

Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Luciano De Court dan Plaxis Dengan Pile Driving Analyzer (PDA) Test Pada Pembangunan Gedung Research Center UPN Veteran Jawa Timur

Philipus Bagus Putra Arliyanto¹⁾, Muhammad Shofwan Donny Cahyono²⁾, Yoanita Eka Rahayu³⁾

¹⁾ Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika Surabaya, Indonesia

Email: philipusbagus2@gmail.com

²⁾ Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika Surabaya, Indonesia

Email: shofwandonny@widyakartika.ac.id

³⁾ Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika Surabaya, Indonesia

Email: yoanitarahayu@widyakartika.ac.id

Received: 2024-08-03; Accepted: 2023-11-21; Published: 2024-03-30

Abstract

Pile foundations are classified into deep foundation structures which are used in the construction of multi-storey buildings where the application requires a depth of more than 4 meters in order to withstand the magnitude of the existing load. The purpose of this study is intended to test the bearing capacity and settlement in the construction of the Research Center Building at the Surabaya Veterans National Development University by applying the related calculation method, of course, must be based on the data obtained, namely the Standar Penetration Test (SPT) and the conditions of the soil contour of the project under review where the soil contour of the project is cohesive. In this study, the analysis of the bearing capacity using the Luciano De Court – Quaresma (1982) method and the Plaxis software. Furthermore, for the analysis of settlement using the Vesic method (1997) and Plaxis software. As for the Pile Driving Analyzer (PDA) Test data, it is used as a comparison between related methods. The results of the calculation of the bearing capacity ultimate between the Luciano De Court method and Plaxis and the results of the Pile Driving Analyzer (PDA) Test for a 500 mm pile at point 161 and point 261 respectively are 189 tons and 279 tons for the Pile Driving Analyzer (PDA) Test, 281 tons for the analysis of the Luciano De Court Method and 300 tons for the analysis of the Plaxis program assistance. Furthermore, the settlement values for the 500 mm pile at point 161 and point 261 respectively are 27,19 mm and 23,06 mm for the Pile Driving Analyzer (PDA) Test, 23 mm in the analysis of the Luciano De Court method and 20,17 mm in the analysis using Plaxis software.

Keywords: Pile Foundation; Bearing Capacity; Settlement

Abstrak

Pondasi tiang pancang diklasifikasikan kedalam struktur pondasi dalam (*deep foundation*) yang digunakan pada pembangunan gedung bertingkat dimana penerapannya membutuhkan kedalaman lebih dari 4 meter agar dapat menahan besarnya beban yang ada. Tujuan penelitian ini dimaksudkan untuk menguji daya dukung (*bearing capacity*) serta penurunan (*settlement*) pada pembangunan Gedung *Research Center* Universitas Pembangunan Nasional Veteran Surabaya dengan mengaplikasikan metode perhitungan terkait tentunya harus dilandasi berdasarkan data yang di dapat yakni *Standar Penetration Test* (SPT) serta kondisi dari kontur tanah pada proyek yang ditinjau dimana kontur tanah pada proyek bersifat kohesif. Pada penelitian ini, analisis daya dukung (*bearing capacity*) menggunakan Metode *Luciano De Court* – *Quaresma* (1982) serta software *Plaxis*. Selanjutnya, untuk analisis penurunan menggunakan Metode *Vesic* (1997) serta software *Plaxis*. Sedangkan untuk data *Pile Driving Analyser* (PDA) Test digunakan sebagai pembandingan antara metode terkait. Hasil perhitungan daya dukung (*bearing capacity*) ultimate antara Metode *Luciano De Court* Dengan *Plaxis* serta hasil pengujian *Pile Driving Analyser* (PDA) Test untuk tiang 500 mm pada titik 161 dan titik 261 secara berurutan ialah 189 ton dan 279 ton untuk uji *Pile Driving Analyser* (PDA) Test, 281 ton untuk analisis Metode *Luciano De Court* dan 300 ton untuk analisis bantuan program *Plaxis*. Selanjutnya, nilai penurunan (*settlement*) ialah untuk tiang 500 mm pada titik 161 dan titik 261 secara berurutan ialah 27,19 mm dan 23,06 mm untuk uji *Pile Driving Analyser* (PDA) Test, 23 mm pada analisis Metode *Luciano De Court* dan 20,17 mm pada analisis menggunakan software *Plaxis*.

