

KAJIAN EFISIENSI PADA KELOMPOK TIANG DENGAN KONFIGURASI 2 X 2

Herwin¹⁾., Eka Priadi²⁾., Aprianto, M.Sc²⁾

herwin.sipilst@gmail.com

ABSTRACT

The most important part that must be known in the construction planning of a construction is the condition of the land where the construction is built. In the Kalimantan area, especially in Pontianak city, it is generally a soft soil with a surface layer containing organic compound resulting from natural vegetation and good soil bearing capacity can be found at depths ranging from 30 to 40 meters. To overcome the poor soil conditions, the initial work was done to improve the carrying capacity of the soil. One of the most common ways is the use of piles. The possibility of construction standing on single pile is very rarely used, at least used two or more piles. The number in the pile group has different efficiency values because the number of poles influences the efficiency of the pole group. Thus, in this test, preparation of pile group load testing will be done with the same configuration and number of poles with different pole spacing 3 times the pole diameter (3D) and 4 times the pole diameter (4D). This is done to find out how much influence the distance between poles on the efficiency of the pole group. And from the test results, the efficiency obtained in the 3D distance pole group has a smaller efficiency than the pole group at a distance of 4D. This is because the spreading factor around the pole overlapping will be smaller if the distance between the poles is greater.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Semua konstruksi yang direkayasa untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh suatu pondasi. Pondasi ialah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kedalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya.

Untuk merancang pembangunan-pembangunan fisik khususnya di Kalimantan Barat, secara umum masih menemui masalah dengan keadaan tanah karena kondisi tanah yang kurang baik. Kondisi tanah yang ada di Kalimantan Barat pada umumnya berupa lempeng gambut yang bersifat lunak dan lapisan permukaannya mengandung bahan-bahan organik sebagai akibat dari pelapukan kayu (vegetasi asal).

Kondisi ini memberikan suatu daya dukung tanah yang rendah terhadap suatu sistem konstruksi yang akan dibangun diatasnya. 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 diatasnya.

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, menggunakan tiang pancang atau menstabilisasi tanah dengan metode-metode yang lebih tepat.

Dari beberapa pilihan untuk memperbaiki daya dukung tanah, hal yang paling sering digunakan di Kalimantan Barat adalah penggunaan tiang pancang, baik tiang pancang yang terbuat dari kayu, beton dan/atau baja. Tiang pancang kayu paling banyak digunakan di Kalimantan Barat karena pertimbangan harga maupun ketersediaan bahan baku yang memenuhi.

Kemungkinan konstruksi terdiri dari tiang pancang tunggal sangat jarang, umumnya paling sedikit dua atau tiga tiang pancang dibawah pilecap pondasi. Pola yang dibentuk oleh kelompok tiang tersebut sangat beragam dan memiliki nilai efisiensi yang berbeda pula.

1. Alumni Prodi Teknik Sipil FT. UNTAN

2. Dosen Prodi Teknik Sipil FT. UNTAN

1.2. Rumusan Masalah

Bila pada suatu pondasi harus digunakan beberapa tiang yang tersusun dalam suatu group, maka daya dukung yang didapat pada group ini tidak akan sama dengan daya dukung satu tiang dikalikan dengan jumlah tiang tersebut. Hal ini dikarenakan faktor penyebaran tegangan disekeliling tiang – tiang didalam tanah yang saling tumpang tindih, yang pada gilirannya dapat menyebabkan pengurangan daya dukung pondasi bersangkutan. Fenomena ini biasa disebut dengan group action. Untuk itu diperlukan nilai koreksi terhadap daya dukung tiang kelompok yang dinyatakan dengan efisiensi, yang nantinya harus dikalikan dengan daya dukung pondasi awal (kapasitas yang didapat dari penjumlahan kapasitas tiang – tiang anggota tersebut) sebagai akibat dari group action tersebut. Sehingga hasil dari perkalian inilah yang nantinya dipakai sebagai daya dukung pondasi tersebut.

Berdasarkan uraian diatas, maka permasalahan yang timbul dalam penulisan penelitian ini adalah berapa besar efisiensi antara daya dukung tiang pancang kelompok terhadap pengaruh jarak antar tiang (as ke as). Dalam penelitian ini, saya mencoba konfigurasi tiang 2 x 2 pada jarak as ke as 3D dan 4D.

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi kelompok tiang pancang dengan konfigurasi 2 x 2 pada jarak antar tiang 3D dan 4D dan memperoleh daya dukung tiang yang lebih efisien dan ekonomis. Dan dari hasil yang diketahui melalui penelitian ini diharapkan dapat merekomendasikan penggunaan kelompok tiang pancang kayu pada tanah lunak yang lebih efisien dan memiliki daya dukung yang lebih baik,

1.4. Batasan Masalah

- a. Kekuatan bahan tiang pancang (cerucuk) dianggap kuat dan kaku.
- b. Penelitian yang dilakukan di lapangan adalah meneliti pengaruh tiang pancang (cerucuk) dengan kedalaman ± 4 meter terhadap beban aksial.
- c. Pengujian lapangan dilakukan pada lapisan tanah lempung.

