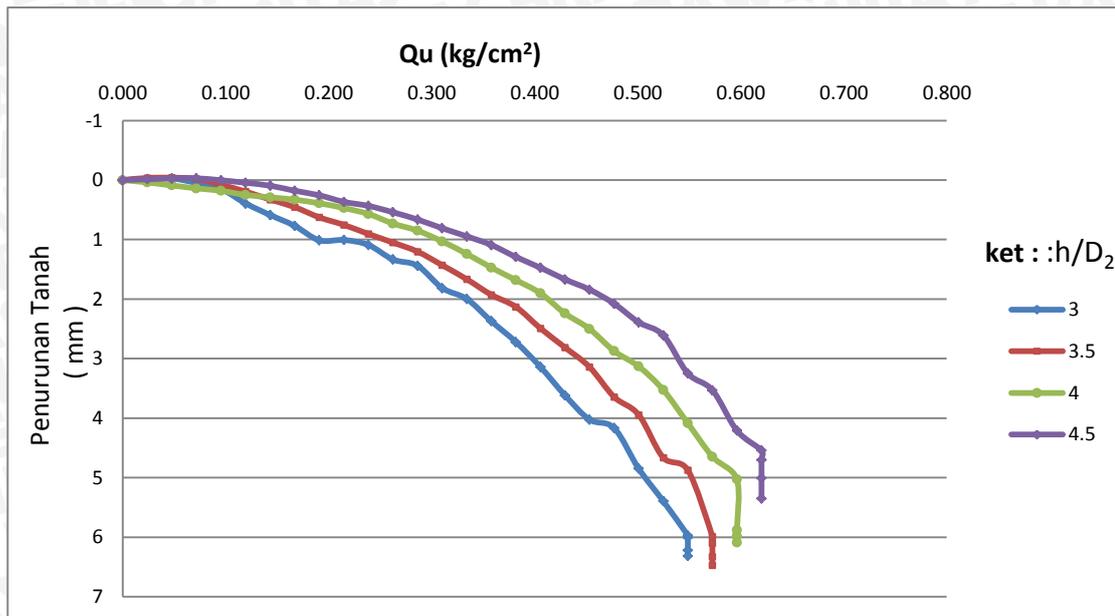


Gambar 4.43 Perbandingan *horizontal displacement* untuk variasi lokasi atas

Berdasarkan grafik diatas, lokasi optimum pada variasi lokasi atas ( $L_x/L = 0,905$ ) adalah pada panjang 45 cm karena memiliki nilai perpindahan yang lebih rendah pada tiap peningkatan beban dengan beban runtuh terbesar.

**b. Pile lokasi tengah atas ( $L_x/L = 0,690$ )**

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di laboratorium, nilai perpindahan horizontal (*Horizontal displacement*) pada kepala *pile* dapat dibaca dengan menggunakan alat LVDT (*Linear Variable Deformation Transformer*) yang dipasang di *pile* tengah pada bagian atas *pile*. Dari data yang diperoleh pada variasi panjang 30 cm mengalami perpindahan sebesar 5.969 mm, untuk variasi panjang 35 cm perpindahan yang terjadi sebesar 5.986 mm, variasi panjang 40 cm sebesar 5.880 mm dan untuk variasi panjang 45 cm mengalami perpindahan sebesar 4.542 mm. Hasil pembacaan perpindahan horizontal dapat dilihat pada Gambar 4.44.

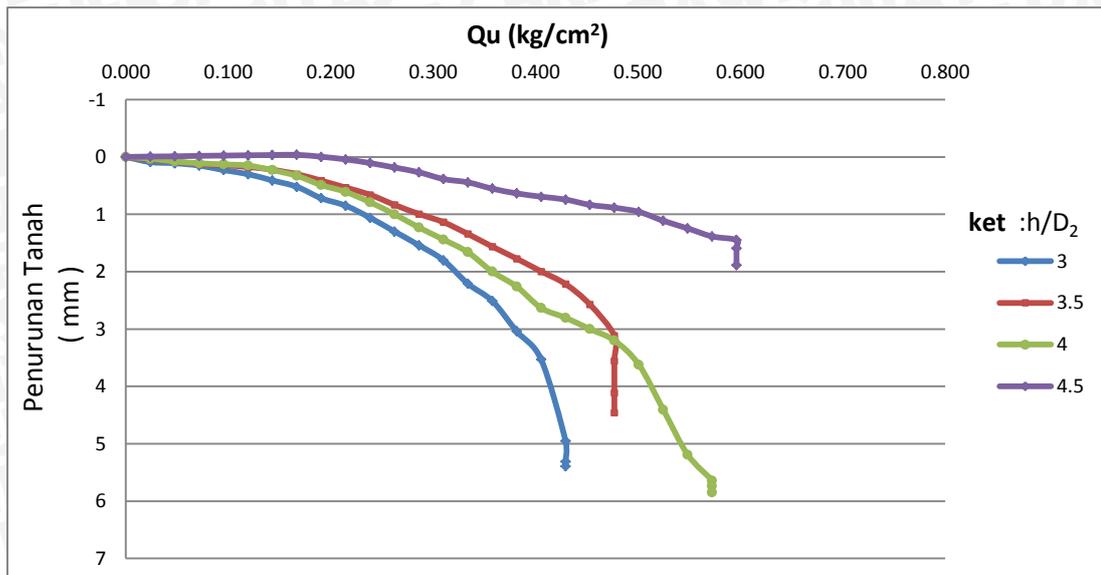


Gambar 4.44 Perbandingan *horizontal displacement* untuk variasi lokasi tengah atas

Berdasarkan grafik diatas, lokasi optimum pada variasi lokasi tengah atas ( $L_x/L = 0,609$ ) adalah pada panjang 45 cm karena memiliki nilai perpindahan yang lebih rendah pada tiap peningkatan beban dengan beban runtuh terbesar. Sehingga penambahan bebannya mampu ditahan lebih kuat