Kata Kunci: Fondasi Tiang Pancang; Kapasitas Dukung; Penurunan

PENDAHULUAN

Pembangunan proyek konstruksi modern, setidaknya sudah mampu menahan beban mati (beban bangunan) serta beban hidup (angin, gempa, air). Pada dasarnya, ketahanan suatu bangunan konstruksi

dipengaruhi oleh struktur pondasi bawah (*lower structure*) dari bangunan karena prinsipnya struktur pondasi bawah (*lower structure*) akan meneruskan beban dari struktur atas (*upper structure*) ke dalam tanah. Maka, dalam suatu perencanaannya perlu menganalisis secara matang agar

perannya sebagai penyangga bangunan lebih optimal.

Pondasi struktur bawah (*lower structure*) sendiri diklasifikasikan kedalam 2 tipe berdasarkan pembebanan pada struktur atas (*upper structure*) diantaranya struktur pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan struktur pondasi dalam (*deep foundation*). Struktur pondasi dangkal (*shallow foundation*) hanya dapat diaplikasikan pada pembangunan rumah bertingkat (*non-gedung*) dimana untuk kedalaman yang dicapai paling sekitar 4 meter dari permukaan tanah. Berbeda halnya pada struktur pondasi dalam (*deep foundation*), struktur pondasi dalam (*deep foundation*) membutuhkan kedalaman lebih dari 4 meter dari permukaan tanah dimana biasanya diaplikasikan pada pembangunan gedung bertingkat.

Sebelum pengaplikasian type, diameter serta kedalaman pondasi tiang pancang (*pile foundation*), tahapan awal yang perlu dilalui yakni dengan menganalisis terkait beban yang bekerja pada struktur atas (*upper structure*) layaknya beban mati (berat bangunan), beban hidup (angin, gempa, air), beban gempa terlebih dahulu. Selanjutnya, baru melakukan penyelidikan tanah (*soil test*) guna mengetahui karakteristik tanah per lapisan dimana hasil dari data rekam tersebut dapat digunakan untuk menganalisis perhitungan kapasitas dukung tanah (*bearing capacity*) serta penurunan (*settlement*).

Maksud dari penelitian ini ialah mengetahui besaran nilai pada kapasitas dukung tanah (*bearing capacity*) sebelum dilakukan analisis lebih detail berdasarkan *safety factor* untuk mengetahui daya dukung ijin (Q_{all}) serta penurunan (*settlement*) yang terjadi yang mana berguna mengetahui ukuran diameter, type serta kedalaman dalam menahan beban struktur atas (*upper structure*).

Penelitian ini sendiri ditinjau langsung pada proyek pembangunan Gedung *Research Center* Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur yang berlokasi di Jln. Rungkut Madya No. 1, Gunung Anyar, Surabaya seperti pada gambar.



Gambar 1. Lokasi Pembangunan Gedung *Research Center*

Pada penentuan output kapasitas dukung (*bearing capacity*), akan dianalisis dengan berdasarkan metode *Luciano De Court – Quaresma* (1982) serta software *Plaxis*. Sedangkan penentuan output

penurunan (*settlement*), akan dianalisis berdasarkan metode *Vesic* (1997) serta software *Plaxis*. Selanjutnya, data *Pile Driving Analyser* (PDA) *Test* hanya digunakan sebagai pembandingan output. Sehingga kesimpulan yang didapatkan setelah penelitian ini selesai, nantinya akan diketahui nilai perbandingan daya dukung (*bearing capacity*) serta penurunan (*settlement*) yang terjadi pada setiap dimensi tiang pancang (*spun pile*) yang akan diterapkan kedepannya.

KAJIAN PUSTAKA

Pedoman SNI Pembangunan Gedung

Prosedur pedoman pembebanan yang digunakan dalam analisis perhitungan beban struktur atas (*upper structure*) ialah menerapkan pedoman SNI 1727 : 2020 tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung serta SNI 1726 : 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Struktur dan peraturan – peraturan lain yang berlaku seperti SKBI 1.3.53.1987.

