

ANALISIS PERILAKU BEBAN LATERAL EKSENTRIS TERHADAP KAPASITAS TIANG PANCANG TUNGGAL VERTIKAL PADA PASIR HOMOGEN

Claudia Tessa Rawung

Josef E. R. Sumampouw, Oktovian B. A. Sompie

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: claudiarawung17@gmail.com

ABSTRAK

Pondasi adalah bagian terbawah yang langsung berhubungan dengan tanah dari suatu konstruksi misalnya gedung, jembatan, dinding penahan tanah, tanggul, menara, dan lain-lain. Pondasi harus diperhitungkan untuk dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap beratnya sendiri. Selain menopang beban struktur di atasnya secara vertikal atau disebut dengan beban aksial, pondasi juga harus dapat menahan beban lateral (horizontal) dapat berupa tekanan tanah lateral, beban angin, beban gempa, beban gelombang air laut, beban tubrukan dari kapal pada saat berlabuh didermaga, dan lain-lain.

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental di laboratorium. Penelitian eksperimental ini dimulai dengan mempersiapkan bahan yang akan diuji yaitu pasir. Dalam pengujian di laboratorium dicari nilai defleksi dan serta beban dari tiap material yang digunakan dengan variasi kepadatan yang ditentukan dengan nilai $\gamma_1 = 1.3 \text{ g/cm}^3$, $\gamma_2 = 1.4 \text{ g/cm}^3$, $\gamma_3 = 1.5 \text{ g/cm}^3$, dan $\gamma_4 = 1.6 \text{ g/cm}^3$. Untuk kekakuan pondasi berdasarkan penentuan batas kondisi dari perhitungan didapat hasil tiang termasuk fleksibel pada semua jenis bahan yang dipakai dalam penelitian.

Dari hasil pengujian laboratorium untuk perilaku beban lateral eksentris terhadap beban dengan variasi kepadatan pada tanah pasir mengalami perubahan di setiap kepadatan, sehingga nilai berat isi tanah pasir sangat berpengaruh. Dari perbandingan sudut geser dalam dan kepadatan bahwa semakin besar kepadatan maka semakin besar pula nilai sudut geser dalam pada tanah pasir.

Kata Kunci: Daya dukung, daya dukung ultimate, beban lateral, pasir.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Struktur bawah mempunyai peranan sangat penting untuk memikul beban-beban dari struktur atas sehingga bagian bawah tidak boleh runtuh terlebih dahulu dari struktur atas. Pondasi adalah bagian terbawah yang langsung berhubungan dengan tanah dari suatu konstruksi misalnya gedung, jembatan, dinding penahan tanah, tanggul, menara, dan lain-lain. Pondasi harus diperhitungkan untuk dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap beratnya sendiri.

Kegagalan fungsi pondasi dapat disebabkan karena adanya "Base-shear Failure" atau penurunan yang berlebihan sehingga menyebabkan kerusakan struktural pada kerangka bangunan, tembok retak, lantai pecah, dan lain-lain. Sering dalam perencanaan pondasi dapat menimbulkan berbagai masalah untuk perencanaan dalam hal memilih tipe serta bentuk sebuah pondasi yang akan digunakan, misalnya untuk jenis tanah dimana lapisan tanah yang keras berada agak jauh dari permukaan tanah

dan beban-beban yang bekerja pada pondasi. Sehingga pemilihan pondasi yang tepat untuk permasalahan yang dijelaskan di atas adalah menggunakan tipe pondasi dalam (deep foundation).

Selain menopang beban struktur di atasnya secara vertikal atau disebut dengan beban aksial, pondasi juga harus dapat menahan beban lateral (horizontal) dapat berupa tekanan tanah lateral, beban angin, beban gempa, beban gelombang air laut, beban tubrukan dari kapal pada saat berlabuh didermaga, dan lain-lain. Beban lateral yang bekerja mengakibatkan kegagalan tanah di sekitar pondasi tiang tersebut, yang mengakibatkan timbulnya lendutan lateral yang melampaui batas ijin. Kegagalan ini disebabkan kelebihan beban melampaui daya dukung tanah.

Pembebanan yang tidak sentris pada pondasi bisa terjadi apabila beban vertikal yang bekerja mempunyai eksentrisitas terhadap titik pusat pondasi atau jika pondasi menerima momen selain beban vertikal. Dengan pengujian dalam pemodelan skala kecil kiranya bisa memberikan gambaran mengenai perilaku dan

pengaruh daya dukung pondasi tiang pancang di tanah pasir.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, didapat rumusan masalah yaitu akan diteliti seberapa besar perubahan pada suatu tiang dengan pembebanan lateral eksentrisitas pada material pasir.

Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

- Mekanisme percobaan dilakukan dilaboratorium.
- Model tiang yang digunakan berpenampang lingkaran dengan diameter 2,5cm yang terbuat dari kayu, beton, pipa galvanis, dan pipa plastik.
- Berdasarkan kekakuan untuk tiang pancang berlaku sebagai fleksibel.
- Metode empiris yang digunakan untuk membandingkan hasil pengujian adalah Metode Meyerhof dan Metode Broms.
- Berat pondasi tiang diabaikan.
- Tanah yang digunakan untuk penelitian adalah pasir sebagai media tumpu bervariasi kepadatan.
- Beban yang ditinjau adalah beban lateral eksentris.
- Dalam penelitian ini akan menggunakan skala perhitungan pondasi tiang pancang fleksibel (long pile)

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk:

- Mengetahui perilaku beban lateral eksentris terhadap daya dukung tiang pancang tunggal vertikal pada tanah pasir dalam variasi kepadatan (γ).
- Mengetahui besarnya hubungan daya dukung teori dan percobaan serta lendutan dan beban yang terjadi pada uji pembebanan dengan variasi kepadatan tanah pasir (γ).

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- Untuk mempelajari kapasitas beban lateral eksentris terhadap daya dukung tiang pancang dari tanah pasir homogen.
- Mempelajari sifat-sifat perilaku tiang pancang tunggal vertikal terlebih dahulu sebelum menuju perilaku tiang pancang kelompok.

- Dapat menjadi perbandingan evaluasi dan penanggulangan masalah yang terjadi di lapangan serta referensi untuk penelitian berikutnya.

LANDASAN TEORI

Pondasi Tiang

Pondasi merupakan bagian paling dasar dari struktur bangunan yang berfungsi untuk menahan beban dan meneruskannya ke tanah yang berada dibagian bawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser dan penurunan tanah yang berlebihan. Pondasi tiang digunakan untuk mendukung pada suatu bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam maupun tanah dasarnya tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul beban yang diterima.