**c. Pile lokasi tengah ( $L_x/L = 0,452$ )**

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di laboratorium, nilai perpindahan horizontal (*Horizontal displacement*) pada kepala *pile* dapat dibaca dengan menggunakan alat LVDT (*Linear Variable Deformation Transformer*) yang dipasang di *pile* tengah pada bagian atas *pile*. Dari data yang diperoleh pada variasi panjang 30 cm mengalami perpindahan sebesar 4.95 mm, untuk variasi panjang 35 cm perpindahan yang terjadi sebesar 3.117 mm, variasi panjang 40 cm sebesar 5.64 mm dan untuk variasi panjang 45 cm mengalami perpindahan sebesar 1.447 mm. Hasil pembacaan perpindahan horizontal dapat dilihat pada Gambar 4.45

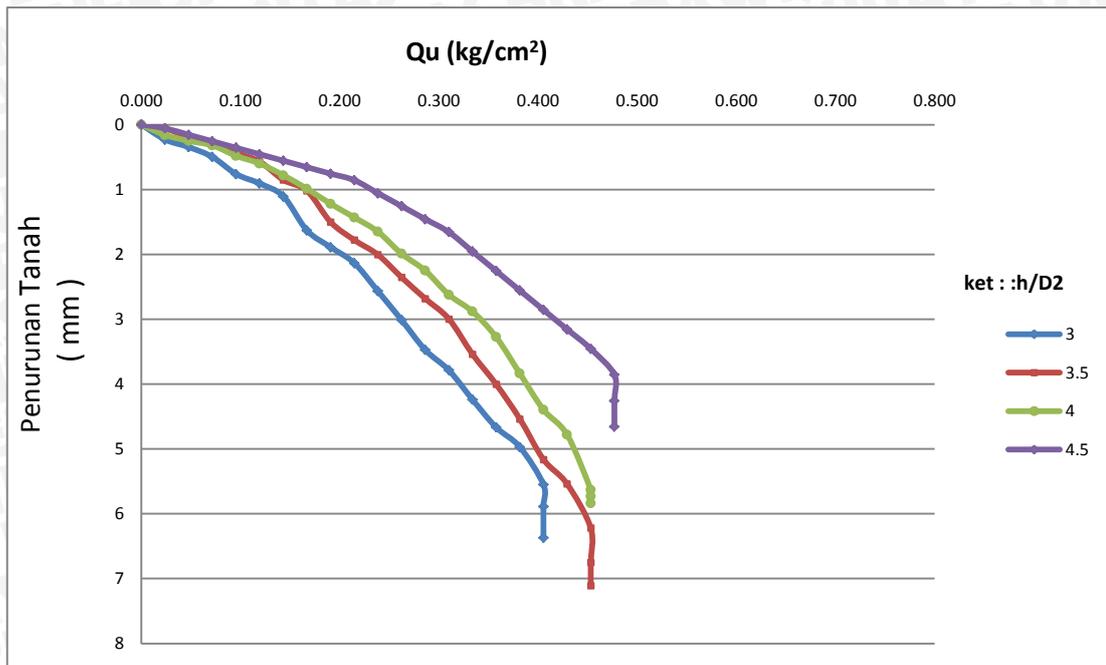


Gambar 4.45 Perbandingan *horizontal displacement* untuk variasi lokasi tengah

Berdasarkan grafik diatas, lokasi optimum pada variasi lokasi tengah atas ( $L_x/L = 0,452$ ) adalah pada panjang 45 cm memiliki nilai perpindahan yang lebih rendah pada tiap peningkatan beban dengan beban runtuh terbesar.

#### d. *Pile* lokasi bawah ( $L_x/L = 0,214$ )

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di laboratorium, nilai perpindahan horizontal (*Horizontal displacement*) pada kepala *pile* dapat dibaca dengan menggunakan alat LVDT (*Linear Variable Deformation Transformer*) yang dipasang di *pile* tengah pada bagian atas *pile*. Dari data yang diperoleh pada variasi panjang 30 cm mengalami perpindahan sebesar 5.55 mm, untuk variasi panjang 35 cm perpindahan yang terjadi sebesar 6.22 mm, variasi panjang 40 cm sebesar 5.63 mm dan untuk variasi panjang 45 cm mengalami perpindahan sebesar 3.856 mm. Hasil pembacaan perpindahan horizontal dapat dilihat pada Gambar 4.46



Gambar 4.46 Perbandingan *horizontal displacement* untuk variasi lokasi bawah

Berdasarkan grafik diatas, lokasi optimum pada variasi lokasi tengah atas ( $L_x/L = 0,452$ ) adalah pada panjang 45 cm karena memiliki nilai perpindahan yang lebih rendah pada tiap peningkatan beban dengan beban runtuh terbesar

#### 4.6.3 Analisis Bending Moment pada *Pile* Berdasarkan Metode *Four Point Bending Test*

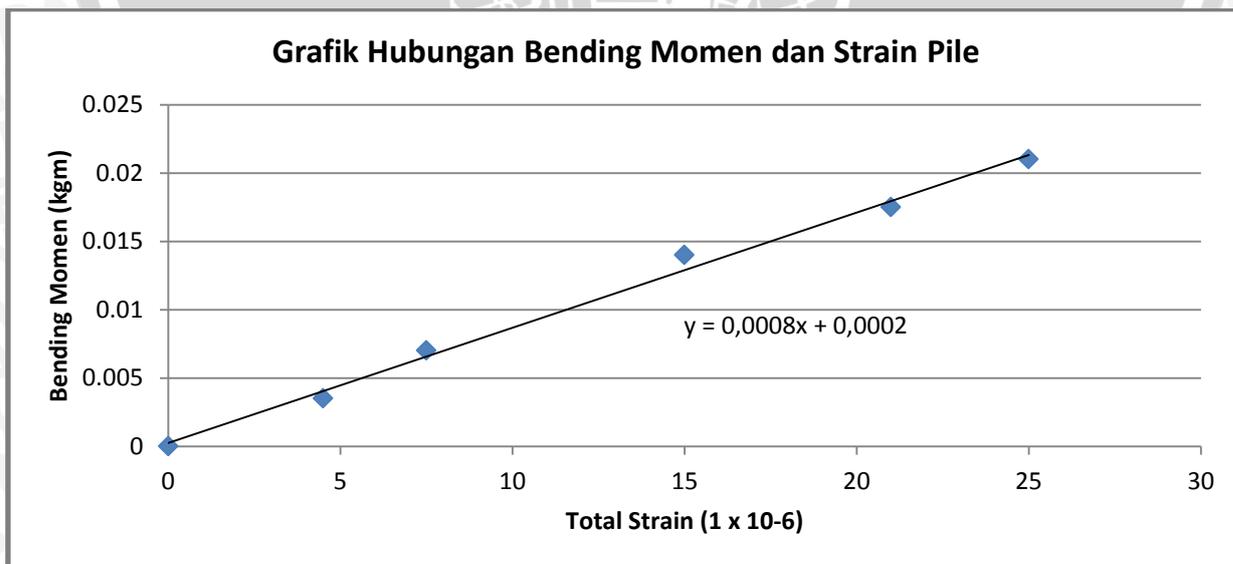
Reaksi yang terjadi pada *pile* dapat dilihat melalui analisis bending momen yang didapatkan melalui pembacaan *strain meter* selama penelitian. Berdasarkan analisis bending momen, semakin besar beban maka regangan pada *pile* juga semakin bertambah sehingga bending momen ikut bertambah seiring penambahan beban. Bending momen ditentukan berdasarkan kalibrasi *strain gauge* dengan menempatkan beban pada sepertiga *pile* atas dan sepertiga *pile* bawah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.47 berikut ini. Sehingga setelah dilakukan kalibrasi tersebut dapat dibuat grafik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.19 dan Gambar 4.47 berikut ini.