Distribusi Pembebanan

Dalam mengetahui besaran beban yang dapat ditampung bagi satu tiang (*spun pile*) untuk mendukung beban dari struktur atas (*upper structure*) maka dapat dilakukan analisis distribusi pembebanan dengan formula sebagai berikut.

$$Q_i = \frac{P}{N} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{\Sigma(x^2)} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{\Sigma(y^2)} \quad (1)$$

Keterangan :

- Q = Distribusi pembebanan tiang
- P = Besaran gaya vertikal
- N = Jumlah tiang
- M_x = Momen gaya arah x
- M_y = Momen gaya arah y
- X_i = Jarak $\frac{1}{2}$ antar As tiang arah x
- Y_i = Jarak $\frac{1}{2}$ antar As tiang arah y
- Σx^2 = Jarak total $\frac{1}{2}$ As tiang arah x
- Σy^2 = Jarak total $\frac{1}{2}$ As tiang arah y

Kapasitas Daya Dukung Tanah

Kapasitas dukung (*pile capacity*) atau sering disebut dengan daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kekuatan tanah dalam menahan beban yang disalurkan melalui pondasi. Karena sifat dari tanah yang kohesif (lempung) maka metode yang sangat disarankan dalam perhitungan yakni Metode *Luciano De Court – Quaresma* (1982) dengan formula sebagai berikut.

$$Q_u = \alpha \cdot K_{dq} \cdot N \cdot A_b + \Sigma \beta_i \cdot 10 \cdot \left[\frac{N_i}{3} + 1 \right] \cdot A_{s,i} \quad (2)$$

Keterangan :

- α = Koefisien dasar tiang
- K_{dp} = Koefisien karakteristik tanah
- N = Nilai rata – rata N-SPT
- A_b = Luas tiang
- β_i = Koef. Selimut tiang
- $A_{s,i}$ = Kel. sepanjang tiang
- N_i = Nilai N-SPT di sepanjang tiang tertanam dengan batasan $3 < N < 5$

Dengan tetapan yang berlaku berdasarkan metode yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 1. Sifat Tanah Terhadap Ujung Tiang

Sifat Tanah Terhadap Ujung Tiang				
No.	Tiang	Soil Type		
		Clay (α)	Intermeditiate (α)	Sands (α)
1.	<i>Prefabricated driven pile or steel pile</i>	1,00	1,00	1,00
2.	<i>Bored pile</i>	0,85	0,60	0,50
3.	<i>Bored pile (bentonite)</i>	0,85	0,60	0,50
4.	<i>Continous hollow anger (CFA)</i>	0,30	0,30	0,30
5.	<i>Root pile</i>	0,35	0,60	0,50
6.	<i>Injected pile (high pressure)</i>	1,00	1,00	1,00

Sumber : Luciano De Court & Quaresma (1978)

Tabel 2. Koefisien Selimut Tiang

Sifat Tanah Terhadap Ujung Tiang				
No.	Tiang	Soil Type		
		Clay (α)	Intermeditiate (α)	Sands (α)
1.	<i>Prefabricated driven pile or steel pile</i>	1,00	1,00	1,00
2.	<i>Bored pile</i>	0,80	0,65	0,80
3.	<i>Bored pile (bentonite)</i>	0,90	0,75	0,65
4.	<i>Continous hollow anger (CFA)</i>	1,00	1,00	1,00
5.	<i>Root pile</i>	1,50	1,50	1,50
6.	<i>Injected pile (high pressure)</i>	3,00	3,00	3,00

Sumber : Luciano De Court & Quaresma (1978)

Tabel 3. Koefisien Tiang (K_{dp})

Karakteristik Sifat Tanah		
Koefisien Karakteristik Tanah (K_{dp})		
No	Soil Type	K_{dp} (Kpa)
1.	Sand	400
2.	Sand Clayey	400
3.	Sand Clayey – Silty	400
4.	Sand Silty – Clay	400
5.	Sand Silty	400
6.	Clay	120
7.	Clay Sandy	120
8.	Clay Sandy – Silty	120
9.	Clay Silty – Sandy	120
10.	Clay Silty	120
11.	Silty	200
12.	Silty Sandy - Clayey	250
13.	Silty Sandy	250
14.	Silty Clayey – Sandy	200
15.	Silty Clayey	200