- d. Dalam penelitian ini tidak membahas analisis kimia dari unsur tanah yang digunakan.
- e. Tiang pancang yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan kayu cerucuk panjang 3,8 - 4 m dengan diameter 6 cm.
- f. Konfigurasi tiang yang digunakan adalah 2 x 2 dengan jarak as ke as pada kelompok tiang adalah 3D dan 4D.
- g. *Loading test* dilakukan sebanyak 2 kali percobaan, baik pada tiang kelompok maupun tiang tunggal menggunakan metode *Quick Maintained Load Test Method (QM Test)* sesuai dengan ASTM D1143-81 dengan interpretasi hasil pembebanan (*loading test*) menggunakan Metode Elastis Plastis, Metode Mazurkiewich dan Metode Chin.
- h. Beban rencana *Loading test* didapat dari hasil tes sondir dan perhitungan data uji laboratorium.
- i. Penentuan daya dukung laboratorium menggunakan Metode Mayerhorf (1976) untuk mencari daya dukung ujung (*end bearing*) tiang dan Metode Alpha (Tomlinson, 1986) untuk mencari daya dukung selimut (*friction*) tiang.
- j. Penentuan daya dukung data sondir digunakan Metode Schmertmann – Nottingham (1975).
- k. Perhitungan efisiensi pada daya dukung tiang kelompok dan daya dukung tiang tunggal menggunakan metode Converse – Labarre, Metode Feld dan Seiler – Keeney.
- l. Analisa efisiensi tiang hanya berdasarkan pada dimensi tiang (d) dan variasi jarak spasi tiang (s).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Identifikasi Tanah (*Soil Investigation*)

Penyelidikan tanah (*soil investigation*) adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui sifat - sifat dan karakteristik tanah untuk keperluan rekayasa (*engineering*). Adapun tujuan dari penyelidikan tanah ini pada umumnya mencakup maksud - maksud sebagai berikut :

- a. Untuk menentukan kondisi alamiah dan lapisan - lapisan tanah di lokasi yang ditinjau.
- b. Untuk mendapatkan sampel tanah asli (*undisturbed*) dan tidak asli

- (disturbed) untuk mengidentifikasi tanah tersebut secara visual dan untuk keperluan pengujian laboratorium.
- Untuk menentukan kedalaman tanah keras.
 - Untuk mempelajari kemungkinan timbulnya masalah khusus perilaku bangunan yang sudah ada di sekitar lokasi tersebut.

Untuk pengujian tanah yang dilakukan di lapangan terdiri dari : Boring test, Pengujian Sondir/CPT dan pengambilan contoh tanah tak terganggu (lempung/lanau) maupun contoh tanah terganggu.

- Pengujian Boring bertujuan untuk mengetahui jenis dan struktur tanah secara visual
- Pengujian Sondir bertujuan untuk mengetahui tingkat perlawanan tanah terhadap tekanan konus dan lekatan total. Hasil pengujian biasanya ditampilkan dalam bentuk grafik sondir.
- Pengambilan contoh tanah terganggu dan tak terganggu
- Pengambilan contoh tanah tidak terganggu (lempung/lanau) dan contoh tanah terganggu berguna untuk pengujian selanjutnya yaitu pada uji laboratorium.

2.2. Prosedur Perencanaan Pondasi Tiang

- Menentukan kriteria perencanaan, seperti beban – beban yang bekerja pada dasar tumpuan (poer), parameter tanah, situasi dan kondisi bangunan di sekitar lokasi, besar pergeseran yang diijinkan dan tegangan ijin dari bahan – bahan pondasi.
- Memperkirakan diameter, jenis, panjang, jumlah dan susunan tiang.
- Menghitung daya dukung vertikal tiang tunggal (single pile).
- Menghitung faktor efisiensi dalam kelompok tiang dan daya dukung vertikal yang diijinkan untuk sebuah tiang dalam satu kelompok tiang.
- Menghitung beban vertikal yang bekerja pada setiap tiang dalam kelompok tiang.
- Memeriksa beban yang bekerja pada setiap tiang apakah masih dalam batasan daya dukung yang diijinkan. Apabila tidak sesuai, maka perkiraan diameter, jumlah atau susunan tiang pada prosedur yang kedua harus diperiksa kembali

kemudian dilanjutkan dengan prosedur berikutnya.

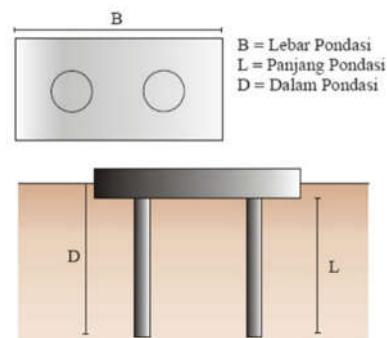
- Menghitung penurunan (bila diperlukan).
- Merencanakan struktur tiang.

Penggunaan Pondasi tiang memiliki keuntungan – keuntungan sebagai berikut:

- Dapat digunakan bila tiang tunggal tidak mempunyai kapastias yang cukup untuk menahan beban kolom.
- Kegagalan dari sebuah tiang dapat diminimalisasi dengan adanya tiang – tiang yang lain (prinsip *redundancy*).
- Menyebabkan terjadinya pemadatan tanah pada arah lateral, terutama pada pemancangan tiang. Hal ini akan meningkatkan tekanan tanah lateral yang bekerja di sekeliling tiang sehingga meningkatkan kapasitas tahanan geseknya.

2.3. Kelompok Tiang Pancang

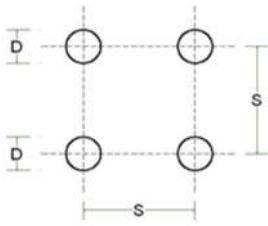
Pondasi tiang pancang yang umumnya dipasang secara berkelompok. Yang dimaksud berkelompok adalah sekumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu dibagian atasnya dengan menggunakan pile cap. Untuk menghitung nilai kapasitas dukung kelompok tiang, ada bebarapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, susunan tiang dan efisiensi kelompok tiang.



Gambar 1. Kelompok Tiang

2.4. Jarak Antar Kelompok Tiang

Berdasarkan pada perhitungan daya dukung tanah oleh Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L. disyaratkan : $S \geq 2,5 D$ dan $S \geq 3,0 D$.



Gambar 2. Jarak Kelompok Tiang

Ketentuan ini berdasarkan pada pertimbangan - pertimbangan sebagai berikut :

2.4.1. Bila $S < 2,5 D$

- Kemungkinan tanah di sekitar kelompok tiang akan naik terlalu berlebihan karena terdesak oleh tiang-tiang yang dipancang terlalu berdekatan.
- Terangkatnya tiang-tiang di sekitarnya yang telah dipancang lebih dahulu.