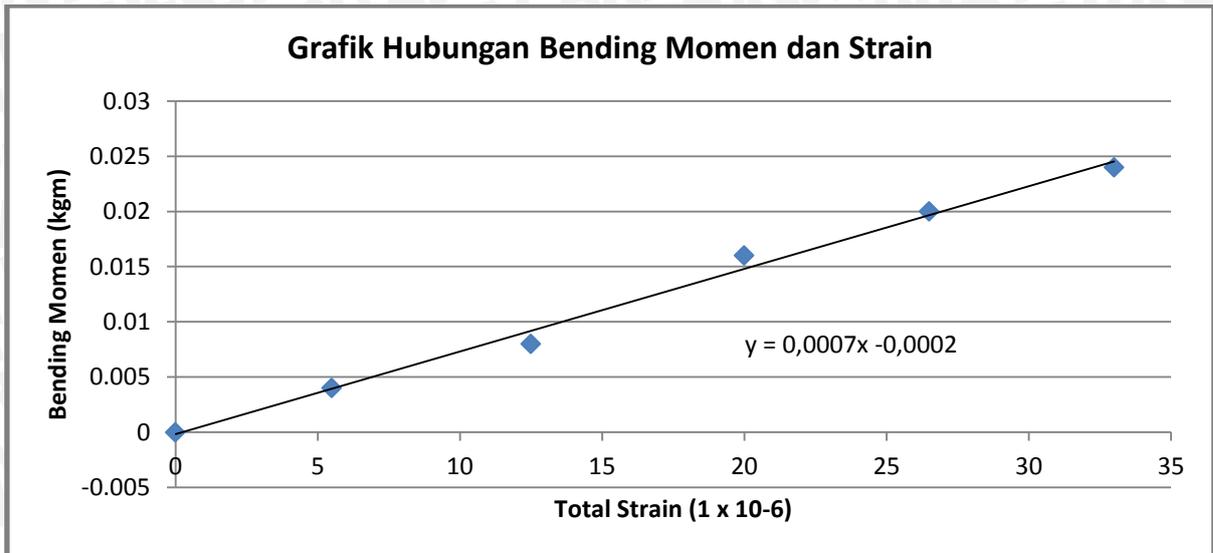
**Gambar 4.47** Kalibrasi dengan metode *four point bending test*

Tabel 4.19 Kalibrasi nilai *strain gauge* dan bending momen pada *pile*

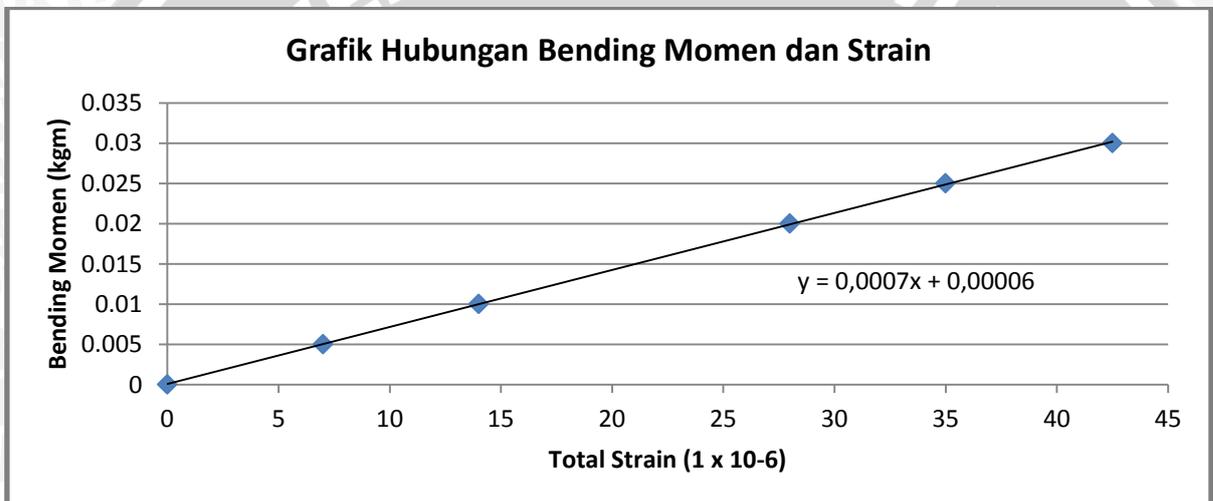
Variasi beban (kg)	Panjang 30 cm		Panjang 35		Panjang 40 cm		Panjang 45 cm	
	Bending Momen (kgm)	Strain total ( $1 \times 10^{-6}$ )	Bending Momen (kgm)	Strain total ( $1 \times 10^{-6}$ )	Bending Momen (kgm)	Strain total ( $1 \times 10^{-6}$ )	Bending Momen (kgm)	Strain total ( $1 \times 10^{-6}$ )
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,05	0,0035	4,5	0,004	5,5	0,005	7	0,00725	8,5
0,1	0,007	7,5	0,008	12,5	0,01	14	0,0145	14
0,2	0,014	15	0,016	20	0,02	28	0,029	36,5
0,25	0,0175	21	0,02	26,5	0,025	35	0,03625	45
0,3	0,021	25	0,024	33	0,03	42,5	0,0435	50



