

KAJIAN TRANSFER BEBAN AKSIAL TIANG PANCANG PADA TANAH LUNAK

Fajar Andhika¹⁾, Eka Priadi²⁾, Ahmad Faisal³⁾

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak

²⁾Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak

E-mail: fajar.andika@student.untan.ac.id

ABSTRAK

Merancang bangunan di kota Pontianak, terkadang masih menemui kendala. Masalah umum yaitu tanah di Pontianak berupa tanah lunak yang memberikan daya dukung rendah terhadap sistem konstruksi bangunan di atasnya. Sedangkan daya dukung yang memadai berada pada lapisan tanah yang sangat dalam, berkisar antara 30 – 40 m. Metode untuk memperoleh daya dukung yang lebih baik adalah dengan menggunakan fondasi tiang. Fondasi jenis ini mampu menahan beban yang besar melalui kemampuannya menahan beban melalui perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah sekitarnya yang disebut daya dukung selimut serta kemampuan menahan beban yang ditentukan oleh luasan ujung tiang terhadap tanah di bawahnya yang disebut daya dukung ujung. Dalam perhitungan daya dukung, diperlukan hasil yang akurat dan dalam waktu yang singkat. Oleh karena itu, penggunaan program komputer menjadi pilihan utama. *Software* APILE dan GROUP merupakan program komputer untuk menganalisis fondasi tiang. Penelitian kali ini menganalisis tiang pancang tunggal maupun kelompok dengan diameter tiang 3 cm dipancang sedalam 150 cm. Hasil analisis berupa nilai daya dukung berdasarkan perhitungan manual, *loading test*, *software* APILE (*A Program for the Analysis and Design of Axially Loaded Piles*), dan GROUP (*A Program for the Analysis of Piles in a Group*) yang kemudian hasilnya dibandingkan.

Kata kunci: tanah lunak, beban aksial, tiang pancang, daya dukung, *software*

ABSTRACT

Designing a physical buildings in Pontianak city sometimes still has problem. A common problem of this city is lied on soft soil which gives a low bearing capacity to a construction system that will be built on it. While good bearing capacity is in very deep soil layers, ranging from 30 – 40 m. One of the ways to get a better carrying capacity is to use a pile foundation. This type of foundation is able to withstand a large load through its ability to withstand loads through friction resistance between the wall of the pile and the surrounding soil called the skin friction and the ability to withstand loads determined by the area of the pile end against the ground below it is called end bearing capacity. In calculating the bearing capacity, accurate and short-term results are needed. Therefore, the use computer programs is the main option. APILE and GROUP is a software to analyze pile foundations. This research analyze single and group piles with a diameter of 3 cm, which pile as deep as 150 cm. The results of the analysis are bearing capacity based on manual calculation, loading test, APILE (A Program for Analysis and Design of Axially Loaded Piles), and GROUP (A Program for Analysis of Piles in a Group) which the results wil be compare.

Keywords: *soft soil, axial load, piles, bearing capacity, software*

I. PENDAHULUAN

Pembangunan-pembangunan fisik, khususnya konstruksi bertingkat tinggi di kota Pontianak, secara umum masih menemui masalah khususnya pada keadaan tanah karena kondisi tanah yang kurang baik. Kondisi tanah yang ada di Pontianak pada umumnya berupa tanah lunak yang mana memberikan suatu daya dukung yang rendah terhadap suatu sistem konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Sedangkan tanah dengan daya dukung yang baik baru dapat ditemui pada kedalaman sekitar 30 – 40 meter.

Hal tersebut tentu menjadi kendala bagi perencana bangunan/para ahli teknik sipil dalam merencanakan suatu konstruksi pada tanah lunak. Maka dari itu, para perencana tentunya berfokus

pada perencanaan fondasi guna meningkatkan atau memperbaiki daya dukung fondasi agar mampu menahan konstruksi yang direncanakan di atasnya. Dari beberapa pilihan untuk memperbaiki daya dukung fondasi khususnya yang memiliki lapisan tanah lunak yang sangat dalam, Fondasi tiang menjadi solusi tepat guna mendapatkan daya dukung yang baik.

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi dua macam yaitu, tiang dukung ujung dan tiang gesek (Hardiyatmo, 2008). Tiang dukung ujung adalah tiang yang daya dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang sedangkan tiang gesek adalah tiang yang daya dukungnya ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya.

Dewasa ini, dalam perencanaan suatu tiang pancang seringkali dihadapkan pada suatu perhitungan yang relatif lama guna mendapatkan hasil yang paling aman dan akurat. Hal ini tentunya membutuhkan ketelitian yang sangat tinggi dalam suatu perencanaan agar menghasilkan perhitungan seperti yang diinginkan.

Kemajuan teknologi khususnya komputer, tampaknya telah menjawab keinginan manusia yang mendambakan efisiensi dan efektifitas dalam pekerjaan yang ditekuni. Teknik sipil adalah salah satu disiplin ilmu yang tak lepas dari perkembangan teknologi komputer. Semula perhitungan atau perencanaan dilakukan secara manual, perlahan-lahan telah digantikan oleh komputer.

Dalam penelitian digunakan dua program *Ensoft* yang cukup populer dalam dunia teknik sipil antara lain; *APILE (A Program for the Analysis and Design of Axially Loaded Piles)* untuk menganalisa tiang tunggal khusus untuk pemuatan beban aksial dan program *GROUP (A Program for the Analysis of Piles in a Group)* untuk menganalisa distribusi beban tiang pancang yang tersusun dalam kelompok atau konfigurasi tertentu.

