

KAJIAN EFISIENSI PADA KELOMPOK TIANG DENGAN KONFIGURASI 3 X 3

Fikri Irfanil Azami¹⁾ Eka Priadi,²⁾ Vivi Bachtiar²⁾

fikri.sipil12@gmail.com

ABSTRAK

The condition of soil is the most important to be identified in planning and constructing a construction on it. Soil condition in West Kalimantan, especially in the city of Pontianak in general is the form of soft soil and its surface layer contains organic materials as a result of weathering wood and soil with a better carrying capacity can only be found at a depth of 30-40 meters. To overcome the poor condition of soil carrying capacity, the early works must be done to improve soil bearing capacity, the thing that is often used in Pontianak is using pile. The possibility of a construction consisting of a single pile is very rare, generally at least two or more piles are fitted under the pile cap of the foundation. The number possessed by those group of piles has different efficiency values, because the number of piles affect the efficiency of the pile group. In this test the testing preparation testing of pile group loading with the same configuration and number of piles with different pile distance will be done, the distance of 3D and 4D will be used. Differences in the distance between the piles in the pile group were done to determine the effect of the distance between the piles on the efficiency of the pile group. From the test results, it is known that the difference in pile distance in a group of piles affects the efficiency of a pile group. The results of 3D pile group loading have smaller efficiency than the pile group with 4D distance. This is because the factor of stress spreading around the overlapping pile will be smaller if the distance of the pile is greater.

Keywords : *Efficiency of Pile Group, Loading Test, Bearing Capacity of Soil.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia, khususnya Pontianak merupakan daerah yang sedang berkembang di bidang ekonomi yang ditandai dengan banyaknya pembangunan. Kita perhatikan beberapa tahun terakhir di Pontianak sedang marak-maraknya pembangunan gedung-gedung baru, bangunan-bangunan yang mengalami pengembangan lanjutan, kawasan yang sedang dalam proses pengadaan prasarana fisik yang disadari sebagai salah satu faktor penunjang proses pembangunan itu sendiri.

Untuk merancang pembangunan-pembangunan fisik di kota Pontianak, secara umum masih menemui masalah dengan keadaan tanah karena kondisi tanah yang kurang baik. Kondisi tanah yang ada di Pontianak pada umumnya berupa tanah lunak dan lapisan permukaannya mengandung bahan-bahan organik sebagai akibat dari pelapukan kayu.

Kondisi ini memberikan suatu daya dukung tanah yang rendah terhadap suatu sistem konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Sedangkan tanah dengan daya

dukung yang lebih baik baru dapat ditemui pada kedalaman 30-40 meter. Hal tersebut tentu menjadi kendala bagi perencana bangunan/para ahli teknik sipil dalam merencanakan konstruksi yang akan dibangun di atasnya.

Untuk mengatasi kondisi daya dukung tanah yang kurang baik tersebut, maka dilakukan pekerjaan-pekerjaan awal untuk memperbaiki daya dukung tanah, seperti mengganti tanah yang kurang baik dengan tanah yang lebih baik atau menstabilisasi tanah dengan metode-metode yang lebih tepat.

Dari beberapa pilihan untuk memperbaiki daya dukung tanah, hal yang sering digunakan di Pontianak adalah penggunaan tiang pancang, baik tiang pancang yang terbuat dari kayu, beton dan/atau baja.

Kemungkinan konstruksi terdiri dari tiang pancang tunggal sangat jarang, umumnya paling sedikit dua atau lebih tiang pancang dibawah *pilecap* fondasi. Jumlah yang dimiliki oleh kelompok tiang tersebut memiliki nilai efisiensi yang berbeda pula, karena jumlah tiang dan jarak antar tiang dapat mempengaruhi efisiensi kelompok tiang.

1.2. Rumusan Masalah

Penggunaan tiang pancang dalam upaya memperbaiki daya dukung tanah yang kurang baik adalah merencanakan suatu fondasi yang kuat dan ekonomis. Artinya bagaimana cara mendapatkan daya dukung tiang yang besar berdasarkan jarak antar tiang, diameter tiang dan kedalaman suatu tiang pada jenis tanah tertentu.