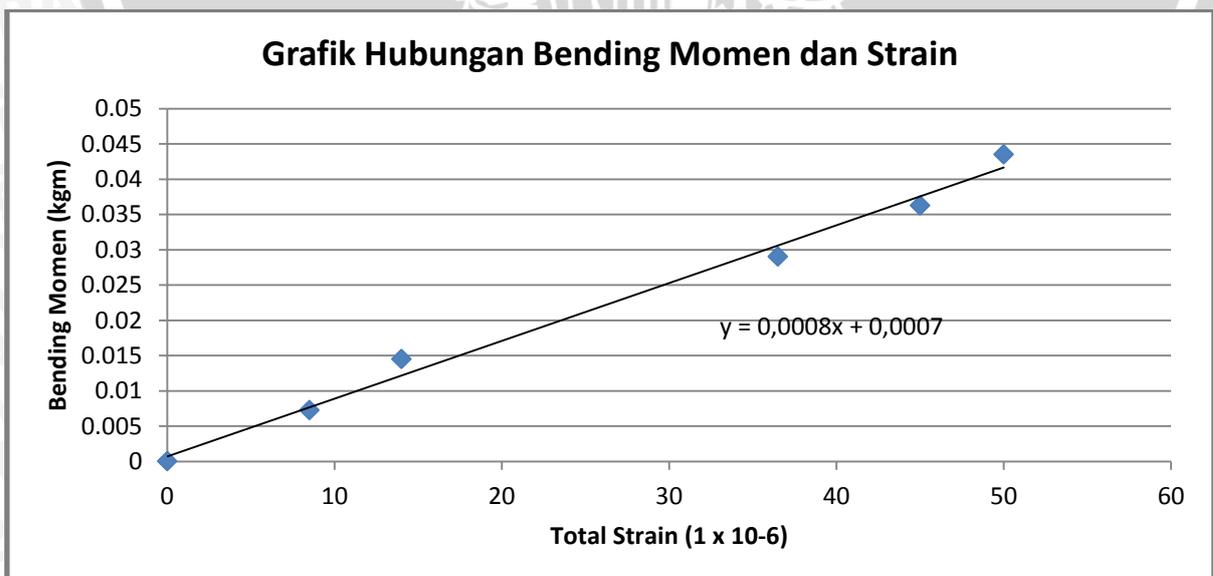
**Gambar 4.48 (a)** Kalibrasi nilai *strain gauge* dan bending momen *pile* panjang 30 cm



Gambar 4.48 (b) Kalibrasi nilai *strain gauge* dan bending momen *pile* panjang 35 cm



Gambar 4.48 (c) Kalibrasi nilai *strain gauge* dan bending momen *pile* panjang 40 cm



Gambar 4.48 (d) Kalibrasi nilai *strain gauge* dan bending momen *pile* panjang 45 cm

Melalui grafik kalibrasi *strain gauge* yang dibuat, dapat diketahui nilai bending momen dari pembacaan regangan pada percobaan lereng dengan memasukkan nilai regangan hasil pembacaan pada persamaan kalibrasi yang didapatkan dari analisis regresi seperti terlihat pada Gambar 4.48.

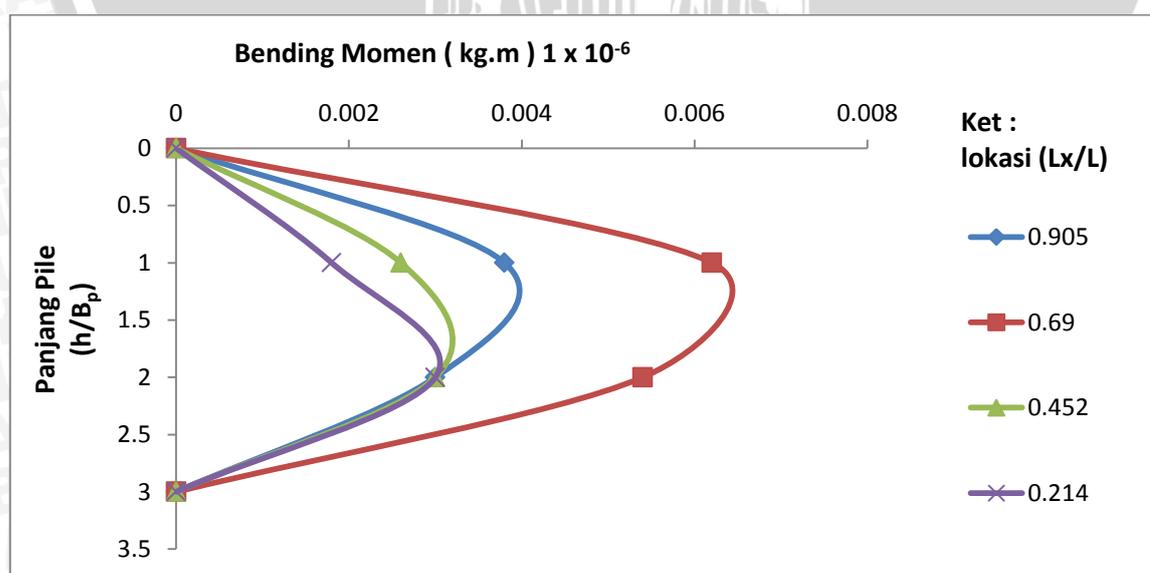
#### 4.6.3.1 Bending Moment Pile pada Variasi Panjang Pile Terhadap Lokasi Pile

##### a. Panjang 30 cm

Berdasarkan grafik kalibrasi nilai *strain gauge*, maka nilai bending momen untuk tiap pembacaan dapat ditentukan dengan memasukkan nilai regangan dalam persamaan kalibrasi. Nilai regangan yang dimasukkan merupakan nilai regangan saat beban mengalami keruntuhan. Perhitungan nilai bending momen dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Perhitungan bending momen pada variasi panjang 30 cm untuk tiap variasi nilai  $L_x/L$