II. METODOLOGI DAN PUSTAKA

Tanah Lempung

Tanah lempung adalah partikel mineral berkerangka dasar silikat yang berdiameter kurang dari 4 mikrometer. Lempung mengandung leburan silica dan atau aluminium yang halus. Unsur-unsur ini, silikon, oksigen, dan aluminium adalah unsur yang paling banyak menyusun kerak bumi. Lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan silica oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivikasi panas bumi.

Lempung membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air. Sifat ini ditentukan oleh jenis mineral lempung yang mendominasi. Mineral lempung digolongkan berdasarkan susunan lapisan oksida silikon dan oksida aluminium yang membentuk kristalnya.

Das (1994), menerangkan bahwa tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikronis sampai dengan sub-mikronis yang dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung menurut Hardiyatmo (1992) adalah sebagai berikut:

- ① Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm
- ② Permeabilitas rendah
- ③ Kenaikan air kapiler tinggi
- ④ Bersifat sangat kohesif
- ⑤ Kadar kembang susut yang tinggi
- ⑥ Proses konsolidasi lambat

Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari silikat tetrahedral dan aluminium octahedral. Silica dan aluminium secara parsial dapat digantikan dengan elemen lain dalam kesatuannya, hal ini dikenal dengan substitusi isomorf.

Dalam terminologi ilmiah, lempung adalah mineral asli yang mempunyai sifat plastis saat basah, dengan ukuran butir yang sangat halus dan mempunyai komposisi dalam jumlah besar berupa *hydrous aluminium* dan *magnesium silicate*. Batas atas ukuran butir untuk lempung umumnya adalah kurang dari 2 μ m (1 μ m=0,000001m), meskipun ada, klasifikasi yang menyatakan batas atas lempung adalah 0,005m (ASTM).

Umumnya partikel-partikel lempung mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Hal ini disebabkan oleh adanya substitusi isomorf dan oleh karena pecahnya kepingnya partikel pelat tersebut pada tepi-tepinya. Muatan negatif yang lebih besar dijumpai pada partikel-partikel yang mempunyai spesifik yang lebih besar.

Jika ditinjau dari mineraloginya, lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung (*kaolinite*, *montmorillonite* dan *illite group*) dan mineral-mineral lain yang mempunyai ukuran sesuai dengan batasan yang ada (*mika group*, *serpentinite group*).

Fondasi

Fondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure/super structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Fondasi merupakan bagian dasar struktur yang sangat berperan dalam meneruskan segala beban yang bekerja pada suatu konstruksi langsung kelapisan permukaan tanah dibawahnya. Kestabilan dan kekokohan suatu struktur tergantung sepenuhnya terhadap kekuatan fondasi yang direncanakan.

Fondasi tiang biasa dipergunakan untuk suatu fondasi bangunan apabila tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja diatasnya, serta letak tanah keras yang sangat dalam.

Pada fondasi dalam yang akan dibahas hanyalah mengenai fondasi tiang pancang. Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang terbuat dari kayu, beton, dan/atau baja yang digunakan untuk meneruskan (mentransmisikan) beban-beban permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah (Joseph E. Bowles, 1999: 184).

Pemancangan tiang ke dalam tanah dapat dilakukan dengan sejumlah metode, antara lain:

- a) Pemancangan tiang dengan pukulan secara tetap pada kepala tiang dengan menggunakan sebuah alat penumbuk.

- b) Pemancangan yang menggunakan alat penggetar yang ditempelkan (diikatkan) di kepala tiang.
- c) Pemancangan dengan cara mendongkrak tiang.
- d) Pemancangan dengan cara membor sebuah lubang kemudian memancang sebuah tiang ke dalamnya.

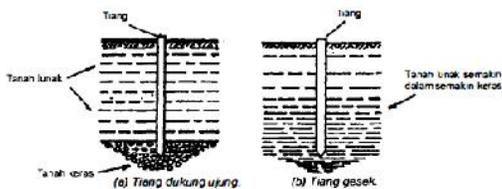
Pondasi tiang dapat digolongkan berdasarkan cara meneruskan beban yang diterima ke dalam tanah antara lain:

a) Tiang dukung ujung

Tiang dukung ujung adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam *zone* tanah yang lunak yang berada di atas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang (Gambar 1a).

b) Tiang gesek

Tiang gesek adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya (Gambar 1b). Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah di bawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.



Gambar 1. Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya

Daya Dukung Fondasi Tiang

Daya dukung fondasi tiang pancang tunggal dapat diperhitungkan berdasarkan pada tahanan ujung maupun akibat gesekan sepanjang badan tiang. Pada prinsipnya semua tiang pada kondisi statis dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s \tag{1}$$

dimana:

- Q_u = daya dukung batas tiang pancang
- Q_p = daya dukung ujung tiang
- Q_s = daya dukung geser tiang

Daya dukung ujung tiang (Q_p)

Formula yang digunakan adalah:

$$Q_p = A_p q_p \tag{2}$$

dimana:

- Q_p = daya dukung ujung tiang (kg)
- A_p = luas penampang ujung tiang (cm²)

$$q_p = \text{tahanan ujung (kg/cm}^2\text{)}$$

Daya dukung geser tiang (Q_s)