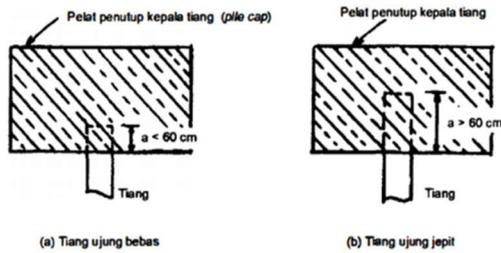
Menurut cara pemindahan beban tiang pancang dibagi menjadi 2, yaitu:

- *Tahanan Ujung (End Bearing Pile)*
Tiang dukung ujung adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung. Tiang ini meneruskan beban melalui tahanan ujung ke lapisan tanah keras, kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang.
- *Tahanan Gesek (Friction Pile)*
Tiang gesek adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya. Tiang ini meneruskan beban ke tanah melalui geseran kulit (skin friction). Tiang ini disebut compaction pile karena telah memadatkan tanah diantara tiang-tiang tersebut. Friction pile pada tanah dengan butiran-butiran kasar sangat mudah dilalui air (very permeable soil). Sedangkan pada tanah dengan butiran-butiran yang sangat halus sulit dilalui oleh air.

Tiang Ujung Jepit dan Tiang Ujung Bebas

Dalam menganalisis suatu beban pada pondasi tiang perlu dibedakan tiang-tiang menurut model ikatannya dengan pelat penutup tiang. Karena model ikatan tersebut sangat mempengaruhi kelakuan tiang dalam mendukung beban. Sehubungan dengan hal tersebut, tiang-tiang dibedakan menurut 2 tipe, yaitu:

1. Tiang ujung jepit (*fixed end pile*)
2. Tiang ujung bebas (*free end pile*)



Gambar 1. Definisi Tiang Ujung Bebas Dan Ujung Jepit (McNulty, 1956)

Menurut McNulty tiang ujung jepit (*fixed end pile*) sebagai tiang yang ujung atasnya terjepit atau tertanam dalam pelat penutup kepala tiang paling sedikit sedalam 60 cm. Dengan demikian, untuk tiang-tiang yang bagian atasnya terjepit atau terjepit ke dalam pelat penutup kepala tiang tetapi kurang dari 60 cm termasuk tiang ujung bebas (*free end pile*).

Pondasi Tiang Berdasarkan Kekakuan

Menurut teori Meyerhof (1988), untuk faktor kekakuan yang menentukan batas antara kondisi kaku dan fleksibel suatu tiang pancang berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$K_r = \frac{E_p \cdot I_p}{E_s \cdot D^4} \tag{1}$$

Dimana:

- Kr : Kekakuan relatif
- Ep : Modulus elastisitas tiang pancang
- Ip : Momen inersia tiang pancang
- Es : Modulus elastisitas tanah
- D : Kedalaman pondasi tiang pancang

Pondasi tiang pancang kaku apabila:

$$K_r \geq 0.1$$

Pondasi tiang pancang fleksibel apabila:

$$K_r \leq 0.01$$

Sedangkan untuk daerah $0.1 > K_r > 0.01$ adalah daerah transisi.

Untuk kekakuan dari Broms pada tiang pancang dalam tanah non kohesif (pasir) yang menentukan batasan antara kaku atau fleksibel berdasarkan dari persamaan berikut:

$$\eta = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{n_h}} \tag{2}$$

Dimana:

- n_h = Koefisien modulus variasi
- Ep = Modulus elastisitas tiang pancang
- Ip = Momen inersia

Jika pondasi tiang kaku:

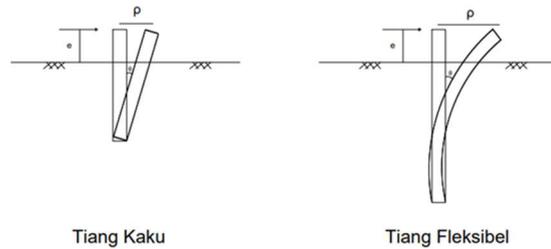
$$\eta L < 2$$

Jika pondasi tiang fleksibel:

$$\eta L > 4$$

Pembebanan Lateral Eksentris

Pembebanan lateral pada tiang pancang adalah beban yang diterima tiang pancang dimana beban ini arah kerjanya tegak lurus garis netral tiang pancang. Pemberian beban lateral pada tiang pancang akan menghasilkan efek terhadap tiang pancang dan tanah sekitar tiang pancang. Apabila suatu gaya bekerja pada garis kerja gaya tidak melewati titik berat pondasi maka akan timbul efek akibat beban tersebut, yang sering disebut dalam hal ini adalah beban lateral eksentris dan kondisi yang dihasilkan dari hal ini disebut sebagai geser eksentris. Pembebanan yang tidak sentris pada pondasi bisa terjadi apabila beban vertikal yang bekerja mempunyai eksentrisitas terhadap titik pusat pondasi atau jika pondasi menerima momen selain beban vertikal.



Gambar 2. Tiang Pancang Vertikal Dengan Pembebanan Lateral Eksentris

Teori Meyerhof dan kawan-kawan untuk lendutan/defleksi akibat beban lateral untuk tiang pancang fleksibel dapat dipakai formula lendutan tiang pancang kaku tetapi kedalamannya diganti dengan kedalaman efektif tiang pancang fleksibel yaitu:

$$Y_0 = \rho H = \frac{I_p H \cdot Q}{E_s \cdot D \cdot F_{\rho'}} \tag{3}$$

Dimana:

- $I_p H$: Momen inersia akibat lendutan lateral (lih. Tabel)
- Q : Daya dukung tiang pancang
- Es : Modulus tanah
- D : Kedalaman pondasi tiang pancang
- $F_{\rho'}$: Faktor perpindahan batas = 1 (dari buku Sastry)

Tabel 1. Nilai $I_p H$ dan $I_p M$ berdasarkan D/B

D/B	$I_p H$	$I_p M$
5	12	13
25	18	20
100	24	30

Dari teori Broms untuk lendutan/defleksi pada tiang fleksibel dengan rumus sebagai berikut:

$$y_o = \frac{0.93 H}{(n_h)^{\frac{3}{5}} (E_p I_p)^{\frac{2}{5}}} \quad (4)$$

Dimana:

- H = Beban lateral
- L = Panjang tiang
- n_h = koefisien modulus tanah
- E_p = Modulus elastisitas tiang
- I_p = Momen inersia tiang