Pada pertimbangan daya dukung kelompok tiang dengan jumlah tertentu dan jarak tertentu akan memiliki daya dukung yang berbeda. Hal ini dikarenakan faktor penyebaran tegangan disekeliling tiang yang saling tumpang tindih. Untuk itu diperlukan nilai koreksi terhadap daya dukung tiang kelompok yang dinyatakan dengan efisiensi.

Berdasarkan uraian diatas, maka permasalahan yang timbul dalam penulisan penelitian ini adalah berapa besar pengaruh jarak antar tiang terhadap efisiensi daya dukung kelompok.

1.3. Batasan Masalah

- Penelitian dilakukan pada jenis tanah lempung yang berlokasi di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, diantara ruang kuliah D18 dan laboratorium tenaga tegangan listrik.
- Sistem penelitian di lapangan yaitu meneliti pengaruh tiang pancang (cerucuk) dengan kedalaman ± 4 m di bawah permukaan tanah terhadap beban vertikal.
- Kekuatan bahan tiang pancang (cerucuk) dianggap kuat dan kaku.
- Tiang pancang (cerucuk) yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan tiang cerucuk berdiameter (D) 6 cm.
- Komposisi kelompok tiang yang digunakan adalah 3x3.
- Jarak as ke as antar tiang adalah 3D dan 4D.
- Hasil daya dukung kelompok tiang dengan jarak 3D akan dibandingkan dengan daya dukung kelompok tiang dengan jarak 4D
- Uji pembebanan tiang di lapangan menggunakan *Loading test* yang dilakukan dengan metode *Quick Mantained Loading Test* secara bertahap.
- Pengambilan beban rencana percobaan *Loading test* tiang tunggal

menggunakan hasil dari tes sondir dan perhitungan data uji laboratorium.

- Pengambilan beban rencana percobaan *Loading test* kelompok tiang didapat dari daya dukung tiang tunggal menggunakan perhitungan efisiensi dari *Formula Converse-Labarre*.
- Pengujian pembebanan tiang menggunakan masing-masing 2 kali percobaan baik untuk kelompok tiang maupun tiang tunggal.
- Pemodelan *pilecap* menggunakan pelat besi dengan tebal 1 cm.
- Hasil interpretasi data uji laboratorium menggunakan Metode Mayerhorf (1976) untuk menentukan daya dukung ujung tiang dan Metode Tomlinson (1986) untuk menentukan daya dukung selimut tiang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penyelidikan Tanah

2.1.1. Pengambilan Sampel Tanah

Teknik pemboran dalam umumnya dipakai untuk penyelidikan geoteknik bagi kepentingan perencanaan fondasi. Dengan pemboran, contoh tanah maupun batuan dapat diambil dan diuji di laboratorium untuk klasifikasi, pengujian sifat fisis maupun sifat mekanisnya.

Pengambilan sampel tanah dapat menggunakan bor tangan atau bor mesin hingga kedalaman tertentu.

2.1.2. Pengujian Laboratorium

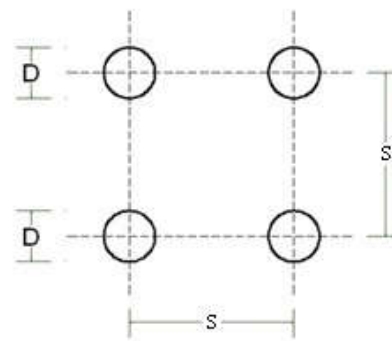
Daya dukung fondasi tiang berdasarkan data uji laboratorium biasanya disebut juga dengan cara statis. Contoh tanah yang diperoleh dari pemboran diuji di laboratorium untuk klasifikasi dan pengujian sifat fisis serta mekanisnya. Tujuan pengujian di laboratorium pada dasarnya adalah untuk memperoleh parameter yang dibutuhkan dalam analisis.

2.2. Penyelidikan Tanah di Lapangan

2.2.1. Tes Sondir (*cone penetration test*)

Cone Penetration Test (CPT), yang lebih dikenal dengan nama uji sondir, merupakan metode penetrasi statik pada penyelidikan tanah di lapangan. Dalam pengujian ini, suatu alat berbentuk kerucut (konus) ditekan ke dalam tanah dengan kecepatan konstan dan perlawanan tanah terhadap penetrasi tersebut diukur sebagai tahanan ujung (q_c) dan gesekan selimut (f_s). Untuk tanah lempung biasanya

digunakan kerucut gesekan Begeman (*bikonus, 1965*). Konus ini mempunyai suatu gesekan yang dipasang pada batang-batang dibelakan kerucut. Sistem batang dalam dan batang luar memungkinkan gerakan kerucut sendirian ataupun kerucut dan selubung secara bersamaan. Sehingga kedua-duanya yaitu daya dukung kerucut q_c dan gesekan selubung tanah f_s terukur sekaligus.