Formula yang digunakan adalah:

$$Q_s = \sum (A_s f_s) \tag{3}$$

dimana:

- A_s = luas selimut tiang (cm²)
= $k \times \Delta L$
- k = keliling tiang (cm)
- ΔL = panjang segmen tiang (cm)
- f_s = gesekan selimut (kg/cm²)

Efisiensi Tiang Pancang Kelompok

Efisiensi tiang pancang kelompok adalah perbandingan daya dukung kelompok terhadap jumlah daya dukung masing-masing tiang pancang. Nilai efisiensi merupakan suatu faktor yang disebabkan oleh *overlapping* penyebaran tegangan di sekeliling tiang, sehingga daya dukung fondasi tiang tidak sama lagi dengan daya dukung fondasi tiang secara individu dikalikan jumlah tiang dalam kelompok melainkan akan lebih kecil. Daya dukung kelompok tiang dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_{pg} = E_g n Q_a \tag{4}$$

dimana:

- Q_{pg} = daya dukung kelompok tiang (kg)
- E_g = Efisiensi kelompok tiang
- n = banyaknya tiang pancang
- Q_a = daya dukung tiang pancang tunggal (kg)

Penelitian yang Relevan

Penelitian yang dilakukan di kawasan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura oleh Indra Alfiansyah dengan judul tugas akhir “Pengaruh Tambahan Pelat Pondasi Terhadap Daya Dukung Kelompok Tiang pada Tanah Lunak Kota Pontianak” menjadi rujukan peneliti dengan menjadikan hasil penelitian tersebut sebagai data sekunder untuk analisa yang akan dilakukan. Adapun data sekunder tersebut antara lain data sifat fisik dan mekanis tanah, data sondir dan hasil uji pembebanan tiang.

Sifat fisik dan mekanis tanah

Hasil yang diperoleh dari pengujian di laboratorium terhadap sifat fisik dan mekanis tanah lempung dapat dilihat pada Tabel 1.

a) Data sondir (*Cone Penetration Test*)

Data sondir yang didapat berdasarkan hasil tes yang dilakukan di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, di antara Musala Al-Istiqomah dan ruang kuliah D21. Dilakukan dua titik pengujian pada lokasi ini.

b) Hasil uji pembebanan tiang (*Loading Test*)

Pengujian yang dilakukan untuk tiang tunggal serta konfigurasi 2x2, 3x3, dan 4x4 dengan variasi jarak untuk masing-masing kelompok tiang adalah

2D, 3D, dan 4D. Hasil uji beban tiang tunggal didapatkan daya dukung sebesar 63 kg untuk metode Elastis-Plastis dan 64,75 untuk metode Chin. Sedangkan hasil uji beban untuk kelompok tiang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah lempung (kedalaman 1.00-1.50 m)

Sifat Fisik dan Mekanis Tanah		Nilai
Kadar Air (w) %		89,05
Berat Volume Tanah Kering (γ_{dry}) g/cm ³		0,784
Berat Volume Tanah Jenuh (γ_{sat}) g/cm ³		1,457
Berat Jenis (Gs)		2,394
Analisa Distribusi Butiran	Lempung %	21
	Lanau %	62
	Pasir %	17
Batas Cair (L.I.) %		49,206
Batas Plastis (PL) %		27,284
Indeks Plastisitas (IP) %		21,923
Kohesi (c) kg/cm ²		0,0458
Sudut Geser Hasil Laboratorium (ϕ°) ^a		4,140

Tabel 2. Rekapitulasi hasil uji pembebanan tiang kelompok (*Loading Test Group*)

No	Konfigurasi	Jarak	Hasil <i>Loading Test</i> (Q_u)	
			Elastis-Plastis	Chin
1	2 x 2	2D	300	293,43
2	3 x 3	2D	715	594,44
3	4 x 4	2D	1010	1041,67
4	2 x 2	3D	500	478,93
5	3 x 3	3D	620	588,71
6	4 x 4	3D	1140	1190,45
7	2 x 2	4D	320	344,35
8	3 x 3	4D	790	816,99
9	4 x 4	4D	1140	1190,45

Selanjutnya hasil penelitian ini akan dianalisa menggunakan *software* APILE dan GROUP.

APILE (A Program for the Analysis and Design of Axially Loaded Piles)

Interaksi antara tiang pancang dengan tanah di sekitarnya sangat kompleks. Pemancangan umumnya mengubah karakter tanah di sekitar tiang. Mekanisme pemindahan muatan (resistensi gesekan samping dan ujung dari tanah) bervariasi dengan banyak faktor seperti jenis tanah, metode pemasangan, bahan tiang pancang, geometri tiang pancang dan lain-lain. Karena kompleksitas perilaku tiang tersebut, perlu menggunakan metode perancangan semi empiris praktis, dan untuk memusatkan perhatian pada faktor signifikan daripada rincian kecil atau perifer. APILE menggunakan dua kode yang terkait untuk memberi pengguna informasi tentang perilaku tiang pancang yang didorong di bawah pemuatan aksial.

Yang pertama dari kode ini menggunakan empat set metode empiris yang ada untuk menghitung daya dukung tiang pancang sebagai fungsi kedalaman. Metode yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

- ⌚ Metode USACE (diterbitkan oleh A.S. Army Corps of Engineers),
- ⌚ Metode Lambda (dengan kontribusi tegangan efektif).