Panjang	Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )			
	Atas	Tengah Atas	Tengah	Bawah
0	0	0	0	0
1	0.0038	0.0062	0.0026	0.0018
2	0.003	0.0054	0.003	0.003
3	0	0	0	0



Gambar 4.49 Bending momen pada variasi panjang pile 30 cm

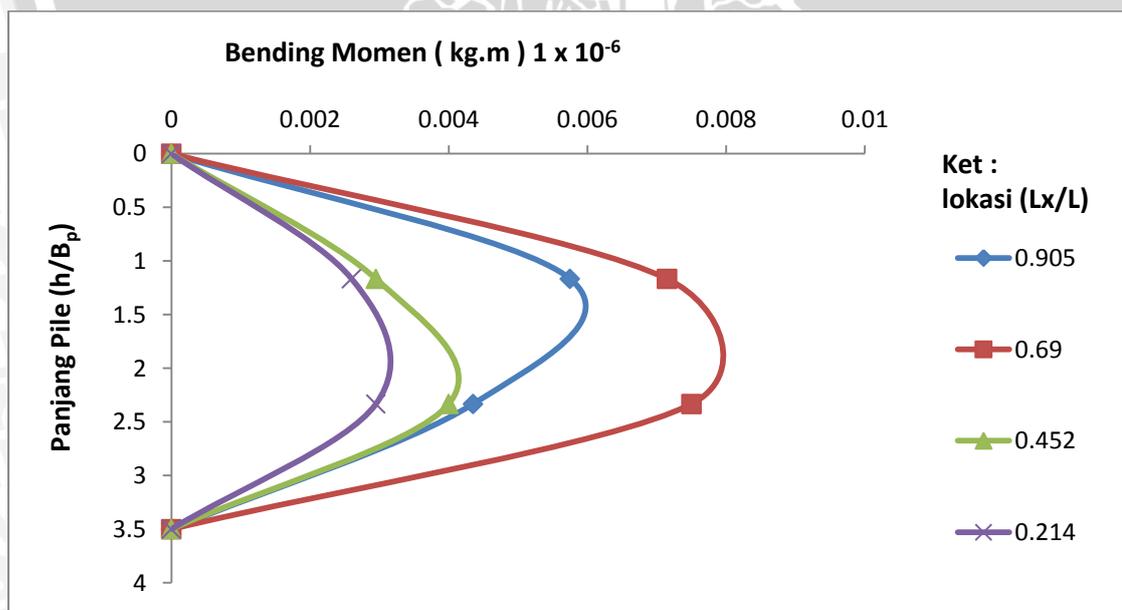
Dengan melihat Gambar 4.49 ,maka variasi lokasi tengah atas mendapatkan gaya momen terbesar dalam menahan gaya lateral pasir. Oleh karena itu dapat dikatakan lokasi tengah atas merupakan lokasi terbaik perkuatan karena mendapatkan distribusi beban yang lebih banyak daripada lokasi lainnya.

### b. Panjang 35 cm

Berdasarkan grafik kalibrasi nilai *strain gauge*, maka nilai bending momen untuk tiap pembacaan dapat ditentukan dengan memasukkan nilai regangan dalam persamaan kalibrasi. Nilai regangan yang dimasukkan merupakan nilai regangan saat beban mengalami keruntuhan. Perhitungan nilai bending momen dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Perhitungan bending momen pada variasi panjang 35 cm untuk tiap variasi nilai Lx/L

Panjang	Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )			
	Atas	Tengah Atas	Tengah	Bawah
0	0	0	0	0
1.17	0.00575	0.00715	0.00295	0.0026
2.33	0.00435	0.0075	0.004	0.00295
3.5	0	0	0	0



Gambar 4.50 Bending momen pada variasi panjang 35 cm

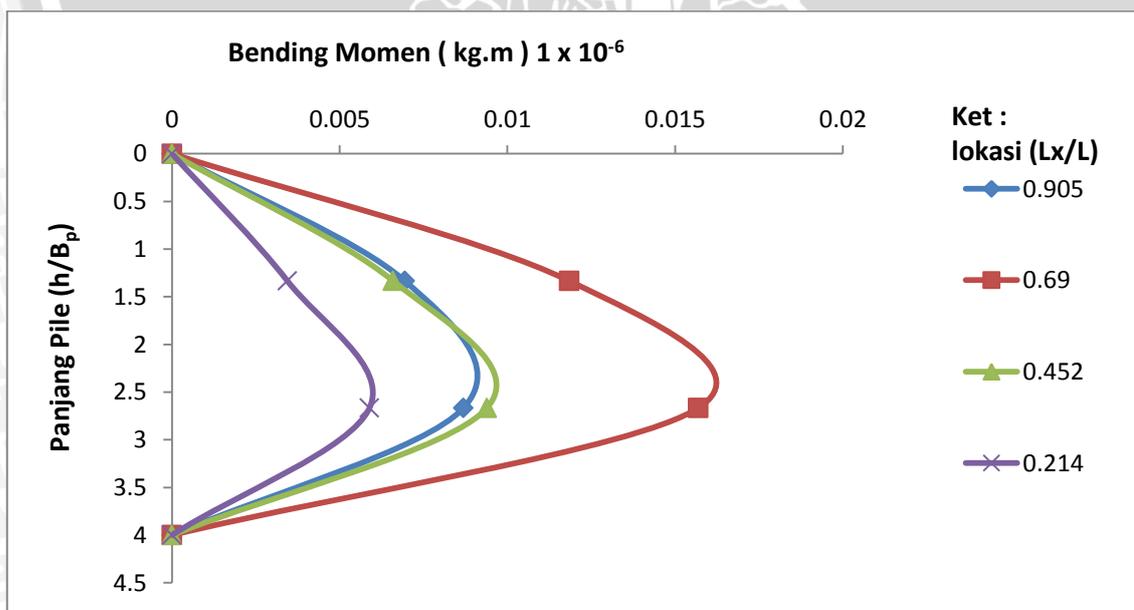
Dengan melihat Gambar 4.50, maka variasi lokasi tengah atas mendapatkan gaya momen terbesar dalam menahan gaya lateral pasir. Oleh karena itu dapat dikatakan lokasi tengah atas merupakan lokasi terbaik perkuatan karena mendapatkan distribusi beban yang lebih banyak daripada lokasi lainnya