Gambar 1. Jarak kelompok tiang

2.2.2. Uji Pembebanan Tiang (*Pile Loading Test*)

Uji pembebanan tiang pada prinsipnya adalah memberikan beban uji pada kepala tiang sampai suatu harga tertentu sampai beban maksimum yang direncanakan, kemudian diukur penurunan atau deformasi yang terjadi. Penurunan yang terjadi ini terdiri dari deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang diakibatkan oleh pemendekan elastis pada tiang dan tanah, sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang diakibatkan oleh terjadinya keruntuhan tanah pendukung pada ujung atau sekeliling tiang. Dengan demikian, uji pembebanan tiang ini akan memberikan hasil yang cukup teliti jika dapat mengukur dengan teliti besarnya deformasi tersebut. Kemudian dari hubungan antara besarnya penurunan dari beban ini dapat ditentukan besarnya daya dukung fondasi tiang tersebut.

2.3. Kelompok Tiang (*pile group*)

Pada hakekatnya fondasi tiang selalu dalam bentuk kelompok (*pile group*). Sangat jarang terjadi fondasi tiang sebagai sebuah tiang tunggal (*single pile*). Diatas *pile group* biasanya diletakkan suatu konstruksi *pilecap* yang mempersatukan tiang tersebut.

Dalam perhitungan-perhitungan *pilecap* dianggap dibuat kaku sempurna, sehingga:

- Beban-beban yang bekerja pada kelompok tiang tersebut menimbulkan penurunan, maka setelah itu bidang *pilecap* tetap merupakan bidang datar.
- Gaya-gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang-tiang tersebut.

a. Jarak Antar Tiang Minimum

Berdasarkan pada perhitungan daya dukung tanah disyaratkan:

Pada suatu kelompok tiang, jarak antar tiang pancang memiliki fungsi sesuai kondisi tanah tempat berdirinya tiang pancang tersebut. Untuk tiang pancang yang memiliki daya dukung ujung pada tanah keras memiliki jarak minimum $2D$ hingga $2,5D$ atau 75 cm, untuk tiang pancang yang memiliki daya dukung ujung pada batuan keras memiliki jarak minimum $2D$ atau 60 cm, dan untuk tiang pancang yang dominannya memiliki daya dukung pada selimut tiang memiliki jarak minimum $2D$ hingga $5D$ atau 75 cm.

2.4. Daya Dukung Fondasi Tiang

Untuk mengetahui daya dukung fondasi tiang dapat dilakukan berdasarkan data hasil uji laboratorium dan data hasil uji lapangan. Daya dukung fondasi tiang berdasarkan data hasil uji laboratorium biasanya disebut juga dengan cara statis. Dan dari hasil pengujian lapangan dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti tes sondir dan *loading test*.

2.4.1. Daya Dukung Fondasi Tiang Berdasarkan Hasil Uji Pembebanan

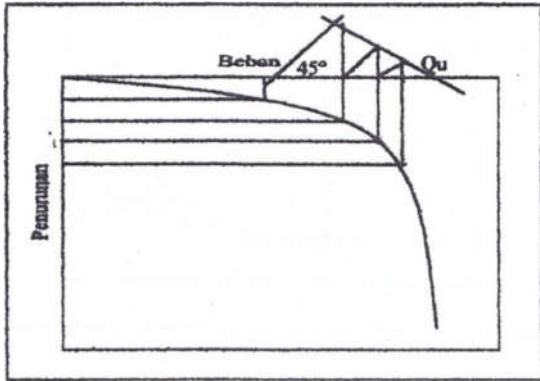
Penentuan daya dukung dapat dilakukan berdasarkan interpretasi hasil pembebanan tiang. Terdapat banyak sekali metode / cara interpretasi daya dukung dari hasil uji pembebanan tiang. Namun pada dasarnya dapat dikelompokkan atas 2 macam cara, yaitu :

2.4.1.1. Cara Grafis

Nilai yang diperoleh dari cara grafis sangat bergantung pada pertimbangan seseorang, terutama pada skala gambar / grafik. Perubahan skala akan mengakibatkan nilai yang diperoleh akan berubah pula.