APILE adalah program tujuan khusus berdasarkan prosedur rasional untuk menganalisa tiang pancang yang digerakkan di bawah pemuatan aksial. Program ini menghitung penyelesaian puncak dan dasar tiang yang digerakkan sebagai fungsi pemuatan aksial, bersamaan dengan distribusi beban aksial sepanjang tiang (Reese, 2015).

GROUP (A Program for the Analysis of Piles in a Group)

GROUP telah diterima dengan baik sebagai alat yang berguna untuk menganalisis perilaku tiang pancang pada tiang kelompok yang dikenai beban aksial dan lateral. GROUP memungkinkan pengguna untuk menganalisis perilaku kelompok tiang menggunakan model 2 dimensi untuk tiang dalam tata letak simetris atau model 3 dimensi untuk sekelompok tiang yang tidak tersusun secara simetris. Tiang dapat dipasang secara vertikal dan *pilecap* mungkin dipasang permanen, disematkan, atau diatur secara elastis.

Program ini secara internal akan menghasilkan respon nonlinier tanah, dalam bentuk kurva t-z dan q-w untuk pemuatan aksial, kurva t-r untuk pemuatan torsi, dan kurva p-y untuk pemuatan lateral. Solusi iteratif mengakomodasi respons nonlinier masing-masing tiang dan akan memenuhi persamaan ekuilibrium. Ini mencapai kesesuaian antara gerakan tiang dan respon tanah, dan antara gerakan *cap* dan *pile-head* (Reese, 2010).

Metodologi Penelitian

Penelitian ini mengkaji mengenai transfer beban aksial pada sebuah tiang pancang tunggal dimana difokuskan pada nilai daya dukung ujung tiang dan tahanan selimut tiang. Dalam penelitian ini, nilai daya dukung ujung tiang dan tahanan selimut tiang akan dihitung secara manual berdasarkan data sekunder. Data sekunder yang digunakan berupa data sifat fisik dan mekanis tanah, data sondir dan data hasil *loading test*.

Selain dilakukan perhitungan secara manual, penulis melakukan analisa dengan menggunakan program APILE dan GROUP sebagai pembanding. Dengan melakukan perhitungan menggunakan program tersebut, dapat dengan mudah mendapatkan hasil atau output yang diinginkan secara efektif dan efisien.

Data Sekunder yang Digunakan

Adapun data-data yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- ⌚ Sifat Fisik dan Mekanis Tanah
Data sifat fisik dan mekanis tanah meliputi berat jenis tanah dalam keadaan jenuh (γ_{sat}), kohesi (c), berat jenis tanah efektif (γ'), Indeks

Plastisitas (*IP*), dan data pendukung lain yang dibutuhkan.

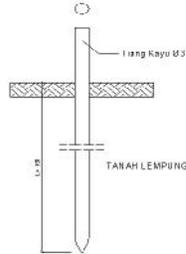
- Ⓣ Data Sondir
Data sondir sepanjang kedalaman 20 meter berupa diagram tahanan konus dan total friksi yang kemudian secara empiris dapat ditentukan kapasitas daya dukung tanah.
- Ⓣ Uji Pembebanan Tiang (*Loading Test*)
Hasil dari uji pembebanan tiang berupa grafik hubungan beban dan penurunan. Dari grafik tersebut dapat ditentukan daya dukung batas tiang menggunakan metode grafis (Elastis plastis) dan analitis (Metode Chin).

Pemodelaan Tiang Pancang

Pemodelan tiang pancang terbagi menjadi 2, yaitu tiang pancang tunggal dan tiang pancang kelompok

a) Tiang pancang tunggal

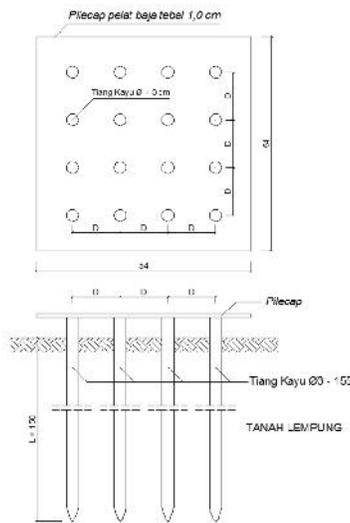
Tiang pancang tunggal dimodelkan berbentuk lingkaran yang berbahan dasar kayu dengan diameter 3 cm dan kedalaman pemancangan ialah 150 cm.



Gambar 2. Sketsa tiang pancang tunggal

b) Tiang pancang kelompok

Tiang pancang kelompok menggunakan konfigurasi 2x2; 3x3; dan 4x4. Untuk masing-masing konfigurasi, digunakan jarak antar tiang 2D, 3D, dan 4D. Jadi terdapat 12 buah konfigurasi. *Pilecap* menggunakan pelat baja dengan tebal 1,0 cm.



Gambar 3. Tiang pancang kelompok konfigurasi 4x4

Prosedur Analisa Menggunakan Program

a) Analisa menggunakan APILE

Ⓣ Metode perhitungan

Metode yang digunakan untuk menghitung daya dukung tiang pancang adalah metode Lambda (dengan kontribusi tegangan efektif) dan metode USACE (diterbitkan oleh *A.S Army Corps of Engineers*).