2.4.2. Bila $S > 3,0 D$

Apabila $S > 3D$ maka tidak ekonomis, karena akan memperbesar ukuran/dimensi dari poer (footing).

2.5. Metode Pembebanan Quick Maintained Load Test Method (QM Test)

Metode ini direkomendasikan oleh New York State of Department of Transportation, The Federal Highway Administration, dan ASTM D1143-81, terdiri dari tahapan-tahapan sebagai berikut :

- Bebani tiang dalam 20 tahapan hingga mencapai 200% dari beban rencana (misalnya dengan pembebanan sebesar 10% dari beban rencana untuk setiap kenaikan pembebanan).
- Pertahankan setiap pembebanan selama 1 - 5 menit dengan pengambilan bacaan setiap 1 - 2,5 menit.
- Setelah interval selama 1 - 5 menit, lepaskan seluruh beban dari kepala tiang dalam 4 tahapan pengurangan beban yang sama, dengan interval waktu 5 menit untuk setiap tahapan pengurangan beban tersebut.

Metode ini sangat cepat dan ekonomis, oleh karena waktu yang diperlukan dalam percobaan ini berkisar antara 3 hingga 5 jam. Metode ini lebih menggambarkan kondisi undrained dari interaksi antara tiang dan tanah.

2.6. Efisiensi Kelompok Tiang

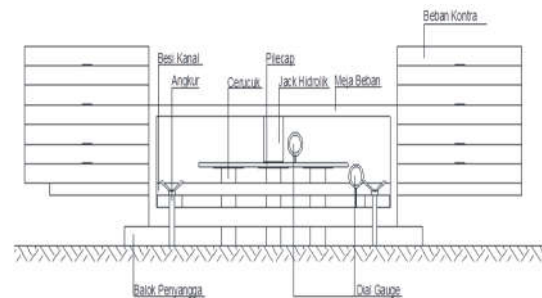
$$E_g = \frac{\text{daya dukung kelompok tiang}}{\text{jumlah tiang} \times \text{daya dukung tiang tunggal}}$$

2.6.1. Formula untuk tanah pasir

- Converse – Labarre
- Metode Feld
- Rumus Seiler – Keeney

3. METODOLOGI PENELITIAN

Secara umum penelitian ini merupakan studi lapangan menggunakan data loading test hasil penelitian di lapangan. Dalam penelitian ini hasil tes pembebanan kelompok tiang akan dihubungkan dengan perhitungan dari daya dukung tiang tunggal berdasarkan tes sondir, uji laboratorium dan loading test tiang tunggal untuk mencari nilai efisiensi.



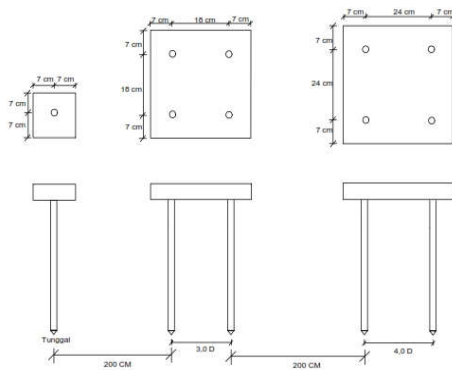
Gambar 3. Model pembebanan

Sedangkan hasil interpretasi data loading test menggunakan Metode Elastis Plastis, Metode Mazurkiewich, dan Metode Chin sehingga didapat daya dukung pondasi yang akan digunakan untuk mencari nilai efisiensi. Setelah itu akan dilakukan pendekatan rumus efisiensi diantaranya : Formula Converse – Labarre, Formula Feld dan Formula Seiler Keeney.

Penelitian yang dilakukan meliputi :

- Hand bore untuk pengujian sampel untuk memeriksa sifat fisik dan mekanis tanah.
- Melakukan test sondir dengan tujuan mencari beban rencana loading test dan daya dukung tiang tunggal.
- Pembersihan lokasi penelitian.
- Penancangan tiang beserta tapak pondasi.
- Persiapan loading test.

- f. Loading test dilakukan dengan metode Quick Mantained Loading Test secara bertahap.



Gambar 4. Model Susunan tiang pancang

3.1. Penetapan Beban Rencana

Pengambilan beban percobaan menggunakan hasil dari tes sondir dengan menggunakan Metode Schmertmann – Nottingham (1975) dan Uji Laboratorium.

3.2. Peralatan Pembebanan

Adapun peralatan yang digunakan pada uji pembebanan ini antara lain :

- Tiang cerucuk dengan panjang kedalam tanah ± 4 m
- 8 besi kanal dan sekrup pengunci
- Arloji ukur (dial gauge) 2 buah
- Jack Hidrolik dengan kapasitas 10 ton dengan ketelitian 50 kg.
- Stopwatch untuk mengukur waktu pembebanan.
- Meja beban dari bahan baja.
- Pelat baja.
- Pelat beton untuk beban kontra.

Pada penelitian ini pembebanan dilakukan dengan Quick Maintained Loading Test Method. Prosedurnya berdasarkan ASTM D.1143-81 yaitu sebagai berikut :

3.3. Prosedur pengukuran

Untuk pergerakan kepala tiang dilakukan pembacaan pergerakan terhadap waktu dengan pencatatan pergerakan dilakukan dengan ketentuan:

- Pembacaan terhadap pengukuran waktu serta beban serentak dilakukan pada saat beban diberikan yaitu setiap interval 30 detik.
- ii. Bila terjadi keruntuhan, baik sebelum maupun sesudah tercapai beban

maksimum ketika penambahan beban percobaan tetap harus dibaca.

- iii. Hasil Pembacaan dapat dilihat dari grafik hubungan beban versus penurunan.