2.4.1.2. Metode Elastis Plastis (Cara Tangen)

Metode ini merupakan hubungan kurva beban versus penurunan. Beban batas ditentukan berdasarkan titik potong antara garis singgung pada bagian elastis dengan garis singgung pada bagian plastis dari kurva beban versus penurunan tersebut. Interpretasi daya dukung dengan metode elastis plastis dapat dilihat dari gambar.

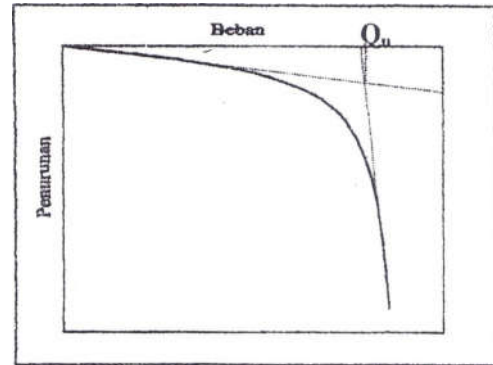


Gambar 2. Interpretasi Daya dukung Dengan Metode Elastis Plastis

2.4.1.3. Metode Mazurkiewich

Mazurkiewich mengasumsikan bahwa kurva beban versus penurunan adalah berbentuk parabolis. Prosedur penentuan daya dukung dengan metode ini adalah sebagai berikut :

- Diplot kurva beban uji yang diberikan terhadap penurunan.
- Menarik garis dari beberapa titik penurunan dengan interval yang sama hingga memotong kurva, garis ini disebut garis penurunan.
- Kemudian dari titik potong tersebut, ditarik garis vertikal hingga memotong sumbu beban, garis ini disebut garis beban.
- Dari titik potong garis beban dengan sumbu beban, ditarik garis 45° hingga memotong garis beban berikutnya dan seterusnya.
- Menghubungkan titik-titik potong yang terbentuk ini hingga menghasilkan sebuah garis lurus. Perpotongan garis lurus dengan sumbu beban inilah yang merupakan daya dukungnya.
- interpretasi daya dukungnya dengan metode mazurkiewich dapat dilihat dari gambar.



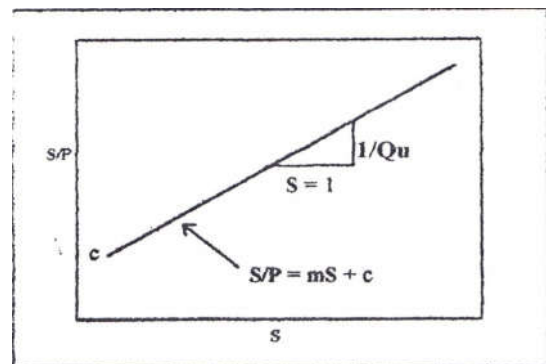
Gambar 3. Interpretasi Daya dukungnya Dengan Metode Mazurkiewich

2.4.1.4. Cara analitis

Metode Chin

Perhitungan daya dukung dari fondasi tiang dengan menggunakan Metode Chin adalah sebagai berikut :

Harga (S/P) vs S siplot pada suatu grafik, dimana S adalah penurunan tiang dan P adalah beban yang menyebabkan penurunan tiang sebesar S . Selanjutnya hasil hubungan (S/P) vs S merupakan suatu garis lurus. Koefisien arah dari garis lurus ini adalah $m = \text{tg } \alpha$. Kemudian harga $1/m$ merupakan harga beban batas (Q_u), yang kemudian dikoreksi dengan dibagi 1,2. Interpretasi daya dukung dengan metode chin dapat dilihat dari gambar.