### c. Panjang 40 cm

Berdasarkan grafik kalibrasi nilai *strain gauge*, maka nilai bending momen untuk tiap pembacaan dapat ditentukan dengan memasukkan nilai regangan dalam persamaan kalibrasi. Nilai regangan yang dimasukkan merupakan nilai regangan saat beban mengalami keruntuhan. Perhitungan nilai bending momen dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Perhitungan bending momen pada variasi panjang 40 cm untuk tiap variasi nilai  $L_x/L$

Panjang	Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )			
	Atas	Tengah Atas	Tengah	Bawah
0	0	0	0	0
1.33	0.00694	0.01184	0.00659	0.00344
2.67	0.00869	0.01569	0.00939	0.00589
4	0	0	0	0



Gambar 4.51 Bending momen pada variasi panjang 40 cm

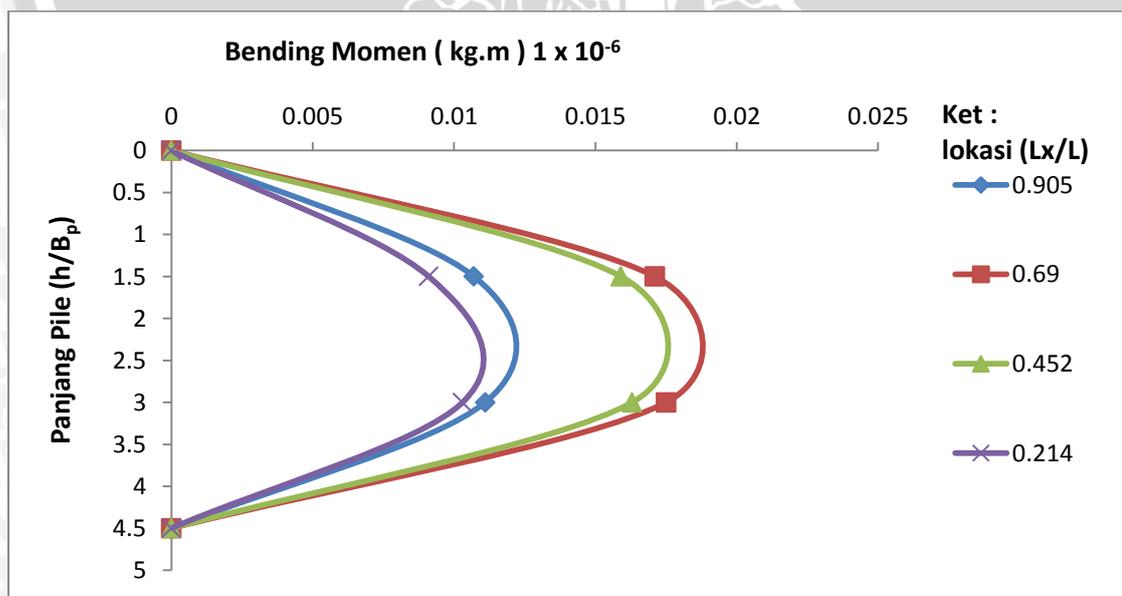
Dengan melihat Gambar 4.51, maka variasi lokasi tengah atas mendapatkan gaya momen terbesar dalam menahan gaya lateral pasir. Oleh karena itu dapat dikatakan lokasi tengah atas merupakan lokasi terbaik perkuatan karena mendapatkan distribusi beban yang lebih banyak daripada lokasi lainnya.

#### d. Panjang 45 cm

Berdasarkan grafik kalibrasi nilai *strain gauge*, maka nilai bending momen untuk tiap pembacaan dapat ditentukan dengan memasukkan nilai regangan dalam persamaan kalibrasi. Nilai regangan yang dimasukkan merupakan nilai regangan saat beban mengalami keruntuhan. Perhitungan nilai bending momen dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Perhitungan bending momen pada variasi panjang 45cm untuk tiap variasi nilai  $L_x/L$

Panjang	Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )			
	Atas	Tengah Atas	Tengah	Bawah
0	0	0	0	0
1.5	0.0107	0.0171	0.0159	0.0091
3	0.0111	0.0175	0.0163	0.0103
4.5	0	0	0	0



Gambar 4.52 Bending momen pada variasi panjang *pile* 45 cm

Dengan melihat Gambar 4.52, maka variasi lokasi tengah atas mendapatkan gaya momen terbesar dalam menahan gaya lateral pasir. Oleh karena itu dapat dikatakan lokasi tengah atas merupakan lokasi terbaik perkuatan karena mendapatkan distribusi beban yang lebih banyak daripada lokasi lainnya.

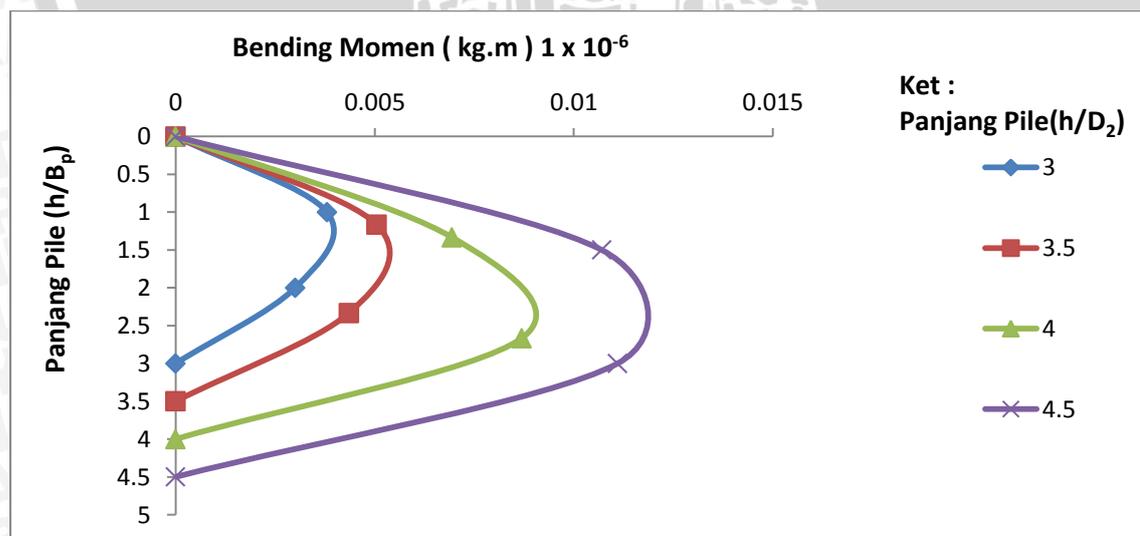
#### 4.6.3.2 *Bending Moment Pile* pada Variasi Lokasi Penempatan *Pile* Terhadap Panjang *Pile*