Daya Dukung Akibat Beban Lateral

Untuk menghitung beban lateral maksimum tiang pancang fleksibel pada tanah pasir digunakan gabungan teori sebagai berikut:

- Menurut Meyerhof dan Yalcin daya dukung tiang pancang tunggal vertikal akibat beban lateral sebagai berikut:

Untuk tanah pasir:

$$Q_{hl} = 0.125 \gamma B Deu^2 K_b \quad (5)$$

Dimana:

- Q_{hl} = Daya dukung tiang pancang akibat beban lateral
- γ = Berat isi tanah pasir
- B = Diameter tiang pancang
- K_b = Koefisien tekanan tanah lateral
= $(K_p - K_a) \cdot S_{bu}$
- K_a = $\tan^2 (45 - \phi/2)$
- K_p = $\tan^2 (45 + \phi/2)$
- S_{bu} = faktor bentuk tiang pancang
- Deu = $1.65 K_r^{0.12}$

- Menurut Broms (1964) untuk daya adalah sebagai berikut:

$$Q_u = \frac{M_{max}}{e^{+0.54} \sqrt{\frac{Q}{\gamma L K_p}}} \quad (6)$$

Dimana:

- M_{max}
- Q = $3D \cdot \gamma \cdot L \cdot K_p$ (Broms, 1964)
- D = Diameter tiang
- L = Panjang tiang dalam tanah
- K_p = Koefisien tekanan tanah pasif
- e = Eksentrisitas dari beban lateral
- f = $0.82 \sqrt{\frac{Q}{D \gamma K_p}}$

Untuk momen batas (M_o) secara teoritis dari beban lateral adalah sebagai berikut:

$$M_o = m \cdot Q_{90} \cdot D \quad (7)$$

Dimana:

- m = 0.7 untuk pasir (Koumoto Meyerhof,

Journal)

- Q_{90} = Daya dukung tiang pancang
= $0.125 K_o \gamma B D^2 N_{q1}$
- K_o = koefisien tekanan tanah diam
= $1 - \sin \phi$
- γ = berat isi tanah pasir
- N_{q1} = faktor daya dukung untuk bebas lateral (Mayerhof 1981)
- B = diameter tiang
- D = kedalaman tiang

Tanah Pasir

Pasir merupakan salah satu jenis tanah yang memiliki peran sebagai pendukung dari suatu pondasi Tanah pasir memiliki rongga yang besar sehingga pertukaran udara dapat berjalan dengan lancar. Pasir dibedakan menjadi 2 yaitu:

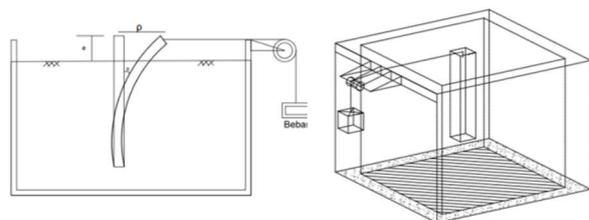
1. Pasir alam, yaitu pasir yang bersumber dari gunung, sungai, pasir laut, bekas rawa dan ada juga dari pasir galian.
2. Pasir pabrikasi, yaitu pasir yang didapatkan dari penggilingan bebatuan yang kemudian diolah dan disaring sesuai dengan ukuran maksimum dan minimum agregat halus.

Pasir homogen adalah pasir yang memiliki penampilan dan komposisi yang seragam umumnya mudah ditemukan sehingga dalam penelitian ini digunakan pasir homogen.

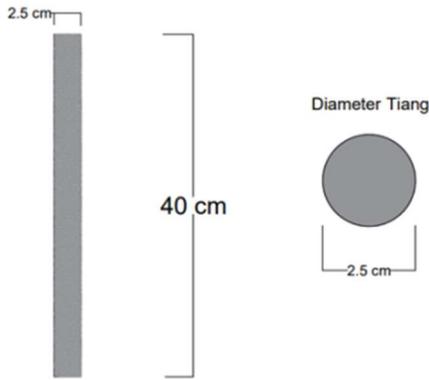
METODOLOGI PENELITIAN

Umum

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental di laboratorium. Penelitian eksperimental ini dimulai dengan mempersiapkan bahan yang akan diuji yaitu pasir. Sebelum dilaksanakan pengujian utama, terlebih dahulu dilakukan pengujian penunjang untuk mengetahui karakteristik dari pasir. Pelaksanaan pengujian berdasarkan prosedur-prosedur di laboratorium sesuai dengan standar ASTM (*American Society of Testing Material*). Kemudian dari hasil yang diperoleh akan dianalisis secara teori formula, grafik, dan tabel.



Gambar 3. Detail Alat Percobaan



Gambar 4. Detail Tiang Percobaan

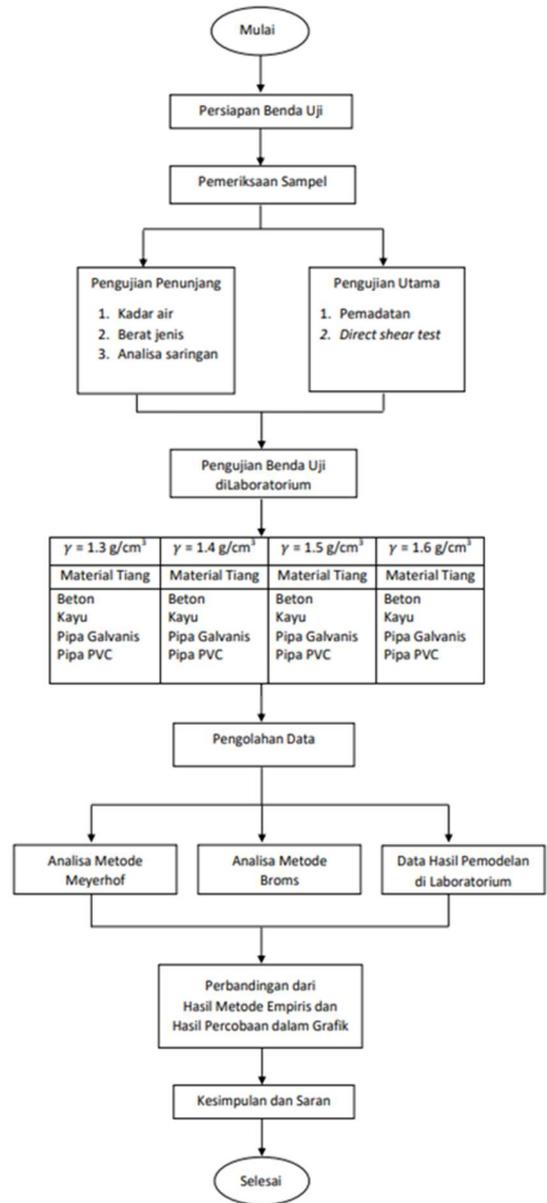
Prosedur Pengujian

Pengujian terdiri dari dua macam, yaitu pengujian pendahuluan dan pengujian utama. Untuk pengujian pendahuluan adalah pengujian terhadap sifat fisis dan mekanis tanah pasir, setelah itu dilakukan pengujian utama adalah pengujian yang dilakukan dalam kotak kayu berukuran 50 cm x 50 cm x 70 cm yang akan menjadi wadah untuk tanah pasir. Dengan prosedur pengujian sebagai berikut:

- Memasukkan sampel tanah pasir kedalam bak uji secara bertahap sesuai variasi berat isi (γ) yang sudah ditentukan.
- Tiang pancang dimasukkan dalam bak uji dan menyesuaikan tinggi dari katrol yang nantinya akan digantungkan beban yang ada.
- Beban digantung secara bersamaan dengan pemasangan katrol.
- Pembebanan dilakukan dengan selisih 1 menit untuk masing-masing penambahan beban.
- Pembebanan dilakukan dengan variasi beban yang ditentukan. Untuk penelitian digunakan pembebanan dimulai dari 0.5 kg, 1 kg, dan seterusnya sampai tiang tidak mampu menahan beban lagi.
- Pembacaan defleksi/lendutan pada tiang dengan mengukur jarak tiang semula lalu dikurangi dengan jarak tiang yang sudah terjadi defleksi/lendutan.
- Setelah pembacaan defleksi/lendutan diambil sampel pasir untuk pengujian kuat geser langsung.

Bagan Alir Penelitian

Penjelasan proses penelitian dituangkan pada bagan alir gambar 4.



Gambar 5. Bagan Alir Percobaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil pengujian karakteristik tanah pasir yang sudah dilampirkan pada tabel, yaitu nilai presentase saringan no. 200 adalah 0.37%, maka berdasarkan tabel klarifikasi USCS untuk presentase < 5% lolos saringan no. 200 dan nilai $C_u = 3.832$, $C_c = 1.598$ maka tanah ini secara umum dikategorikan kedalam golongan pasir bergradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak sama sekali mengandung butiran halus. Untuk hasil pengujian karakteristk tanah pasir adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Uji Karakteristik Tanah Pasir

No	Karakteristik	Nilai
1	Kadar Air	14.05 %
2	Berat Jenis	2.776
3	Lolos Saringan no. 200	0.37 %

Tabel 3. Hasil Uji Karakteristik Tanah Pasir

No	Berat Isi Tanah Basah (g/cm ³)	Berat Isi Tanah Kering (g/cm ³)	Kadar Air (%)
1	1.334	1.225	8.937
2	1.440	1.319	9.167
3	1.545	1.408	9.601
4	1.636	1.493	9.738

Dalam pengujian geser langsung dengan menggunakan tanah pasir didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Uji Karakteristik Tanah Pasir

No	Berat Isi Tanah basah (γ) (g/cm ³)	Kohesi (c) (kg/cm ²)	Sudut Geser (φ) (°)	Tegangan Geser (τ) (kg/cm ²)
1	1.3	0.038	27.09	0.164
2	1.4	0.038	34.30	0.225
3	1.5	0.040	38.11	0.260
4	1.6	0.047	40.45	0.296

Untuk kekakuan pondasi berdasarkan penentuan batas kondisi dari perhitungan didapat hasil tiang termasuk fleksibel pada semua jenis bahan yang dipakai dalam penelitian.

Tabel 5. Data Kekakuan Tiang

NO	Modulus Elastisitas Tiang (Ep)	Berat Isi tanah Pasir (γs)	Momen Inersia (Ip)	Panjang Tiang (D)	Diameter Tiang	Eksentrisitas (e)	Modulus Elastisitas Tanah (Es)	Kekakuan (Kt) (Meyerhof)	Kekakuan (q) (Broms)
	Kg/cm ²	g/cm ³	cm	cm	cm	cm	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	Beton 2 x 10 ⁵	1,3 1,4 1,5 1,6	1,917					0,0006	28,332
2	Kayu 1 x 10 ⁵	1,3 1,4 1,5 1,6	1,917					0,003	24,665
3	Ledeng 2,1 x 10 ⁵	1,3 1,4 1,5 1,6	1,37	40	2,5	16	250	0,00449	42,398
4	Pipa PVC 5 x 10 ⁴	1,3 1,4 1,5 1,6	1,37					0,000107	20,077

Dalam pengujian dilaboratorium dicari nilai defleksi dari tiap material yang digunakan serta beban dengan variasi kepadatan dari nilai berat isi tanah pasir adalah γ₁= 1.3 g/cm³, γ₂= 1.4 g/cm³, γ₃= 1.5 g/cm³, dan γ₄= 1.6 g/cm³.

Dalam menentukan pemadatan tanah pasir dalam bak uji sesuai dengan berat isi tanah pasir yang ditentukan bisa dengan cara yaitu mengkalculasi berat volume tanah yang ada dalam silinder pemadatan dikali dengan hasil

volume bak uji yang sudah dibagi dengan volume silinder pemadatan. Setelah dikontrol hasilnya sesuai lalu diaplikasikan ke bak uji. Kemudian dicatat data yang didapat sesuai pembebanan yang sudah ditentukan agar hasilnya bisa dicantumkan ke dalam tabel.