Gambar 4. Interpretasi daya dukung dengan metode chin

2.5. Efisiensi Kelompok Tiang

$E_g =$ daya dukung kelompok tiang

jumlah tiang x daya dukung tiang tunggal

Formula untuk tanah pasiran

- *Formula Converse-Labarre*
- *Formula Los Angeles*
- *Formula Seiler-Keeney*
- *Mode Poulus & Davis (1980)*
- *Formula Feld*

3. METODOLOGI PENELITIAN

Secara umum penelitian ini merupakan studi lapangan menggunakan data *loading test* kelompok tiang hasil penelitian di lapangan dengan membandingkan efisiensi kelompok tiang dengan jarak 3D dan 4D. Hasil *loading test* kelompok tiang akan dihubungkan dengan perhitungan dari daya dukung tiang tunggal berdasarkan tes sondir, data uji laboratorium dan *loading test* tiang tunggal untuk mencari nilai efisiensi

Tabel 1. Propersties tanah

PENGUJIAN		Sampel I	Sampel II	Rata-rata
Kadar Air (w) %		109,43	102,42	105,93
Berat Volume Tanah Kering (dry) gr/cm ³		0,65	0,68	0,67
Berat Volume tanah jenuh (sat) gr/cm ³		1,367	1,374	1,371
Berat Jenis (Gs)		2,38	2,41	2,39
Analisa Distribusi Butiran	Lempung %	34	38	
	Lanau %	50	50	
	Pasir %	16	12	
Batas Cair (LL) %		61,38	62,95	
Batas Plastis (PL) %		34,72	31,78	
Indeks Plastisitas (IP) %		26,67	31,16	
Kohesi (c) kg/cm ²		0,065	0,071	0,068
Sudut Geser (ϕ) o		9,89	10	9,95

Sedangkan hasil interpretasi data *loading test* menggunakan tiga metode yaitu : Metode Elastis Plastis, Metode Mazurkiewich, dan Metode Chin, sehingga akan didapat daya dukung fondasi..

3.1. Penetapan Beban Rencana

Pengambilan beban percobaan menggunakan hasil dari tes sondir dengan

menggunakan persamaan Metode Schmertmann – Nottingham (1975) dan Uji Laboratorium.

3.2. Uji Pembebanan Tiang (*Loading Test*)

Uji pembebanan tiang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar daya dukung batas tiang. Daya dukung tiang rencana dihitung berdasarkan nilai daya dukung yang didapat dari data sondir. Untuk pelaksanaan uji pembebanan dilakukan dengan cara pembebanan tidak langsung, dimana prinsip kerjanya adalah tiang uji ditekan dengan menggunakan jack hidrolis yang diletakkan diatas tiang uji. Bagian bawah ditumpukkan pada suatu perkuatan menggunakan angkur.

a. Langkah Pekerjaan

Langkah-langkah dalam pekerjaan ini adalah sebagai berikut :

- Pasang peralatan yang diperlukan dalam uji pembebanan
- Setelah angkur terpasang, tempatkan meja beban lalu dikunci dengan sekrup pengunci hingga kuat.
- Siapkan jack hidrolis diatas tiang percobaan, bagian atas jack hidrolis harus menyentuh meja beban.
- Pasang arloji ukur pada dua sisi yang tepat untuk mengukur deformasi vertikal, kemudian atur bacaan pada arloji pada posisi nol.
- Lakukan pembebanan dengan beban awal hingga jarum pada beban arloji tidak bergerak lagi dan catat bacaan pada arloji.
- Tambahkan pembebanan sebesar 10% setiap kenaikan beban dari beban rencana sehingga tiang mengalami keruntuhan.

b. Prosedur Pembebanan

Pada penelitian ini pembebanan dilakukan dengan *Quick Maintained Loading Test Method*.

4. HASIL DAN ANALISA DATA

4.1. Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah

Tabel 2. Data Sondir Percobaan Tiang I

Tabel 5. Interpretasi Daya Dukung Jarak 3D

Sampel 1		Sampel 2	
Beban (KG)	Penurunan (mm)	Beban (KG)	Penurunan (mm)
1100	0	800	0
1200	1,3	900	0,185
1300	2,2	1000	0,63
1400	3,235	1100	1,035
1500	4,16	1200	1,46
1600	4,985	1300	2,08
1700	6,35	1400	2,795
1800	7,64	1500	3,38
1900	8,45	1600	3,775
2000	10,36	1700	5,13
2200	12,09	1800	6,15
2400	17,27	1900	7,46
2600	23,44	2000	8,73
2800	28,32	2200	12,32
3000	35,08	2400	16,18
3200	40,24	2600	19,35
		2800	25,77
		3000	32,68
		3200	40,62