##### a. Lokasi Atas ( $L_x/L=0,905$ )

Berdasarkan grafik kalibrasi nilai *strain gauge*, maka nilai bending momen untuk tiap pembacaan dapat ditentukan dengan memasukkan nilai regangan dalam persamaan kalibrasi. Nilai regangan yang dimasukkan merupakan nilai regangan saat beban mengalami keruntuhan. Perhitungan nilai bending momen dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Perhitungan bending momen pada variasi lokasi atas untuk tiap variasi panjang pile

Jarak	Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m)		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m)		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m)		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m)	
	Panjang <i>Pile</i>	30 cm	Panjang <i>Pile</i>	35 cm	Panjang <i>Pile</i>	40 cm	Panjang <i>Pile</i>	45cm
10	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0.0038	1.17	0.00505	1.33	0.00694	1.5	0.0107
	2	0.003	2.33	0.00435	2.67	0.00869	3	0.0111
	3	0	3.5	0	4	0	4.5	0



Gambar 4.53 Bending momen pada variasi lokasi atas

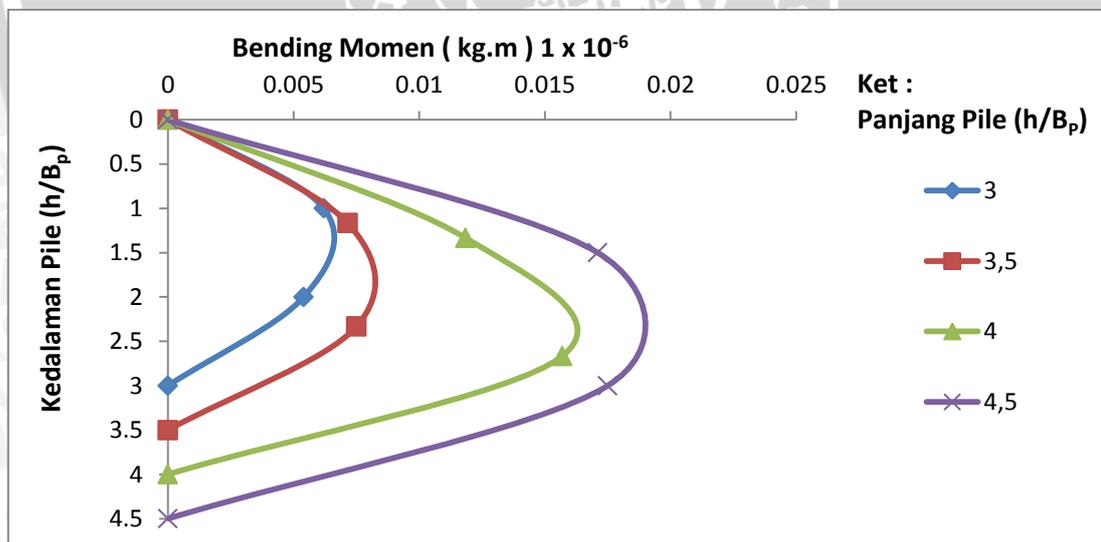
Dengan melihat Gambar 4.53, maka variasi panjang 45 cm mendapatkan gaya momen terbesar dalam menahan gaya lateral pasir. Sehingga panjang optimum dari *pile* adalah 45 cm

#### b. Lokasi Tengah Atas ( $L_x/L=0,609$ )

Berdasarkan grafik kalibrasi nilai *strain gauge*, maka nilai bending momen untuk tiap pembacaan dapat ditentukan dengan memasukkan nilai regangan dalam persamaan kalibrasi. Nilai regangan yang dimasukkan merupakan nilai regangan saat beban mengalami keruntuhan. Perhitungan nilai bending momen dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Perhitungan bending momen pada variasi lokasi tengah atas untuk tiap variasi panjang

Jarak	Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )	
	Panjang Pile	30 cm	Panjang Pile	35 cm	Panjang Pile	40 cm	Panjang Pile	45 cm
10	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0.0062	1.17	0.0072	1.33	0.01184	1.5	0.0171
	2	0.0054	2.33	0.0075	2.67	0.01569	3	0.0175
	3	0	3.5	0	4	0	4.5	0