Ⓣ Input data

Adapun data-data yang dibutuhkan meliputi; bentuk dan ukuran pile yang digunakan, bahan pile yang digunakan jenis lapisan tanah (lempung, pasir) serta kedalaman lapisan tersebut. Data tiap lapisan tanah yang meliputi jumlah lapisan tanah, kohesi (c), berat jenis tanah efektif (γ'), dan data tanah pendukung lainnya

Ⓣ Output data

Apabila *running* proses berjalan dengan lancar, maka akan menghasilkan *output-output* sebagai berikut; *pile geometry*, grafik kombinasi antara daya dukung selimut, daya dukung ujung, dan daya dukung total versus kedalaman tiang pancang sesuai dengan metode komputasi yang dipilih oleh pengguna serta grafik beban aksial terhadap penurunan yang terjadi sesuai dengan metode komputasi yang dipilih oleh pengguna

b) Analisa menggunakan GROUP

Ⓣ Input data

Adapun parameter-parameter yang diperlukan antara lain; konfigurasi tiang pancang yang digunakan, dimensi dan spesifikasi tiang pancang, koordinat/letak sudut masing-masing tiang pancang terhadap sumbu utama, jarak pilecap terhadap tanah dasar, beban yang dipikul kelompok tiang, dimensi pilecap kelompok tiang, data fisik tanah.

Ⓣ Output data

Apabila *running* proses berjalan dengan lancar, maka akan menghasilkan *output-output* sebagai berikut; tampilan tiang pancang kelompok dan *pilecap* beserta lapisan tanahnya dalam bentuk dua dan tiga dimensi, kurva pemuatan aksial versus penurunan yang terjadi untuk tiang tunggal dalam kelompok.

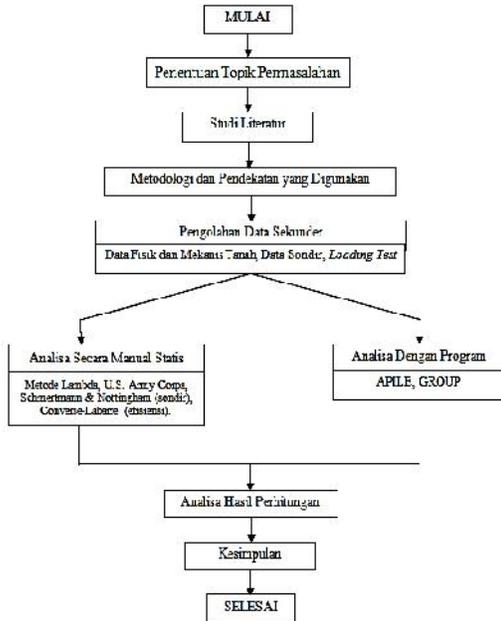
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Untuk tiang tunggal dalam tanah lempung lunak sampai sedang biasanya nilai tahanan ujung tidak begitu besar, sehingga metode-metode hitungan daya dukung tiang pada tanah kohesif umumnya lebih ditujukan untuk menentukan tahanan gesek tiang (Q_s). Berikut daya dukung

tiang pancang tunggal berdasarkan hasil dari beberapa metode sebagai berikut;

- ⌚ Metode Lambda (Q_s) = 80,038 kg
- ⌚ Metode U.S. Army (Q_s) = 64,715 kg
- ⌚ Sondir 1 (Q_s) = 78,228 kg
- ⌚ Sondir 2 (Q_s) = 70,272 kg



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Nilai tiang pancang tunggal diambil dari rata-rata nilai daya dukung berbagai metode di atas, maka nilai rata-rata nya Q_s 73,313 kg.

Efisiensi Tiang Pancang Kelompok

Formula yang digunakan yaitu Formula Converse – Labarre. Hasil faktor efisiensi untuk keseluruhan konfigurasi ditampilkan pada tabel di bawah berikut ini.

Tabel 3. Rekapitulasi perhitungan faktor efisiensi tiang pancang kelompok dengan Metode Converse – Labarre

Diameter (D) cm	Jumlah basis (m)	Jumlah kolom (n)	Jarak tiang (s)	Efisiensi (%)
3	2	2	2D	0.705
3	2	2	3D	0.795
3	2	2	4D	0.844
3	3	3	2D	0.606
3	3	3	3D	0.727
3	3	3	4D	0.792
3	4	4	2D	0.557
3	4	4	3D	0.693
3	4	4	4D	0.766

Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

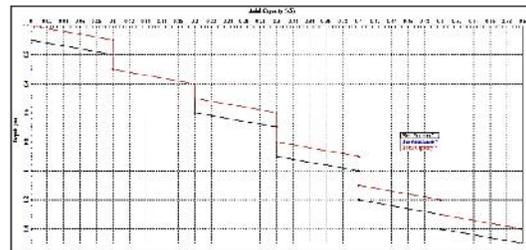
Daya dukung tiang pancang kelompok dengan memperhatikan faktor efisiensi tiang dinyatakan oleh persamaan (4). Hasil daya dukung tiang pancang kelompok untuk seluruh konfigurasi dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 5. Rekapitulasi daya dukung tiang kelompok

Konfigurasi tiang	Jarak tiang (s)	Efisiensi (Converse-Labarre)	Daya Dukung (kg)
2 x 2	2D	0,705	206,695
	3D	0,795	233,185
	4D	0,844	247,518
3 x 3	2D	0,606	400,144
	3D	0,727	479,616
	4D	0,792	522,614
4 x 4	2D	0,557	653,661
	3D	0,693	812,606
	4D	0,766	898,602

Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Menggunakan APILE

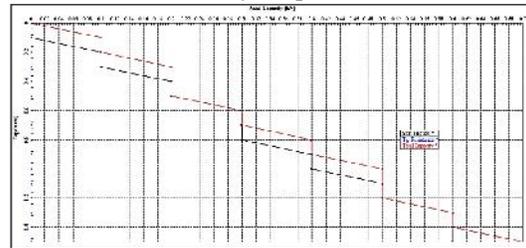
a) Analisis daya dukung tiang pancang tunggal Metode Lambda



Grafik 1. Kombinasi daya dukung tiang tunggal Metode Lambda

Berdasarkan hasil yang telah ditampilkan di atas, daya dukung tiang tunggal berdasarkan metode Lambda adalah sebesar 0,6 kN atau 60 kg.

b) Analisis daya dukung tiang pancang tunggal Metode U.S. Army Corps



Grafik 2. Kombinasi daya dukung tiang tunggal Metode U.S. Army Corps

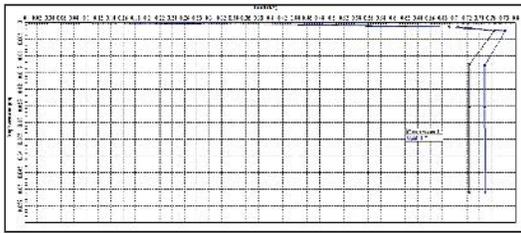
Berdasarkan hasil yang telah ditampilkan di atas, daya dukung tiang tunggal berdasarkan metode Lambda adalah sebesar 0,7 kN atau 70 kg.

Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Menggunakan GROUP

Daya dukung yang akan dianalisis ialah kelompok tiang dengan konfigurasi 2x2, 3x3, dan 4x4 dengan jarak untuk masing-masing konfigurasi adalah 2D, 3D, dan 4D. Tiang pancang dianalisis secara 3 dimensi. Hasil komputasi beban aksial vs

penurunan berdasarkan Metode Lambda dan U.S. Army Corps berupa tabel dan grafik dapat dilihat seperti di bawah ini.

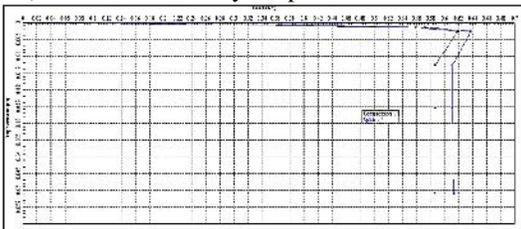
a) Metode Lambda



Grafik 3. Beban aksial vs penurunan berdasarkan Metode Lambda

Berdasarkan hasil yang telah ditampilkan, untuk masing-masing tiang, beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 0,78284 kN atau 78,284 kg dengan penurunan sebesar 0,002657 m atau 0,2657 cm.

b) Metode U.S. Army Corps



Grafik 4. Beban aksial vs penurunan berdasarkan Metode U.S. Army Corps

Berdasarkan hasil yang telah ditampilkan, untuk masing-masing tiang, beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 0,63718 kN atau 63,718 kg dengan penurunan sebesar 0,0026357 m atau 0,26357 cm.

Kemudian daya dukung dihitung berdasarkan persamaan (4) dan efisiensi berdasarkan Tabel 3.

a. Tiang pancang kelompok konfigurasi 2x2
 Nilai daya dukung berdasarkan Metode Lambda;

- Jarak 2D = $4 \times 0,705 \times 78,284 = 220,71$ kg
- Jarak 3D = $4 \times 0,795 \times 78,284 = 249,00$ kg
- Jarak 4D = $4 \times 0,844 \times 78,284 = 264,30$ kg

Nilai daya dukung berdasarkan Metode U.S. Army Corps;

- Jarak 2D = $4 \times 0,705 \times 63,718 = 179,64$ kg
- Jarak 3D = $4 \times 0,795 \times 63,718 = 202,67$ kg
- Jarak 4D = $4 \times 0,844 \times 63,718 = 215,12$ kg

b. Tiang pancang kelompok konfigurasi 3x3
 Nilai daya dukung berdasarkan Metode Lambda;

- Jarak 2D = $9 \times 0,606 \times 78,284 = 427,27$ kg
- Jarak 3D = $9 \times 0,727 \times 78,284 = 512,13$ kg
- Jarak 4D = $9 \times 0,792 \times 78,284 = 558,05$ kg

Nilai daya dukung berdasarkan Metode U.S. Army Corps;

- Jarak 2D = $9 \times 0,606 \times 63,718 = 347,77$ kg

- Jarak 3D = $9 \times 0,727 \times 63,718 = 416,84$ kg
- Jarak 4D = $9 \times 0,792 \times 63,718 = 454,21$ kg

c. Tiang pancang kelompok konfigurasi 4x4
 Nilai daya dukung berdasarkan Metode Lambda;

- Jarak 2D = $16 \times 0,557 \times 78,284 = 697,98$ kg
- Jarak 3D = $16 \times 0,693 \times 78,284 = 867,70$ kg
- Jarak 4D = $16 \times 0,766 \times 78,284 = 959,53$ kg

Nilai daya dukung berdasarkan Metode U.S. Army Corps;

- Jarak 2D = $16 \times 0,557 \times 63,718 = 568,11$ kg
- Jarak 3D = $16 \times 0,693 \times 63,718 = 706,25$ kg
- Jarak 4D = $16 \times 0,766 \times 63,718 = 780,99$ kg