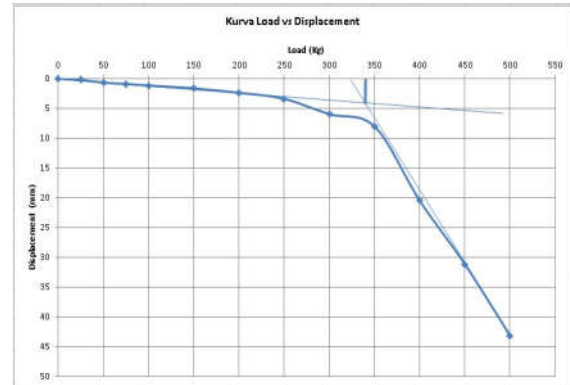
Tabel 6. Interpretasi Daya Dukung Jarak 4D

Sampel 1		Sampel 2	
Beban (KG)	Penurunan (mm)	Beban (KG)	Penurunan (mm)
500	0	800	0
600	0,55	900	0,08
700	0,92	1000	0,21
800	1,45	1100	0,41
900	1,72	1200	0,56
1000	2,31	1300	0,83
1100	2,41	1400	1,135
1200	2,85	1500	1,61
1300	3,75	1600	1,86
1400	4,18	1700	2,18
1500	4,79	1800	2,97
1600	5,35	1900	3,5
1700	5,62	2000	4,81
1800	6,5	2200	5,89
1900	7,23	2400	8,95
2000	8,03	2600	11,35
2200	10	2800	14,24
2400	13,03	3000	18,96
2600	16,18	3200	23,98
2800	20,85	3400	28,13
3000	27,4	3600	33,34
3200	33,7	3800	37,87
3400	40,82	4000	42,85

Dari hasil uji pembebanan, dapat dilakukan interpretasi untuk menentukan

besarnya daya dukung fondasi tersebut. Adapun metode yang digunakan adalah : Metode Elastis Plastis, Metode Mazurkiewich dan Metode Chin.

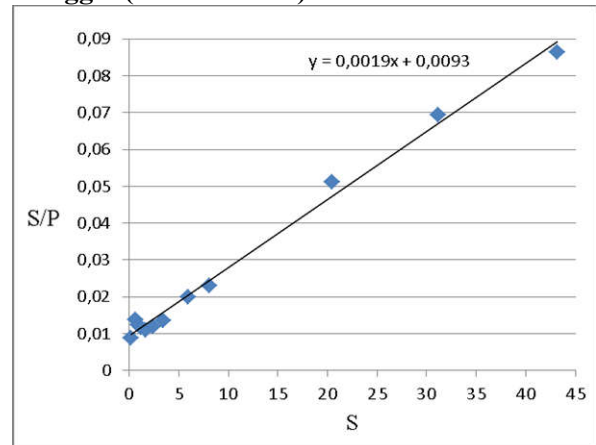
4.5. Analisa Daya Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Metode Elastis Plastis)



Gambar 5. Daya Dukung Elastis Plastis Tiang Tunggal (Sampel 1)

Dari grafik di atas didapat daya dukung dari tiang tunggal yaitu 340 kg

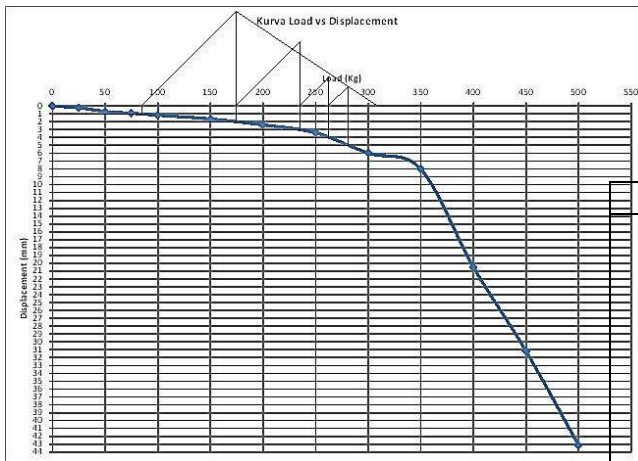
4.5. Analisa Daya Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Metode Chin)