3.4. Pembacaan Penurunan

Pembacaan dilakukan dengan menggunakan dial pengukur displacement yang dipasang pada kedua sisi tiang.

3.5. Pembacaan beban

Dalam hal ini digunakan jack hidrolik, yang dipasang diatas tiang.

3.6. Penentuan beban batas

Penentuan beban batas dilakukan dengan cara tes pembebanan tiang.

3.7. Hal-hal yang Perlu Diperhatikan Dalam Uji Pembebanan

Untuk mendapatkan hasil yang teliti, maka harus diperhatikan beberapa hal sebagai berikut :

- Berapa lama setelah tiang dipancang, tiang itu dapat dilakkan uji pembebanan. Mengenai hal ini sebelumnya ada beberapa peraturan sebagai pegangan dapat diikuti petunjuk yaitu direkomendasikan pengujian tiang pada tanah berbutir halus dilakukan paling cepat setelah 2 minggu setelah pemancangan. Pada tanah lanau kepasiran dan pasir halus, disipasi tekanan air pori dapat berlangsung dengan cepat. Pada material granular, pengujian tiang dapat dilakukan lebih cepat berkisar 5 hari hingga 1 minggu setelah pemancangan. Pada prinsipnya, lama selang waktu itu dimaksudkan untuk memberi kesempatan tanah sudah sepenuhnya mendukung.
- Bagian tiang yang menonjol diatas tanah harus sependek mungkin untuk menghindari terjadinya bahaya tekuk. Jika uji pembebanan dilakukan di darat maka bagian yang menonjol ini tidak boleh dari 60 cm dan jika uji pembebanan dilakukan di air, maka bagian yang menonjol ini bisa saja lebih panjang asal dilakukan pengontrolan terhadap bahaya tekuk ini. Jika terjadi bahaya tekuk maka bagian yang menonjol harus diperkaku.
- Pengujian yang menggunakan tiang anker, maka posisi tiang anker dari balok penahan harus dikontrol setiap

interval tertentu, ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya lendutan balok dan juga menjaga kemungkinan tercabutnya tiang anker.

- b. Jack hidrolik harus dilindungi sinar matahari, agar oliya tidak memuai yang dapat mengakibatkan beban uji tidak tetap.
- c. Pada waktu pelaksanaan, tidak dilakukan pemancangan dalam radius 100 meter dari tempat pengujian. Adanya pemancangan mengakibatkan tidak tetapnya posisi jarum dan arloji ukur.

4. HASIL DAN ANALISA DATA

4.1. Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik tanah (kedalaman 3,5 - 4 m)

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	
Koehsi (c) kg/cm ²		0,065	0,071	0,068
Sudut Geser (ϕ) o		9,89	10	9,95