Tabel 6. Hasil defleksi pada variasi beban dengan γ = 1.3 g/cm³

Variasi γ (g/cm ³)	Beban (kg)	Jenis Tiang			
		Beton	Kayu	Pipa Ledeng	Pipa PVC
1.3	0	0	0	0	0
	0.5	0.25	0.3	0.2	0.3
	1	0.55	0.7	0.7	0.95
	1.5	1.1	1.6	1.3	1.7
	2	1.7	2.8	1.9	2.5
	2.5	2	3.6	2.5	2.95
	3	2.7	4.4	3.1	3.7
	3.5	3.2	5.2	3.6	4.2
	4	3.9	5.9	4.2	5.1
	4.5	4.35	7.1	4.9	5.9
	5	4.8	8.2	5.5	6.8
	5.5	5.8	9.1	6.4	7.7
	6	6.4	9.9	7.1	8.6
	6.5	6.9	10.6	8.35	9.5
	7	7.3	11	9.1	10.6
	7.5	8.3		9.85	12.2
8	9.1		10.7	13.4	
8.5	9.65		11.1	14.1	
9	10		11.9		
9.5			13.3		
10					
10.5					
11					
11.5					
12					
12.5					
13					
13.5					
14					
14.5					
15					
15.5					
16					

Tabel 7. Hasil defleksi pada variasi beban dengan γ = 1.4 g/cm³

Variasi γ (g/cm ³)	Beban (kg)	Jenis Tiang			
		Beton	Kayu	Pipa Ledeng	Pipa PVC
1.4	0	0	0	0	0
	0.5	0	0	0	0.3
	1	0.25	0.2	0.2	0.6
	1.5	0.6	0.35	0.7	1.2
	2	0.9	0.8	1.1	1.6
	2.5	1.3	1.3	1.35	2.2
	3	1.7	1.8	1.75	2.9
	3.5	2	2.5	2.4	3.2
	4	2.5	2.9	3.4	4.1
	4.5	2.9	3.6	4.2	5.4
	5	3.15	4.15	4.8	6.3
	5.5	3.5	4.65	5.4	7.6
	6	4	5.1	5.9	8.8
	6.5	4.4	5.7	6.65	9.8
	7	4.75	6.1	7.4	10.7
	7.5	5.3	6.6	8.1	11.9
8	6	7.1	8.8	12.5	
8.5	6.25	7.7	9.25	12.5	
9	6.7	8.2	9.7		
9.5	7.2	8.8	10.15		
10	7.7	9.4	10.6		
10.5	8.1	10.65	10.6		
11	8.6	11.4			
11.5	8.9	11.4			
12	8.9				
12.5	8.9				
13					
13.5					
14					
14.5					
15					
15.5					
16					

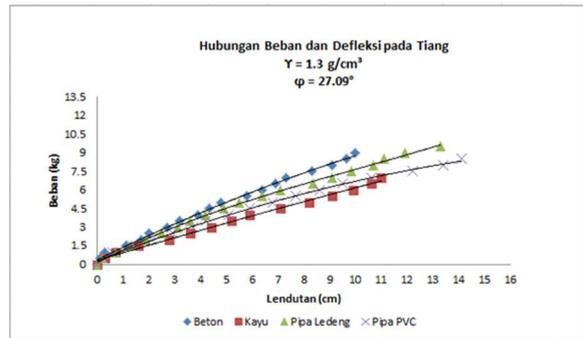
Tabel 8. Hasil defleksi pada variasi beban dengan $\gamma = 1.5 \text{ g/cm}^3$

Variasi γ (g/cm^3)	Beban (kg)	Jenis Tiang (cm)			
		Beton	Kayu	Pipa Ledeng	Pipa PVC
1.5	0	0	0	0	0
	0.5	0.25	0.2	0.2	0.1
	1	0.4	0.35	0.35	0.2
	1.5	0.65	0.5	0.5	0.35
	2	0.8	0.65	0.7	0.5
	2.5	1	0.9	0.9	0.75
	3	1.2	1.15	1.15	0.9
	3.5	1.35	1.3	1.5	1.2
	4	1.5	1.7	1.7	1.4
	4.5	1.75	1.95	2.05	1.9
	5	1.95	2.2	2.5	2
	5.5	2.2	2.6	2.75	2.3
	6	2.35	2.9	2.95	2.5
	6.5	2.6	3	3.2	2.8
	7	2.95	3.3	3.55	3
	7.5	3.1	3.6	3.9	3.2
	8	3.3	3.9	4.15	3.4
8.5	3.65	4.1	4.4	3.7	
9	3.8	4.4	4.7	3.9	
9.5	4.15	4.85	5	4.25	
10	4.35	5	5.35	4.5	
10.5	4.85	5.4	5.7	4.9	
11	5.3	5.9	5.95	5	
11.5	5.8	6.15	6	5.35	
12	6.3	6.4	6.3	5.7	
12.5	6.35	6.8	6.3	6	
13	6.35	7	6.3	6.25	
13.5	6.35	7.2		6.7	
14		7.55		6.9	
14.5		7.55		7.3	
15				7.3	
15.5					
16					

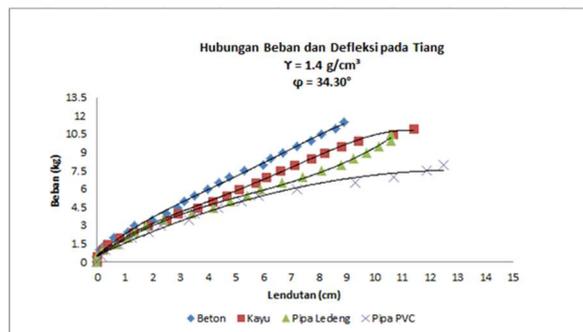
Tabel 9. Hasil defleksi pada variasi beban dengan $\gamma = 1.6 \text{ g/cm}^3$

Variasi γ (g/cm^3)	Beban (kg)	Jenis Tiang (cm)			
		Beton	Kayu	Pipa Ledeng	Pipa PVC
1.6	0	0	0	0	0
	0.5	0	0	0	0
	1	0	0.05	0	0
	1.5	0.1	0.15	0.1	0.15
	2	0.1	0.3	0.25	0.25
	2.5	0.25	0.75	0.4	0.5
	3	0.35	1.25	0.7	0.8
	3.5	0.4	1.5	0.95	1.05
	4	0.65	2.4	1.3	1.3
	4.5	0.8	2.9	1.85	1.5
	5	0.9	3.6	2.2	1.85
	5.5	1.2	4.5	2.5	2.25
	6	1.3	4.9	2.8	2.6
	6.5	1.5	5.35	3	2.9
	7	1.65	5.8	3.35	3.1
	7.5	1.85	6.3	3.8	3.5
	8	1.9	7.35	4.25	3.8
8.5	2.2	7.9	4.65	4	
9	2.4	8.5	4.9	4.25	
9.5	2.7	9.2	5.45	4.5	
10	2.75	9.7	5.9	4.8	
10.5	2.95	10	6.1	5	
11	3.25	10.3	6.45	5.35	
11.5	3.35	10.3	6.8	5.8	
12	3.6		7.1	6.2	
12.5	3.85		7.5	6.75	
13	4		7.9	7.35	
13.5	4.2		8.3	7.8	
14	4.2		8.5	8	
14.5	4.2		8.8	8.6	
15			8.8	9.2	
15.5				9.2	
16				9.2	