Gambar 6. Daya Dukung Chin Tiang Tunggal (Sampel 1)

Dari grafik di atas didapat daya dukung dari tiang tunggal yaitu 438,60 kg

4.6. Analisa Daya Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Metode Mazurkiewich)



Gambar 7. Grafik Daya Dukung Mazurkiewich Tiang Tunggal (Sampel 1)

Dari grafik di atas didapat daya dukung dari tiang tunggal yaitu 308,13 kg

4.7. Analisa Hasil Penelitian

Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan dari data semua metode, menghasilkan nilai daya dukung yang berbeda. Hasil perhitungan dapat dilihat sebagai berikut:

- Analisa Hasil Daya Dukung Tiang Tunggal

Tabel 7. Perhitungan daya dukung tiang tunggal

Tes Laboratorium		739,789 kg		
Tes Sondir	Sampel 1	437,18 kg	469,97 kg	
	Sampel 2	502,76 kg		
Loading Test	Elastis plastis	Model 1	340 kg	337,5 kg
		Model 2	335 kg	
	Chin	Model 1	438,6 kg	438,6 kg
		Model 2	438,6 kg	
	Mazurkiewich	Model 1	308,1 kg	295,065 kg
		Model 2	282 kg	

- Analisa Hasil Daya Dukung Kelompok Tiang

Dari hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal berdasarkan tes laboratorium dan tes sondir didapatkan nilai daya dukung kelompok

tiang konfigurasi 3 x 3 dengan jarak 3D dan 4D, dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 8. Perhitungan daya dukung kelompok tiang berdasarkan data empiris

		Kg		Kg	
Kelompok Tiang Jarak 3D	Converse-labarre	Tes Lab	4840,44	3957,73	
		Tes Sondir	3075,01		
	Los Angeles	Tes Lab	5271,44	4310,13	
		Tes Sondir	3348,82		
	Seiler-keeney	Tes Lab	5858,46	4790,10	
		Tes Sondir	3721,74		
Poulus & Davis	Tes Lab	5040,18	4121,04		
	Tes Sondir	3201,91			
Feld	Tes Lab	4807,15	3930,51		
	Tes Sondir	3053,87			
Kelompok Tiang Jarak 4D	Converse-labarre	Tes Lab	5273,22	4311,58	
		Tes Sondir	3349,95		
	Los Angeles	Tes Lab	5618,11	4593,58	
		Tes Sondir	3569,05		
	Seiler-keeney	Tes Lab	5975,65	4885,91	
		Tes Sondir	3796,18		
Poulus & Davis	Tes Lab	5772,57	4719,87		
	Tes Sondir	3667,18			
Feld	Tes Lab	4807,15	3930,51		
	Tes Sondir	3053,87			

Berdasarkan hasil dari *loading test* kelompok tiang konfigurasi 3 x 3 dengan jarak 3D dan 4D dilakukan analisa perhitungan dengan metode elastis plastis, metode chin dan mazurkiewich, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 9. Perhitungan daya dukung kelompok tiang berdasarkan *loading test*

		kg		kg	
Kelompok tiang 3D	Elastis plastis	Model 1	2198,0	2264	
		Model 2	2330,0		
	Chin	Model 1	2777,8	2777,78	
		Model 2	2777,8		
	Mazurkiewich	Model 1	2234,3	2217,46	
		Model 2	2200,6		
Kelompok tiang 4D	Elastis plastis	Model 1	2380,0	2347,5	
		Model 2	2315,0		
	Chin	Model 1	2777,8	2777,78	
		Model 2	2777,8		

	Mazurkiewich	Model 1	2281,8	2260,24
		Model 2	2238,7	

4.8. Analisa Efisiensi Kelompok Tiang

Berdasarkan *formula converse-labarre* dan *formula feld* untuk kelompok tiang konfigurasi 3 x 3 dengan jarak tiang 3D dan 4D dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 10. Efisiensi kelompok tiang secara empiris

Metode	Jarak Antar Tiang	Efisiensi
<i>Formula Converse-Labarre</i>	3D	0,727
	4D	0,792
<i>Formula Los Angeles</i>	3D	0,792
	4D	0,844
<i>Formula Seiler-keeney</i>	3D	0,8799
	4D	0,8975
<i>Metode Poulus & Davis</i>	3D	0,757
	4D	0,867
<i>Formula Feld</i>	-	0,722