Hasil dan Pembahasan Analisis Manual Terhadap Program

Tabel 6. Hasil analisis daya dukung tiang tunggal

Manual Status	Tes Laboratorium	Metode	Nilai	Unit
Manual Status	CPT	Lambda	53,038	kg
		USACE	54,715	kg
		Schmertmann & Nottingham	78,228	kg
Loading Test	Elastis-Plastis	Chin	70,272	kg
		Lambda	53,000	kg
		USACE	54,750	kg
Pilot	CROTP	Lambda	53,000	kg
		USACE	73,000	kg
		Lambda	78,284	kg
		USACE	63,718	kg

Perhitungan secara manual statis pada metode Lambda memiliki nilai daya dukung lebih besar dengan selisih 33,396% dengan hasil perhitungan menggunakan *software* APILE dan selisih lebih besar 2,240% dengan hasil perhitungan menggunakan *software* GROUP, sedangkan pada metode USACE secara manual memiliki nilai daya dukung yang lebih kecil dengan selisih 7,549% terhadap hasil perhitungan menggunakan *software* APILE dan selisih yang lebih besar 1,565% dengan hasil perhitungan menggunakan *software* GROUP. Berdasarkan metode Schmertmann & Nottingham, Elastis-Plastis, dan Chin memiliki nilai daya dukung yang lebih besar terhadap perhitungan menggunakan *software* APILE metode Lambda dengan selisih berturut-turut yaitu sebesar 23,750 %; 5,00 %; dan 7,917 %. Sedangkan selisih daya dukung terhadap perhitungan menggunakan *software* APILE metode USACE yaitu metode Schmertmann & Nottingham lebih besar 6,072 %; Elastis-Plastis, dan Chin lebih kecil 10,00 %; dan 7,50 %.

Tabel 7. Rekapitulasi perhitungan daya dukung kelompok tiang (kg)

Konfigurasi tiang	Jarak tiang (D)	Efisiensi (Corrosion-Labarre)	Metode Analisis				
			Manual	Loading Test			
				Elastis-Plastis	Chin	Lambda	USACE
2 x 2	2D	0,705	206,695	300	293,13	220,71	179,64
	3D	0,795	233,185	500	478,53	249,00	202,67
	4D	0,844	241,574	570	344,15	264,30	215,12
3 x 3	2D	0,606	400,144	715	694,14	427,27	347,77
	3D	0,727	479,616	590	688,71	512,13	416,84
	4D	0,792	322,611	785	816,29	558,05	454,21
4 x 4	2D	0,557	655,661	1010	1041,67	697,98	568,11
	3D	0,693	812,606	1120	1130,48	867,70	706,25
	4D	0,766	898,607	1140	1130,48	959,53	780,99

Hasil perbandingan perhitungan daya dukung tiang kelompok terhadap program *Ensoft* dapat dilihat pada rekapitulasi di bawah ini.

Tabel 8. Perbandingan nilai daya dukung kelompok tiang terhadap hasil GROUP metode Lambda

Konfigurasi	Jarak tiang (s)	Manual (%)	Elastis-Plastis (%)	Chin (%)
2 x 2	2D	6,350	35,926	32,949
	3D	6,350	100,807	92,345
	4D	6,350	17,291	30,288
3 x 3	2D	6,350	87,340	82,528
	3D	6,350	15,204	34,178
	4D	6,350	10,669	16,101
4 x 4	2D	6,350	44,703	49,241
	3D	6,350	29,077	37,199
	4D	6,350	18,809	24,069
Rata-rata	6,350	41,092	15,500	

Tabel 9. Perbandingan nilai daya dukung kelompok tiang terhadap hasil GROUP metode U.S. Army Corps

Konfigurasi	Jarak tiang (s)	Manual (%)	Elastis-Plastis (%)	Chin (%)
2 x 2	2D	15,059	66,999	61,341
	3D	15,059	146,712	136,315
	4D	15,059	44,104	60,072
3 x 3	2D	15,059	105,594	99,682
	3D	15,059	41,540	61,220
	4D	15,059	72,828	79,869
4 x 4	2D	15,059	77,783	83,357
	3D	15,059	58,581	68,563
	4D	15,059	43,968	22,432
Rata-rata	15,059	73,345	78,761	

Perbandingan daya dukung kelompok tiang metode Elastis-Plastis memiliki nilai lebih besar dengan selisih rata-rata 41,092 % terhadap perhitungan menggunakan *software* GROUP metode Lambda dan nilai daya dukung yang lebih besar pula dengan selisih rata-rata 73,345 % terhadap analisis *software* GROUP metode USACE sedangkan daya dukung kelompok tiang metode Chin memiliki nilai yang lebih besar dengan selisih rata-rata 45,500 % terhadap perhitungan menggunakan *software* GROUP metode Lambda dan nilai daya dukung yang lebih besar pula dengan selisih rata-rata 78,761 % terhadap perhitungan *software* GROUP metode USACE.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pembebanan yang diterapkan pada tiang pancang tunggal berdasarkan *loading test* di lapangan didapatkan beban aksial lebih besar dengan selisih 5,764 % terhadap hasil analisis menggunakan *software* APILE metode Lambda sedangkan perbandingan hasil pembebanan *loading test* di lapangan didapatkan beban aksial lebih besar dengan selisih 33,20 % terhadap analisis menggunakan *software* APILE metode USACE. Penerapan pembebanan menggunakan program APILE dan *loading test* di lapangan mengalami penurunan dengan selisih $\pm 0,3$ cm,