Tabel 2. Data Sondir Percobaan Tiang I

Depth (m)	C (kg/cm ²)	C + F (kg/cm ²)	LF (kg/cm)	TF (kg/cm)	FR %	Depth (m)	C (kg/cm ²)	C + F (kg/cm ²)	LF (kg/cm)	TF (kg/cm)	FR %
0,00	-	-	-	-	-	10,00	-	-	-	-	-
0,20	0,50	1,00	1,00	1,00	10,00	10,20	2,50	3,50	2,00	89,00	4,00
0,40	0,50	1,00	1,00	2,00	10,00	10,40	2,50	3,50	2,00	91,00	4,00
0,60	1,00	2,00	2,00	4,00	10,00	10,60	2,50	3,50	2,00	92,00	4,00
0,80	1,00	2,00	2,00	6,00	10,00	10,80	2,50	3,50	2,00	95,00	4,00
1,00	0,50	1,00	1,00	7,00	10,00	11,00	2,50	3,50	2,00	97,00	4,00
1,20	0,50	1,00	1,00	8,00	10,00	11,20	2,50	3,50	2,00	99,00	4,00
1,40	0,50	1,00	1,00	9,00	10,00	11,40	2,50	3,50	2,00	101,00	4,00
1,60	0,50	1,00	1,00	10,00	10,00	11,60	2,50	3,50	2,00	103,00	4,00
1,80	0,50	1,00	1,00	11,00	10,00	11,80	2,50	3,50	2,00	105,00	4,00
2,00	1,00	2,00	2,00	13,00	10,00	12,00	2,50	3,50	2,00	107,00	4,00
2,20	1,00	2,00	2,00	15,00	10,00	12,20	2,50	3,50	2,00	109,00	4,00
2,40	1,00	2,00	2,00	17,00	10,00	12,40	2,50	3,50	2,00	111,00	4,00
2,60	1,00	1,50	1,00	18,00	5,00	12,60	2,50	3,50	2,00	113,00	4,00
2,80	1,00	1,50	1,00	19,00	5,00	12,80	3,00	5,00	4,00	117,00	6,67
3,00	1,00	1,50	1,00	20,00	5,00	13,00	3,00	5,00	4,00	121,00	6,67
3,20	1,00	1,50	1,00	21,00	5,00	13,20	2,50	3,50	2,00	123,00	4,00
3,40	1,50	2,50	2,00	23,00	6,67	13,40	2,50	3,50	2,00	125,00	4,00
3,60	1,50	2,50	2,00	25,00	6,67	13,60	2,00	3,50	1,80	126,80	3,46
3,80	1,50	2,50	2,00	27,00	6,67	13,80	2,00	3,50	1,80	128,60	3,46
4,00	1,00	2,00	2,00	29,00	10,00	14,00	2,50	3,50	2,00	130,60	4,00
4,20	1,00	2,00	2,00	31,00	10,00	14,20	2,50	3,50	2,00	132,60	4,00
4,40	1,00	2,00	2,00	33,00	10,00	14,40	2,50	3,50	2,00	134,60	4,00
4,60	2,00	3,00	2,00	35,00	5,00	14,60	2,50	3,50	2,00	136,60	4,00
4,80	2,00	3,00	2,00	37,00	5,00	14,80	2,50	3,50	2,00	138,60	4,00
5,00	2,00	3,50	3,00	40,00	7,50	15,00	2,50	3,50	2,00	140,60	4,00
5,20	2,00	3,50	3,00	43,00	7,50	15,20	2,50	3,50	2,00	142,60	4,00
5,40	2,00	3,50	3,00	46,00	7,50	15,40	2,50	3,50	2,00	144,60	4,00
5,60	2,00	3,00	2,00	48,00	5,00	15,60	15,00	20,00	10,00	154,60	3,33
5,80	2,00	3,00	2,00	50,00	5,00	15,80	15,00	20,00	10,00	164,60	3,33
6,00	2,00	3,00	2,00	52,00	5,00	16,00	6,00	9,00	6,00	170,60	5,00
6,20	2,00	3,00	2,00	54,00	5,00	16,20	6,00	9,00	6,00	176,60	5,00
6,40	2,00	3,00	2,00	56,00	5,00	16,40	6,00	9,00	6,00	182,60	5,00
6,60	2,00	3,00	2,00	58,00	5,00	16,60	6,00	9,00	6,00	188,60	5,00
6,80	2,00	3,00	2,00	60,00	5,00	16,80	6,00	9,00	6,00	194,60	5,00
7,00	2,00	3,00	2,00	62,00	5,00	17,00	6,00	9,00	6,00	200,60	5,00
7,20	2,00	3,00	2,00	64,00	5,00	17,20	6,00	9,00	6,00	206,60	5,00
7,40	2,00	3,00	2,00	66,00	5,00	17,40	6,00	9,00	6,00	212,60	5,00
7,60	2,00	3,00	2,00	68,00	5,00	17,60	6,00	9,00	6,00	218,60	5,00
7,80	2,00	3,00	2,00	70,00	5,00	17,80	6,00	9,00	6,00	224,60	5,00
8,00	2,50	3,00	1,00	71,00	2,00	18,00	6,00	9,00	6,00	230,60	5,00
8,20	2,50	3,00	1,00	72,00	2,00	18,20	6,00	9,00	6,00	236,60	5,00
8,40	2,50	3,00	1,00	73,00	2,00	18,40	7,00	11,00	8,00	244,60	5,71
8,60	2,50	3,00	1,00	74,00	2,00	18,60	7,00	11,00	8,00	252,60	5,71
8,80	2,50	3,00	1,00	75,00	2,00	18,80	8,00	12,00	8,00	260,60	5,00
9,00	2,50	3,50	2,00	77,00	4,00	19,00	8,00	12,00	8,00	268,60	5,00
9,20	2,50	3,50	2,00	79,00	4,00	19,20	10,00	15,00	10,00	278,60	5,00
9,40	2,50	3,50	2,00	81,00	4,00	19,40	10,00	15,00	10,00	288,60	5,00
9,60	2,50	3,50	2,00	83,00	4,00	19,60	10,00	15,00	10,00	298,60	5,00
9,80	2,50	3,50	2,00	85,00	4,00	19,80	12,00	18,00	12,00	310,60	5,00
10,00	2,50	3,50	2,00	87,00	4,00	20,00	12,00	18,00	12,00	322,60	5,00