Berdasarkan hasil *loading test* kelompok tiang yang dibandingkan dengan hasil *loading test* tiang tunggal didapatkan hasil nilai efisiensi kelompok tiang yang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 11. Efisiensi kelompok tiang konfigurasi 3 x 3 dengan jarak 3D

Metode	Tiang Tunggal (kg)	Kelompok Tiang 3D (kg)	Efisiensi
Elastis plastis	337,5	2264	0,745
Chin	438,6	2777,78	0,704
Mazurkiewich	295,065	2217,46	0,835

Tabel 12. Efisiensi kelompok tiang konfigurasi 3 x 3 dengan jarak 4D

Metode	Tiang Tunggal (kg)	Kelompok Tiang 4D (kg)	Efisiensi
Elastis plastis	337,5	2347,5	0,773
Chin	438,6	2777,78	0,704
Mazurkiewich	295,065	2260,24	0,851

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Berdasarkan hasil analisa uji laboratorium, menggunakan sistem klasifikasi unfined tanah termasuk golongan OH yang mana tanah tersebut merupakan tanah lempung organik dengan palstisitas sedang sampai tinggi, sedangkan dengan menggunakan sistem klasifikasi tanah AASHTO tanah tersebut termasuk dalam klasifikasi A-7 dengan jenis-jenis bahan pendukung utama berupa lempung.
- Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal hasil tes laboratorium memiliki hasil yang paling besar dibandingkan dengan tes sondir dan *loading test* tiang tunggal. Untuk hasil dari *loading test* didapat bahwa hasil dari metode chin memiliki hasil terbesar, selanjutnya yaitu metode elastis plastis dan metode mazurkiewich.
- Berdasarkan hasil *loading test* kelompok tiang, kenaikan efisiensi dari kelompok tiang dengan jarak 3D ke 4D berdasarkan metode elastis plastis didapat kenaikan sebesar 3,69%, dari hasil metode mazurkiewich didapat kenaikan sebesar 1,93% sedangkan untuk metode chin tidak ada kenaikan efisiensi. Hasil analisa ini memiliki nilai kenaikan yang tidak jauh berbeda dari *formula converse-labarre* yaitu 8,94%, dari *formula los angeles* yaitu 6,58%, dari *formula seiler-keeney* yaitu 2,22%, dari *metode poulus & davis* yaitu 14,53%, sedangkan pada *formula feld* tidak ada kenaikan efisiensi.
- Jarak yang ada pada kelompok tiang dapat mempengaruhi efisiensi dari kelompok tiang itu sendiri, dan kelompok tiang dengan jarak yang lebih besar memiliki efisiensi yang lebih besar pula, ini dikarenakan semakin besar jarak suatu kelompok tiang maka semakin kecil penyebaran tegangan disekeliling tiang yang saling tumpang tindih pada kelompok tiang tersebut.

5.2. Saran

- Memperhitungkan beban rencana *loading test* sebaik-baiknya karena akan digunakan sebagai pembebanan didalam

loading test dan beban kontra sebagai penahan jack hidrolik.

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, Aswandi A. dan Ishan, Miki. 2009. *Perencanaan Pondasi Tiang*. Pontianak: Fakultas Teknik Untan.
- Bowles, Joseph E. 1992. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, Joseph E. 1999. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C. 1992. *Mekanika Tanah Jilid 1*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Poulos, H.G. & Davis, E.H. 1980. *Pile Foundation Analysis and Design*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Prakash, S & Sharma, H.D 1990. *Pile Foundation in Engineering Practice*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Rahardjo, Paulus P. 2013. *Manual Pondasi Tiang Edisi 4*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Saputra, Alkautsar. 2016. *Studi Daya Dukung Pondasi Tiang Tongkat Beton dengan Tapak Grid*. Skripsi Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Sardjono, H.S. 1991. *Pondasi Tiang Pancang Jilid 1*. Surabaya: Sinar Wijaya.
- Teng, W. 1962. *Foundation Design*. New Jersey: Englewoods Cliffs..
- Terzahi, K. & Peck, R. 1984. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 1 (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Tomlinson, M.J. 1994. *Pile Design and Construction Practice*. London, UK: E & FN Spon.