2. Perhitungan daya dukung tiang tunggal secara manual statis memiliki nilai lebih besar dengan selisih 33,396% dengan hasil perhitungan menggunakan *software* APILE dan selisih 2,240% dengan hasil perhitungan menggunakan *software* GROUP dengan menggunakan metode yang sama yaitu metode Lambda, sedangkan pada metode USACE secara manual daya dukung yang diperoleh memiliki nilai lebih kecil dengan selisih 7,549% dengan hasil perhitungan menggunakan *software* APILE dan selisih yang lebih besar 1,565% dengan hasil perhitungan menggunakan *software* GROUP,
3. Perhitungan daya dukung tiang tunggal berdasarkan metode Schmertmann & Nottingham, Elastis-Plastis, dan Chin memiliki daya dukung yang lebih besar terhadap perhitungan menggunakan *software* APILE metode Lambda berturut-turut dengan selisih yaitu sebesar 23,750 %; 5,00 %; dan 7,917 %. Sedangkan selisih daya dukung terhadap perhitungan menggunakan *software* APILE metode USACE yaitu metode Schmertmann & Nottingham lebih besar 6,072 %; Elastis-Plastis, dan Chin lebih kecil 10,00 %; dan 7,50 %,
4. Perhitungan daya dukung kelompok tiang secara manual memiliki nilai lebih kecil dengan selisih rata-rata 6,350 % terhadap perhitungan menggunakan *software* GROUP metode Lambda dan nilai daya dukung yang lebih besar dengan selisih rata-rata 15,059 % terhadap perhitungan *software* GROUP metode USACE,
5. Perhitungan daya dukung kelompok tiang metode Elastis-Plastis memiliki nilai lebih besar dengan selisih rata-rata 41,092 % terhadap perhitungan menggunakan *software* GROUP metode Lambda dan nilai daya dukung yang lebih besar pula dengan selisih rata-rata 73,345 % terhadap perhitungan *software* GROUP metode USACE sedangkan daya dukung kelompok tiang metode Chin memiliki nilai yang lebih besar dengan selisih rata-rata 45,500 % terhadap perhitungan menggunakan *software* GROUP metode Lambda dan nilai daya dukung yang lebih besar pula dengan selisih rata-rata 78,761 % terhadap perhitungan *software* GROUP metode USACE.
6. Perbedaan nilai daya dukung kelompok yang sangat besar antara metode dengan menggunakan *software* terhadap nilai *loading test* di lapangan yang dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain; untuk daya dukung berdasarkan *loading test* yaitu metode instalasi (tingkat presisi jarak antar tiang), lapisan tanah yang beragam, maupun pengaruh cuaca sedangkan nilai daya dukung

berdasarkan *software* GROUP tidak menghasilkan *output* seperti yang diinginkan sehingga *output* yang didapat perlu analisa lebih lanjut.

1.1 Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan dalam penulisan tugas akhir ini sebagai berikut;

1. Melakukan pengembangan terhadap penelitian ini, dengan memberikan variasi yang lebih beragam, menggunakan dimensi yang berbeda dan menggunakan bahan atau material yang berbeda pula,
2. Menguasai keterampilan dalam menjalankan program-program yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir dengan mempelajari buku *manual user's* dari program tersebut ataupun belajar langsung dari ahlinya,
3. Menggunakan metode analisis yang lebih beragam, dan melakukan perbandingan hasil perhitungan manual terhadap hasil perhitungan dengan menggunakan program,

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. 1999. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Chellis, R. D. 1961. *Pile Foundations*. New York: Mc-Graw-Hill.
- Das, Braja M., dkk. 1994. *Mekanika Tanah II (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid I. 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.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1992. *Mekanika Tanah II*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2008. *Teknik Fondasi 2 Cetakan ke – 4*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Meyerhof, G. G. 1976. *Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundation*. Journal. Geotechnical Engineering Division. American Society of Civil Engineers.
- Nottingham, L. C. 1975. *Use of Quasi-static Friction Cone Penetrometer Data Topredict Load Capacity of Displacement Piles*. PhD Thesis. University of Florida.
- Rahardjo, Paulus P. 2013. *Manual Pondasi Tiang Edisi 4*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Reese, Lymon C., et al. 2015. *A Program for the Study of Driven Piles under Axial Loads*. Texas: Ensoft, Inc.
- Reese, Lymon C., et al. 2010. *A Program for the Analysis of a Group of Piles Subjected to Vertical and Lateral Loading (User's Manual)*. Texas: Ensoft, Inc.
- Saputra, Indra. 2018. *Pengaruh Tambahan Pelat Pondasi Terhadap Daya Dukung Kelompok Tiang pada Tanah Lunak Kota Pontianak*. Skripsi. Universitas Tanjungpura Pontianak.
- Teng, W.C. 1962. *Foundation Design*. New Delhi: Prentice Hall Of India.
- Tomlinson, M. J. 1986. *Foundation Design and Construction*. 5th Edition. England: Longman Scientific & Technical.
- Tomlinson, M. J. 1977. *Pile Design and Construction Practice First Edition*. London: View Point Publishing.
- Vijayvergiya, V. N., and Focht, J. A., Jr. 1972. *A New Way to Predict Capacity of Piles in Clay*. Offshore Technology Conference Paper 1718. Fourth Offshore Technology Conference. Houston.