Tabel 3. Data Sondir Percobaan Tiang II

Depth (m)	C (kg/cm ²)	C + F (kg/cm ²)	LF (kg/cm)	TF (kg/cm)	FR %	Depth (m)	C (kg/cm ²)	C + F (kg/cm ²)	LF (kg/cm)	TF (kg/cm)	FR %
0,00	-	-	-	-	-	10,00	-	-	-	-	-
0,20	0,50	1,00	1,00	1,00	10,00	10,20	2,50	3,50	2,00	99,00	4,00
0,40	0,50	1,00	1,00	2,00	10,00	10,40	3,00	5,00	4,00	103,00	6,67
0,60	0,50	1,00	1,00	3,00	10,00	10,60	3,00	5,00	4,00	107,00	6,67
0,80	0,50	1,00	1,00	4,00	10,00	10,80	2,50	3,50	2,00	109,00	4,00
1,00	1,00	1,50	1,00	5,00	5,00	11,00	2,50	3,50	2,00	111,00	4,00
1,20	1,00	1,50	1,00	6,00	5,00	11,20	2,50	3,50	2,00	113,00	4,00
1,40	1,00	1,50	1,00	7,00	5,00	11,40	2,50	3,50	2,00	115,00	4,00
1,60	1,00	2,00	2,00	9,00	10,00	11,60	2,50	3,50	2,00	117,00	4,00
1,80	1,00	2,00	2,00	11,00	10,00	11,80	2,50	3,50	2,00	119,00	4,00
2,00	1,50	2,50	2,00	13,00	6,67	12,00	2,50	3,50	2,00	121,00	4,00
2,20	1,50	2,50	2,00	15,00	6,67	12,20	2,50	3,50	2,00	123,00	4,00
2,40	1,50	2,50	2,00	17,00	6,67	12,40	2,50	3,50	2,00	125,00	4,00
2,60	1,50	2,50	2,00	19,00	6,67	12,60	2,50	3,50	2,00	127,00	4,00
2,80	1,50	2,50	2,00	21,00	6,67	12,80	2,50	3,50	2,00	129,00	4,00
3,00	1,50	2,50	2,00	23,00	6,67	13,00	2,50	3,50	2,00	131,00	4,00
3,20	1,50	2,50	2,00	25,00	6,67	13,20	12,00	18,00	12,00	143,00	5,00
3,40	1,50	2,50	2,00	27,00	6,67	13,40	12,00	18,00	12,00	155,00	5,00
3,60	1,50	2,50	2,00	29,00	6,67	13,60	12,00	18,00	12,00	167,00	5,00
3,80	1,50	2,50	2,00	31,00	6,67	13,80	16,00	21,00	10,00	177,00	3,13
4,00	1,50	2,50	2,00	33,00	6,67	14,00	16,00	21,00	10,00	187,00	3,13
4,20	1,50	2,50	2,00	35,00	6,67	14,20	6,00	9,00	6,00	193,00	5,00
4,40	2,00	3,00	2,00	37,00	5,00	14,40	6,00	9,00	6,00	199,00	5,00
4,60	2,00	3,00	2,00	39,00	5,00	14,60	6,00	9,00	6,00	205,00	5,00
4,80	2,50	3,50	2,00	41,00	4,00	14,80	6,00	9,00	6,00	211,00	5,00
5,00	2,50	3,50	2,00	43,00	4,00	15,00	6,00	9,00	6,00	217,00	5,00
5,20	2,50	3,50	2,00	45,00	4,00	15,20	5,00	7,00	4,00	221,00	4,00
5,40	2,50	3,50	2,00	47,00	4,00	15,40	5,00	7,00	4,00	225,00	4,00
5,60	2,50	3,50	2,00	49,00	4,00	15,60	5,00	7,00	4,00	229,00	4,00
5,80	2,50	3,50	2,00	51,00	4,00	15,80	5,00	7,00	4,00	233,00	4,00
6,00	2,50	3,50	2,00	53,00	4,00	16,00	6,00	9,00	6,00	239,00	5,00
6,20	2,50	3,50	2,00	55,00	4,00	16,20	6,00	9,00	6,00	245,00	5,00
6,40	2,50	3,50	2,00	57,00	4,00	16,40	6,00	9,00	6,00	251,00	5,00
6,60	2,50	3,50	2,00	59,00	4,00	16,60	6,00	9,00	6,00	257,00	5,00
6,80	2,50	3,50	2,00	61,00	4,00	16,80	6,00	9,00	6,00	263,00	5,00
7,00	2,50	3,50	2,00	63,00	4,00	17,00	6,00	9,00	6,00	269,00	5,00
7,20	2,50	3,50	2,00	65,00	4,00	17,20	6,00	9,00	6,00	275,00	5,00
7,40	3,00	5,00	4,00	69,00	6,67	17,40	7,00	10,00	6,00	281,00	4,29
7,60	3,00	5,00	4,00	73,00	6,67	17,60	7,00	10,00	6,00	287,00	4,29
7,80	2,00	3,00	2,00	75,00	5,00	17,80	7,50	11,00	7,00	294,00	4,67
8,00	2,00	3,00	2,00	77,00	5,00	18,00	7,50	11,00	7,00	301,00	4,67
8,20	2,00	3,00	2,00	79,00	5,00	18,20	7,00	10,00	6		

4.2. Beban Rencana Tiang Tunggal

Dari hasil pengujian laboratorium dan tes sondir akan dijadikan sebagai beban rencana *loading test* :

- Tes Laboratorium : 739,79 kg
- Tes Sondir :

Percobaan Tiang I : 437,18 kg

Percobaan Tiang II : 502,76 kg

Maka beban rencana rata – rata dari tes sondir adalah 469,97 kg

- Rata-rata tes Laboratorium dan tes Sondir adalah 604,88 kg

Dari data diatas dapat dilihat beban rencana 100% dari tiang tunggal adalah 604,88 kg. Maka beban maksimum 200% beban rencana dari tiang tunggal adalah $604,88 \times 2 = 1209,76$ kg. Dari metode *Quick Maintained Load Test* akan dibebani maksimal 10% dari beban rencana untuk setiap kenaikan pembebanan. Maka untuk tiang tunggal akan dibebani maksimal setiap ± 100 kg.

4.3. Beban Rencana Kelompok Tiang

Dari hasil pengujian laboratorium dan tes sondir akan dijadikan sebagai beban rencana *loading test*, beban rencana 200% dari tiang tunggal adalah 1209,76 kg. Maka beban rencana kelompok tiang konfigurasi 2 x 2 adalah :

- *Formula Feld* :
 $Q_{Group} = 1209,76 \times 4 \times 0,8125 = 3930,51$ kg

- *Formula Converse-Labarre*
 Jarak 3D :
 $Q_{Group} = 1209,76 \times 4 \times 0,7962 = 3852,84$ kg

- Jarak 4D :
 $Q_{Group} = 1209,76 \times 4 \times 0,8441 = 4084,63$ kg

Dari metode *Quick Maintained Load Test* akan dibebani maksimal 10% dari beban rencana untuk setiap kenaikan pembebanan. Maka untuk tiang kelompok jarak 3D dan tiang kelompok jarak 4D akan dibebani maksimal setiap ± 400 kg.

4.4. Interpretasi Kapasitas Daya Dukung Tiang dengan Uji Pembebanan

Tabel 4. Interpretasi Daya Dukung Tiang Tunggal

Percobaan Tiang I		Percobaan Tiang II	
Beban (kg)	Penurunan (mm)	Beban (kg)	Penurunan (mm)
0	0	0	0
25	0,223	25	0,18
50	0,69	50	0,49
75	0,92	75	0,96
100	1,17	100	1,35
150	1,65	150	1,98
200	2,4	200	3,03
250	3,41	250	5,455
300	5,988	300	8,21
350	8,05	350	11,83
400	20,488	400	20,86
450	31,18	450	34,52
500	43,16	500	46,33