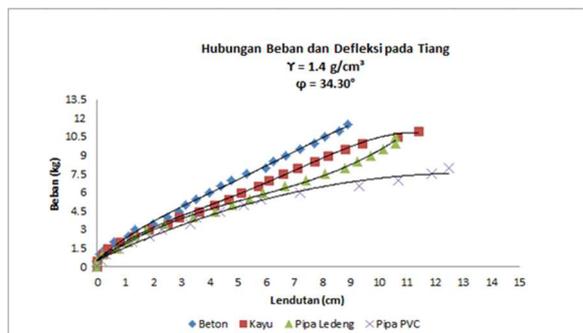
Dari percobaan dilaboratorium dengan pemodelan di dalam bak uji kotak, didapat hasil defleksi dari tiap variasi kepadatan berat isi tanah pasir yang digunakan kemudian dibuat dalam bentuk grafik hubungan beban dan defleksi dengan garis singgung sebagai patokan untuk menentukan beban batas dari tiap grafik tersebut. Dari hasil grafik hubungan beban dan defleksi dibuat gabungan grafik dari tiap berat isi tanah pasir dengan variasi bahan material tiang yang digunakan dapat dilihat dari grafik sebagai berikut:



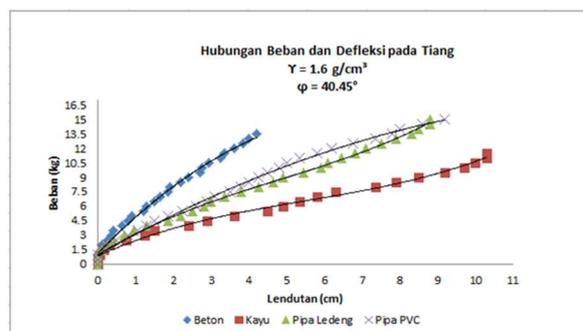
Gambar 6. Hubungan Beban Dan Defleksi Pada Variasi Material Tiang Nilai $\gamma = 1.3 \text{ g/cm}^3$



Gambar 7. Hubungan Beban Dan Defleksi Pada Variasi Material Tiang Nilai $\gamma = 1.4 \text{ g/cm}^3$



Gambar 8. Hubungan Beban Dan Defleksi Pada Variasi Material Tiang Nilai $\gamma = 1.5 \text{ g/cm}^3$

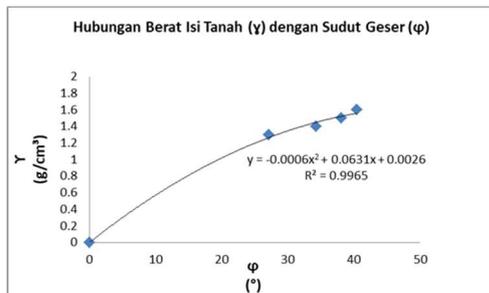


Gambar 9. Hubungan Beban Dan Defleksi Pada Variasi Material Tiang Nilai $\gamma = 1.6 \text{ g/cm}^3$

Kemudian dihitung daya dukung ultimate dari tiap beban yang didapat dari grafik lalu dibagi dengan luas. Hasil daya dukung ultimate percobaan yaitu sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil Beban Ultimate Percobaan Lab

Jenis Tiang	Berat isi tanah (γ)	Beban (Q)		Luas (A)		qu
		kg	cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	
Beton	1.3	1	306.25	0.003265		
	1.4	1	306.25	0.003265		
	1.5	0.5	306.25	0.001633		
	1.6	0.9	306.25	0.002939		
Kayu	1.3	1.5	306.25	0.004898		
	1.4	1.5	306.25	0.004898		
	1.5	1.5	306.25	0.004898		
	1.6	1	306.25	0.003265		
Ledeng	1.3	3	306.25	0.009796		
	1.4	3	306.25	0.009796		
	1.5	2	306.25	0.006531		
	1.6	2	306.25	0.006531		
Pipa PVC	1.3	3	306.25	0.009796		
	1.4	2.5	306.25	0.008163		
	1.5	3	306.25	0.009796		
	1.6	3	306.25	0.009796		



Gambar 10. Hubungan Berat Isi Tanah Pasir dan Sudut Geser Dalam

Dari gambar 10 diatas dapat dilihat pengaruh kepadatan tanah pasir pada parameter sudut geser dalam bahwa semakin besar berat isi tanah pasir yang digunakan maka semakin besar pula nilai sudut geser dalam yang didapat.

Untuk hasil perhitungan lendutan/defleksi dipakai teori Meyerhof dengan contoh hitungan sebagai berikut:

$$Y_o = \rho H = \frac{I_{\rho H} \cdot Q}{Es \cdot Deu \cdot F_{\rho'}}$$

$I_{\rho H} = 15,3$ (hasil interpolasi dari table 2.7)
 $Q = 1,0432$ kg (hasil hitungan dari daya dukung $\gamma = 1,3$ g/cm³ pada material beton)
 $Es = 250$ kg/cm²
 $Deu = 40$ cm
 $F_{\rho'} = 1$ (Faktor perpindahan batas dari buku Sastry)

$$Y_o = \rho H = \frac{15,3 \times 1,0432}{250 \times 40 \times 1} = 2,554 \text{ cm}$$

Untuk teori Broms contoh hitungan lendutan/defleksi diuraikan sebagai berikut:

$$Y_o = \frac{0,93 H}{(n_h)^{\frac{3}{5}} (E_p I_p)^{\frac{2}{5}}}$$

$H = 11,437$ kg (hasil hitungan dari daya dukung Broms $\gamma = 1,3$ g/cm³)

$n_h = 21$ t/m³ (untuk pasir medium diatas muka air tanah (Tabel 2.8)) = 0,021 kg/cm³

$E_p = 2.10^5$ kg/cm² (modulus elastisitas untuk beton)

$$I_p = \frac{1}{64} \pi D^4 \rightarrow D = 2,5 \text{ cm}$$

(diameter tiang)

$$Y_o = \frac{0,93 \times 11,437}{(0,021)^{\frac{3}{5}} ((2 \times 10^5) \times 1,917)^{\frac{2}{5}}} = 0,631 \text{ cm}$$

Sehingga untuk hasil lendutan pada teori dan percobaan dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 11. Hasil Perhitungan Lendutan Teori