Gambar 4.54 Bending momen pada variasi lokasi tengah atas

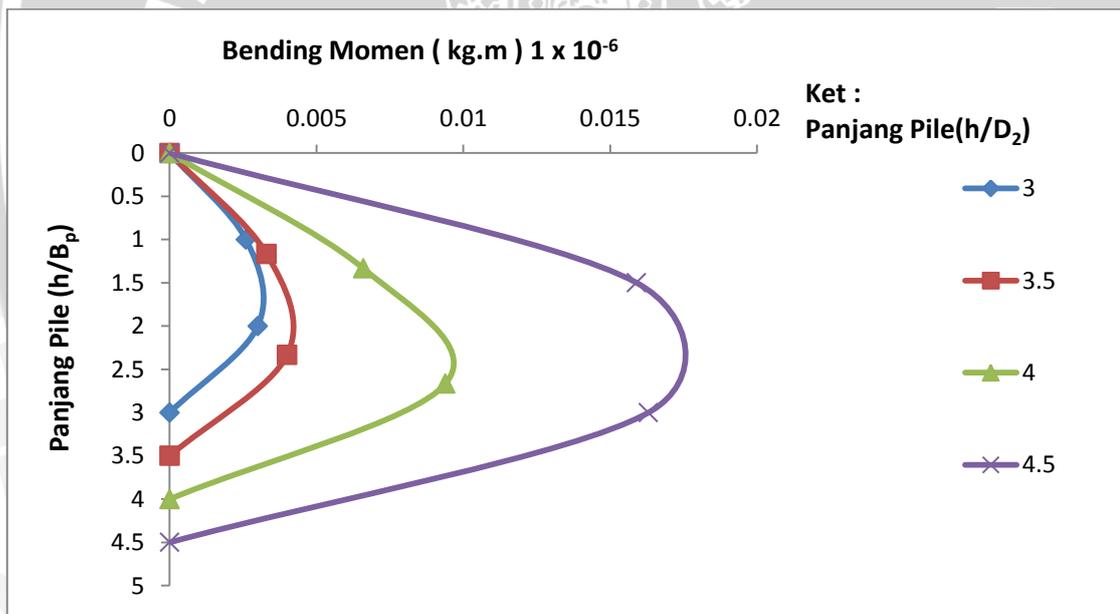
Dengan melihat Gambar 4.54, maka variasi panjang 45 cm mendapatkan gaya momen terbesar dalam menahan gaya lateral pasir. Oleh karena itu dapat dikatakan panjang 45 cm adalah panjang terbaik perkuatan

### c. Lokasi Tengah ( $L_x/L=0,452$ )

Berdasarkan grafik kalibrasi nilai *strain gauge*, maka nilai bending momen untuk tiap pembacaan dapat ditentukan dengan memasukkan nilai regangan dalam persamaan kalibrasi. Nilai regangan yang dimasukkan merupakan nilai regangan saat beban mengalami keruntuhan. Perhitungan nilai bending momen dapat dilihat pada Tabel 4.26

Tabel 4.26 Perhitungan bending momen pada variasi lokasi tengah untuk tiap variasi panjang

Jarak	Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m)		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m)		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m)		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m)	
	Panjang Pile	30	Panjang Pile	35	Panjang Pile	40	Panjang Pile	45
10	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0.0026	1.17	0.0033	1.33	0.00659	1.5	0.0159
	2	0.003	2.33	0.004	2.67	0.00939	3	0.0163
	3	0	3.5	0	4	0	4.5	0



Gambar 4.55 Bending momen pada variasi lokasi tengah

Dengan melihat Gambar 4.55, maka variasi panjang 45 cm mendapatkan gaya momen terbesar dalam menahan gaya lateral pasir. Oleh karena itu dapat dikatakan panjang 45 cm merupakan panjang terbaik perkuatan

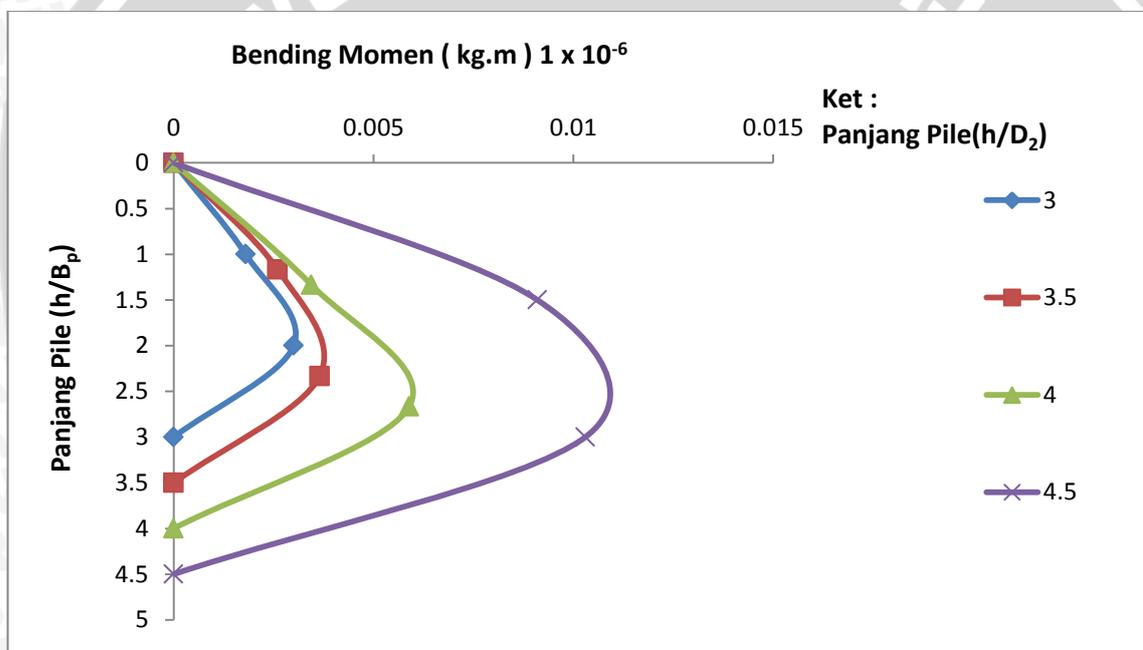
### d. Lokasi bawah ( $L_x/L=0,214$ )

Berdasarkan grafik kalibrasi nilai *strain gauge*, maka nilai bending momen untuk tiap pembacaan dapat ditentukan dengan memasukkan nilai regangan dalam

persamaan kalibrasi. Nilai regangan yang dimasukkan merupakan nilai regangan saat beban mengalami keruntuhan. Perhitungan nilai bending momen dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Perhitungan bending momen pada variasi lokasi bawah untuk tiap variasi panjang

Jarak	Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )		Momen ( $1 \times 10^{-6}$ kg.m )	
	Panjang Pile	30	Panjang Pile	35	Panjang Pile	40	Panjang Pile	45
10	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0.0018	1.17	0.0026	1.33	0.00344	1.5	0.0091
	2	0.003	2.33	0.00365	2.67	0.00589	3	0.0103
	3	0	3.5	0	4	0	4.5	0



Gambar 4.56 Bending momen pada variasi lokasi bawah

Dengan melihat Gambar 4.56, maka variasi panjang 45 cm mendapatkan gaya momen terbesar dalam menahan gaya lateral pasir. Oleh karena itu dapat dikatakan panjang 45 cm merupakan panjang terbaik