Tabel 5. Interpretasi Daya Dukung Jarak 3D

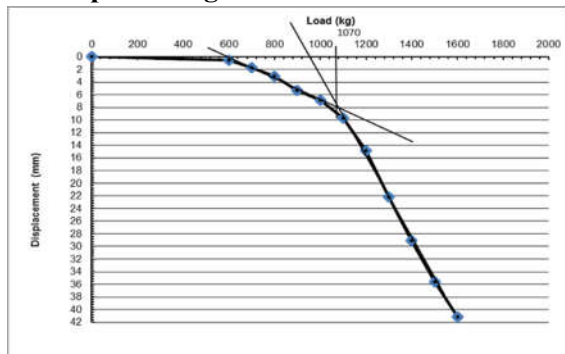
Percobaan Tiang I		Percobaan Tiang II	
Beban (Kg)	Penurunan (mm)	Beban (Kg)	Penurunan (mm)
0	0	0	0
600	0,543	500	0,76
700	1,68	600	1,89
800	3,05	700	2,51
900	5,32	800	3,61
1000	6,86	900	5,78
1100	9,7	1000	8,19
1200	14,89	1100	10,03
1300	22,2	1200	13,62
1400	29,12	1300	23,035
1500	35,58	1400	29
1600	41,13	1500	32,81
		1600	44,02

Tabel 6. Interpretasi Daya Dukung Jarak 4D

Percobaan Tiang I		Percobaan Tiang II	
Beban (Kg)	Penurunan (mm)	Beban (Kg)	Penurunan (mm)
0	0	0	0
700	0,87	600	0,57
750	1,135	650	0,79
800	1,45	700	1,09
850	1,82	750	1,35
900	2,255	800	1,52
950	2,91	850	1,935
1000	3,53	900	2,62
1100	5,83	950	3,05
1200	8,65	1000	3,815
1300	11,61	1100	5,59
1400	14,6	1200	9,135
1500	17,58	1300	12,9
1600	19,68	1400	15,02
1700	24,82	1500	18
1800	27,36	1600	20,23
1900	30,13	1700	25,03
2000	36,03	1800	27,79
2100	45,11	1900	31,08
		2000	37,03
		2100	44,35

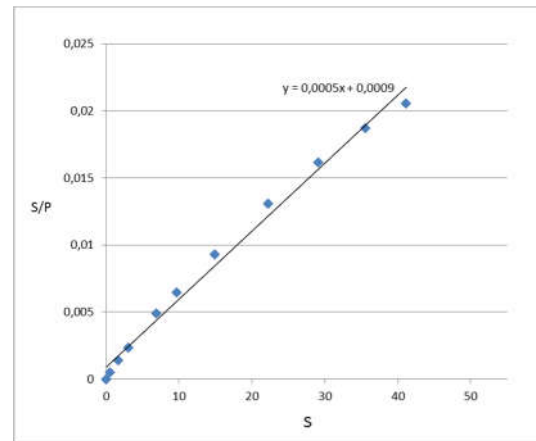
Dari hasil uji pembebanan, dapat dilakukan interpretasi untuk menentukan besarnya daya dukung pondasi tersebut. Adapun metode yang digunakan adalah : Metode Elastis Plastis, Metode Mazurkiewich dan Metode Chin.

4.5. Analisa Daya Dukung Pondasi Kelompok Tiang Jarak 3D



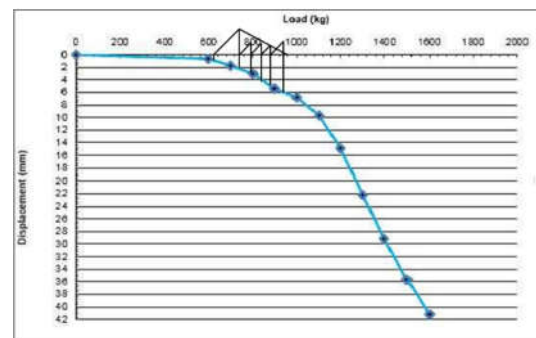
Gambar 5. Grafik Elastis Plastis Tiang Group I

Dari grafik di atas didapat daya dukung kelompok tiang jarak 3D adalah 1070 kg.



Gambar 6. Grafik Chin Tiang Group I

Dari grafik di atas didapat daya dukung kelompok tiang jarak 3D adalah 1388,89 kg.



Gambar 6. Grafik Mazurkiewich Tiang Group I

Dari grafik di atas didapat daya dukung kelompok tiang jarak 3D adalah 965 kg.

Hasil pengujian tersebut dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 7. Hasil Interpretasi Kapasitas Daya Dukung berdasarkan Uji Pembebanan

Sampel	Pu (kg)					
	Elastis - Plastik	Rata-rata	Chin	Rata-rata	Mazurkiewich	Rata-rata
Tungga 1 (I)	335	335	438,6	438,6	318	298,5
Tungga 1 (II)	335		438,6		279	
Group 3D (I)	1070	1085	1389	1389	965	997,5
Group 3D (II)	1100		1389		1030	
Group 4D (I)	1440	1415	1667	1667	1125	1155
Group 4D (II)	1390		1667		1185	

Tabel 8. Perhitungan Daya Dukung kelompok Tiang berdasarkan data Empiris

Jarak	Formula	Penelitian	Daya Dukung
3D	Converse – Labarre	Tes Lab.	2355,50 kg
		Tes Sondir	1496,38 kg
	Feld	Tes Lab.	2405,80 kg
		Tes Sondir	1528,34 kg
	Seiler Keeney	Tes Lab.	3127,83 kg
		Tes Sondir	1987,03 kg
4D	Converse – Labarre	Tes Lab.	2497,53 kg
		Tes Sondir	1586,61 kg
	Feld	Tes Lab.	2405,80 kg
		Tes Sondir	1528,34 kg
	Seiler Keeney	Tes Lab.	3142,62 kg
		Tes Sondir	1996,40 kg

4.6. Analisa Efisiensi Kelompok Tiang

Tabel 9. Efisiensi kelompok tiang berdasarkan teori (literatur buku)