Bahan Material	Berat isi tanah (γ)	Meyerhof	Broms
	g/cm ²	cm	cm
Beton	1.3	2.554	0.631
	1.4	5.401	0.833
	1.5	7.182	0.112
	1.6	2.788	1.257
Kayu	1.3	5.075	0.911
	1.4	8.849	1.202
	1.5	11.211	0.407
	1.6	7.406	1.814
Ledeng	1.3	6.191	1.151
	1.4	10.795	1.519
	1.5	13.677	0.514
	1.6	9.035	2.292
Pipa PVC	1.3	6.793	1.364
	1.4	11.844	1.800
	1.5	15.005	0.609
	1.6	9.913	2.717

Contoh hitungan Daya Dukung Teori Meyerhof Untuk material beton (Meyerhof)

$$Deu = 1.65 K_r^{0.12} = 1.65 \times (0,0006)^{0.12} = 0,677 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ka = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \rightarrow \phi_1 = 27,09 \text{ (hasil uji geser langsung } \gamma = 1,3 \text{ g/cm}^3)$$

$$= \tan^2 \left(45 - \frac{27,09}{2} \right) = 0,374$$

$$Kp = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 + \frac{27,09}{2} \right) = 2,672$$

$Sbu = 2,435$ (hasil interpolasi dari grafik faktor bentuk penampang, Sbu)

$$Kb = (Kp - Ka) \cdot Sbu = (2,672 - 0,374) \times 2,435 = 5,596$$

$B = 2,5$ cm (diameter tiang)

$$Q_{hl} = 0,125 \gamma B Deu^2 Kb = 0,125 \times 1,3 \times 2,5 \times (0,677)^2 \times 5,596 = 1,0432 \text{ kg}$$

Untuk contoh hitungan Momen batas menggunakan teori Meyerhof dan Sastry (1985)

$$M_o = m \cdot Q_{90} \cdot D$$

$m = 0.7$ untuk pasir (Koumoto Meyerhof, Journal)

$$Q_{90} = 0,125 K_o \gamma B D^2 N_{q1}$$

$$K_o = 1 - \sin \varphi$$

$$= 1 - \sin 27,09 \rightarrow (\text{hasil uji geser langsung } \gamma = 1,3 \text{ g/cm}^3)$$

$$= 0,544$$

$$\gamma = 1,3 \text{ g/cm}^3$$

$$N_{q1} = 13,20 \text{ (tabel faktor daya dukung Tanah Pasir, Meyerhof)}$$

$$B = 2,5 \text{ cm}$$

$$D = 40 \text{ cm}$$

$$Q_{90} = 0,125 \times 0,544 \times 1,3 \times 2,5 \times (40)^2 \times 13,20$$

$$= 4,668 \text{ kg}$$

$$M_o = 0,7 \times 4,668 \times 40$$

$$= 130,691 \text{ kg.cm}$$

Sehingga hasil momen batas dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 12. Hasil Perhitungan Momen Batas

Y g/cm ³	Nq1	Ko	Q ₉₀	Mo
			kg	kg.cm
1.3	13.20	0.544	4.668	130.6906
1.4	30.60	0.436	9.339	261.4783
1.5	50.91	0.383	14.625	409.4957
1.6	68.57	0.351	19.253	539.0855

Contoh hitungan daya dukung Teori Broms

$$\varphi_1 = 27,09^\circ$$

$$\gamma = 1,3 \text{ g/cm}^3$$

$$L = 24 \text{ cm (tiang tertanam)}$$

$$D = 2,5 \text{ cm}$$

$$K_p = 2,672$$

$$Q = 3D \cdot \gamma \cdot L \cdot K_p$$

$$= 3 \times 2,5 \times 1,3 \times 24 \times 2,672$$

$$= 625,248 \text{ g}$$

$$f = 0.82 \sqrt{\frac{Q}{D \gamma K_p}}$$

$$= 0.82 \sqrt{\frac{625,248}{2,5 \times 1,3 \times 2,672}}$$

$$= 6,958$$

$$M_{max} = Q (e + 0.67 f)$$

$$= 625,248 (16 + 0.67 \times 6,958)$$

$$= 12918,8 \text{ g} = 12,918 \text{ kg}$$

$$Q_u = \frac{M_{max}}{e + 0.54 \sqrt{\frac{Q}{\gamma L K_p}}}$$

$$= \frac{12918,8}{16 + 0.54 \sqrt{\frac{625,248}{1,3 \times 24 \times 2,672}}}$$

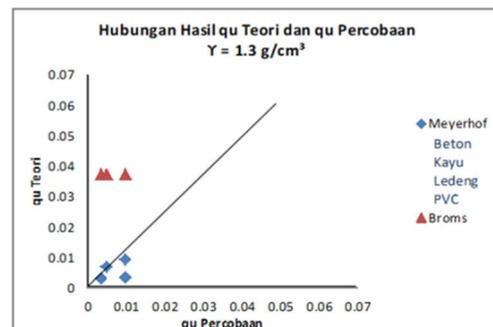
$$= 11437,11 \text{ g} = 11,437 \text{ kg}$$

Dari hasil daya dukung dari teori dan percobaan lalu dibagi dengan luas untuk hasil daya dukung tiang pancang batas/ultimate. Hasil perhitungan daya dukung tiang pancang ultimate dari percobaan dilaboratorium dan dari perhitungan dengan menggunakan teori dari Meyerhof (1988) dan teori Broms (1964) dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut:

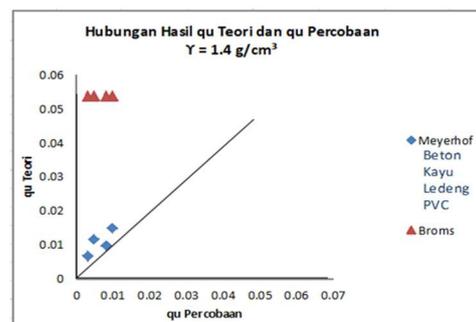
Tabel 13. Hasil Perhitungan qu Teori dan Percobaan

Y	Material Tiang	Teori		Percobaan
		Broms	Meyerhof	
1.3	Beton	0.0373457	0.0034064	0.0032653
	Kayu	0.0373457	0.0072045	0.0048980
	Ledeng	0.0373457	0.0095801	0.0097959
	Pipa PVC	0.0373457	0.0037193	0.0097959
1.4	Beton	0.0539155	0.0067695	0.0032653
	Kayu	0.0539155	0.0118030	0.0048980
	Ledeng	0.0539155	0.0149536	0.0097959
	Pipa PVC	0.0539155	0.0098788	0.0081633
1.5	Beton	0.0685136	0.0082586	0.0016327
	Kayu	0.0685136	0.0143993	0.0048980
	Ledeng	0.0685136	0.0182429	0.0065306
	Pipa PVC	0.0685136	0.0120518	0.0097959
1.6	Beton	0.0807635	0.0090608	0.0029388
	Kayu	0.0807635	0.0157979	0.0032653
	Ledeng	0.0807635	0.0200149	0.0065306
	Pipa PVC	0.0807635	0.0132224	0.0097959

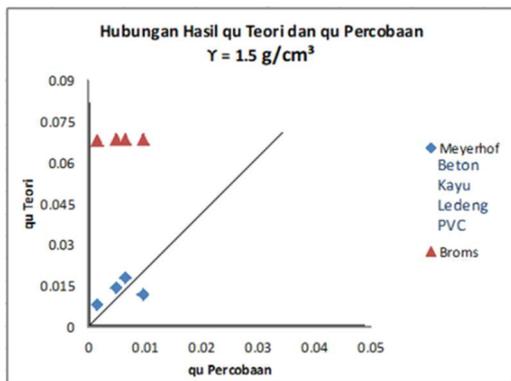
Kemudian dibuat dalam suatu grafik hubungan antara daya dukung ultimate percobaan dan daya dukung ultimate teori dengan garis linear atau garis 45° sebagai patokan untuk melihat perbandingannya. Grafik perbandingan antara daya dukung ultimate percobaan dan teori adalah sebagai berikut:



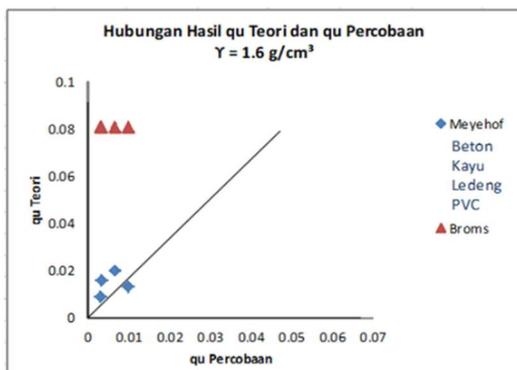
Gambar 11. Hubungan qu Percobaan dan qu Teori pada Y = 1.3 g/cm³



Gambar 12. Hubungan qu Percobaan dan qu Teori pada Y = 1.4 g/cm³



Gambar 13. Hubungan q_u Percobaan dan q_u Teori pada $\gamma = 1.5 \text{ g/cm}^3$



Gambar 14. Hubungan q_u Percobaan dan q_u Teori pada $\gamma = 1.6 \text{ g/cm}^3$

Dari gambar 11 sampai dengan gambar 14 hubungan antara nilai q_u percobaan dan q_u teori dapat dilihat bahwa titik hubungan hasil daya dukung dari teori Broms berada jauh dengan garis.

Sedangkan untuk teori Meyerhof hubungan antara nilai q_u percobaan dan q_u teori dapat dilihat bahwa titik hubungan hasil daya dukung berada dekat dengan garis.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari data-data hasil percobaan yang kemudian diaplikasikan dalam bentuk formula serta grafik maka didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian laboratorium untuk perilaku beban lateral eksentris terhadap beban dengan variasi kepadatan pada tanah pasir mengalami perubahan di setiap kepadatan, sehingga nilai berat isi tanah pasir sangat berpengaruh. Dari perbandingan sudut geser dalam dan kepadatan bahwa semakin besar kepadatan maka semakin besar pula nilai sudut geser dalam pada tanah pasir.
2. Untuk hasil hubungan beban dan defleksi pada variasi bahan tiang didapat hasil garis yang sama grafik pada nilai $\gamma = 1,5 \text{ g/cm}^3$ karena material pasir dalam pemadatan berpengaruh dari hasil pengujian. Dari hasil daya dukung ultimate percobaan dan daya dukung ultimate secara teori bahwa titik-titik hubungan yang mendekati dengan garis 45° atau garis linear dari 4 variasi berat isi tanah pasir terdapat pada hasil perhitungan dari teori Meyerhof. Dari perbandingan daya dukung ultimate secara teori pada penelitian ini bahwa teori Broms kurang begitu akurat untuk perhitungan daya dukung pada penelitian ini.

Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik maka penelitian lebih lanjut dengan beberapa tambahan teori-teori yang berkaitan dengan beban lateral. Dalam penelitian sebaiknya dilakukan dengan variasi diameter tiang dan pengukuran defleksi pada kurun waktu yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Assa, S., 1997. *Perilaku Tiang Pancang Tunggal Vertikal di Tanah Pasir Akibat Beban Horizontal* [skripsi]. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Bowles, J. E., 1991. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1 Edisi Keempat*. Erlangga, Jakarta.
- Broms, B., 1964. *Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils*. 90(SM3):123-157
- Balamba, S., 2010. *Pengaruh Jenis Tanah terhadap Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Akibat Beban Lateral dengan Metode Keandalan*. 08(54):66-75.
- Hardiyatmo, H., 2011. *Mekanika Tanah II Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

- Koumoto T, Meyerhof G. G., Sastry V. V. R. N., 1986. *Analysis Of Bearing Capacity Of Rigid Piles Under Eccentric And Inclined Loads*. Canadian Geotechnical Journal.Vol.23, No.02; pp 127-131.
- Manoppo, F. J., 2009. *Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Fleksibel Tunggal Vertikal di Tanah Lempung Kepasiran Akibat Beban Lateral*.07(49):5-7.
- Meyerhoff G. G., Sastry V. V. R. N., Yalcin A.S., 1988. *Lateral Resistance and Deflection of Flexible Piles*.Canadian Geotechnical Journal.Vol.25, No.03; pp 511-522.
- Monoliwung, C., 1999. *Analisa Pembebanan Eksentris Pada Pondasi Telapak* [Skripsi]. Universitas Sam Ratulangi.
- Poulos, H. G., Davis E. H., 1980. *Piles Foundation Analysis and Design*. Canada.
- Sastry V. V., Sumampouw J. E. R., dan Manoppo F. J., 1994. *Deflection Behavior of Flexible Pile in Homogeneous Soils Subjected to Horizontal Loads*.
- Sumampouw, A. G., 1997. *Perilaku Tiang Pancang Tunggal dengan Variasi Kekakuan Akibat Beban Lateral Pada Tanah Lempung Terganggu* [Skripsi]. Universitas Sam Ratulangi Manado.

Halaman ini sengaja dikosongkan