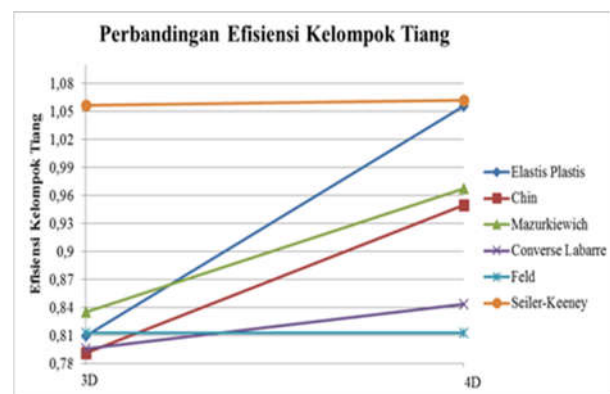
Metode	Jarak Antar Tiang	Efisiensi
Formula Converse-Labarre	3D	0,796
	4D	0,844
Formula Feld	-	0,813
Seiler Keeney	3D	1,057
	4D	1,062

Tabel 10. Efisiensi kelompok tiang konfigurasi 2 x 2 dengan jarak 3D

Metode	Tiang Tunggal kg	Tiang Tunggal x n kg	Kelompok Tiang 3D kg	Efisiensi
Elastis plastik	335	1340	1085	0,810
Chin	438,6	1754,4	1389	0,792
Mazurkiewich	298,5	1194	997,5	0,835

Tabel 11. Efisiensi kelompok tiang konfigurasi 2 x 2 dengan jarak 4D

Metode	Tiang Tunggal kg	Tiang Tunggal x n kg	Kelompok Tiang 4D kg	Efisiensi
Elastis plastik	335	1340	1415	1,056
Chin	438,6	1754,4	1667	0,952
Mazurkiewich	298,5	1194	1155	0,967



Gambar 7. Grafik Perbandingan Efisiensi Kelompok Tiang

Dari grafik diatas, dapat dilihat hasil dari efisiensi kelompok tiang yang didapat pada jarak 3D memiliki rata-rata 0,812 dan pada jarak 4D memiliki rata-rata 0,992. Hasil dari analisa ini, kelompok tiang pada jarak 3D memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan nilai efisiensi kelompok tiang yang didapat pada formula converse-labarre yaitu 0,796. Dan juga tidak jauh berbeda dari nilai efisiensi kelompok tiang yang didapat pada formula feld yaitu sebesar 0,813. Sedangkan pada jarak 4D, nilai efisiensinya hampir mendekati 1,00. Nilai efisiensi pada jarak 4D tidak jauh berbeda dengan nilai efisiensi pada Seiler Keeney yaitu rata-rata sebesar 1,0595 sehingga overlapping hampir tidak terjadi pada kondisi ini.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di laboratorium dan di lapangan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dari hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal, hasil perhitungan tes laboratorium memiliki nilai yang paling besar yaitu 739,79 kg dibandingkan dengan tes sondir yaitu 469,97 kg dan loading test yang memiliki 3 metode diantaranya Metode Chin sebesar 436,8 kg, Metode Elastis Plastis sebesar 335 kg dan Metode Mazurkiewich sebesar 298,5 kg. Pada loading test, nilai daya dukung terbesar adalah metode Chin.
- b. Daya dukung pada kelompok tiang dengan jarak 4D secara keseluruhan memiliki daya dukung yang lebih besar dari kelompok tiang dengan jarak 3D, dari hasil metode elastis plastis didapat kenaikan sebesar 330 kg atau 23,32%, dari hasil metode mazurkiewich didapat kenaikan sebesar 157,5 kg atau 13,64% dan untuk metode chin didapat kenaikan sebesar 287 kg atau 16,68%.
- c. Hasil loading test pada kelompok tiang, hasil dari efisiensi kelompok tiang yang didapat pada jarak 3D memiliki rata-rata 0,812 dan pada jarak 4D memiliki rata-rata 0,992. Hasil dari analisa ini, kelompok tiang pada jarak 3D memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan nilai efisiensi kelompok tiang yang didapat pada formula converse-labarre yaitu

0,796. Dan juga tidak jauh berbeda dari nilai efisiensi kelompok tiang yang didapat pada formula feld yaitu sebesar 0,813. Sedangkan pada jarak 4D, nilai efisiensinya hampir mendekati 1,00. Nilai efisiensi pada jarak 4D tidak jauh berbeda dengan nilai efisiensi pada Seiler Keeney yaitu rata-rata sebesar 1,0595.

- d. Jarak antar tiang pada kelompok tiang dapat mempengaruhi efisiensi dari kelompok tiang tersebut. Semakin besar jarak antar tiang maka nilai efisiensinya akan semakin besar akibat dari semakin kecilnya overlapping dari tegangan disekeliling tiang sehingga mempengaruhi daya dukung tiang tersebut.

5.2. Saran

Adapun saran untuk pembahasan lebih lanjut penulis menyarankan sebagai berikut :

- a. Melakukan pengembangan terhadap penelitian ini, dengan memberikan variasi yang lebih beragam.
- a. Penelitian ini memang belum dapat dikatakan sempurna, namun kiranya dapat dijadikan sebagai data pembanding dengan penelitian yang menggunakan pondasi yang sama atau lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, Aswandi A. Islan, Miki. 2009. *Perencanaan Pondasi Tiang*. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Basah K Suryolelono, 1994, *Teknik Fondasi* Bagian II, Nafiri, Yogyakarta.
- 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.

Das, Braja M. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid 2. Jakarta: Erlangga.

Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Standar Konstruksi Bangunan Indonesia (SKBI)*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

Hardiyatmo, H.C. 1992. *Mekanika Tanah Jilid 1*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Prakash, S & Sharma, H.D 1990. *Pile Foundation Analysis and Design*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

Rahardjo, Paulus P. 2013. *Manual Pondasi Tiang* Edisi 4. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.

Sardjono, H.S. 1991. *Pondasi Tiang Pancang* Jilid 1. Surabaya: Sinar Wijaya.