Sumber : J.C.A., Aoki, N (1999)

Penurunan

Penurunan (*settlement*) pondasi ialah keruntuhan pondasi struktur bawah (*lower structure*) yang terjadi akibat beban yang bekerja pada pondasi struktur atas (*upper structure*) yang melebihi kapasitas maksimum. Untuk perhitungan menggunakan Metode *Vesic* (1997) dimana dapat dianalisis berdasarkan data *Soil Penetration Test* (SPT).

$$S_{tot} = S_1 + S_2 + S_3 \quad (3)$$

Keterangan :

S = Penurunan total tiang tunggal

S_1 = Penurunan batang tiang

S_2 = Penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

S_3 = Penurunan tiang akibat beban tersalurkan

Analisis penurunan tiang kelompok (*pile grup*) akibat beban yang tersalurkan untuk tanah kohesif (lempung) dengan formula sebagai berikut.

$$S_G = S \sqrt{\frac{B_G}{D}} \quad (4)$$

Keterangan :

S = Penurunan pondasi tiang tunggal

B_G = Lebar kelompok tiang

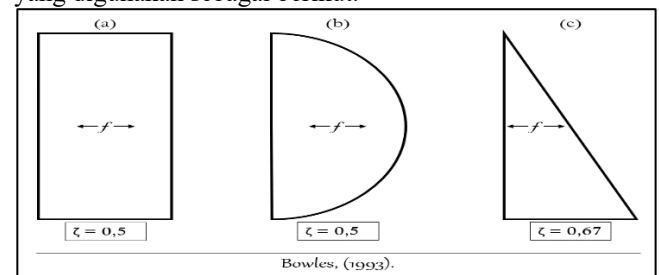
D = Diameter tiang

Penentuan batas aman aman penurunan (*settlement*) pada tiang kelompok ditentukan menurut Metode *Vesic* (1997) dimana dinyatakan kedalam fomulanya sebagai berikut.

$$S_{Gijin} = \frac{L}{250} \quad (5)$$

Keterangan : L = Panjang tiang tertanam

Dengan tetapan yang berlaku berdasarkan metode yang digunakan sebagai berikut.



Gambar 2. Koefisien Kapasitas Gesek (ζ)

Sumber : Bowles (1993)

Tabel 4. Nilai Koefisien Empiris (C_p)

Koefisien Empiris			
No.	Tiang	Type Pile	
		<i>spun pile</i>	<i>bor pile</i>
1.	Sand (<i>dense to loose</i>)	0,02 – 0,04	0,09 – 0,018
2.	Clay (<i>stiff to soft</i>)	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
3.	Silt (<i>dense to loose</i>)	0,03 – 0,05	0,09 – 0,23

Sumber : Luciano De Court & Quaresma (1978)

Software Plaxis 2D V.8.6

Program *Plaxis* merupakan perangkat yang berbasis pendekatan elemen hingga dimana berguna untuk menganalisis berbagai bidang Geoteknik. Secara umum, teknik program *Plaxis* sendiri dibagi kedalam 4 program dimana program tersebut menjalankan tugas yang berbeda – beda sebagai berikut.

1) *Plaxis Input*

Program yang berguna untuk membuat model geometris dan karakteristik tanah.

2) *Plaxis Calculation*

Program yang berguna untuk men-define lanjut komponen yang telah di inputkan setelah *entri* data.

3) *Plaxis Output*

Program yang digunakan untuk menganalisis perhitungan berdasarkan hasil *entri* data serta *define* komponen – komponen sebelumnya.

4) *Plaxis Curve*

Program yang digunakan untuk menggambarkan kurva yang berhubungan antara beban atau waktu dengan perpindahan yang terjadi.

Dalam analisis daya dukung (*bearing capacity*) dan penurunan (*settlement*) sendiri program *Plaxis* 2D membutuhkan beberapa tahap sebagai berikut.

1) Parameter

Dalam menjalankan program Plaxis 2D, memerlukan data terkait parameter tanah dari proyek yang akan diteliti baik berupa rekap data dari pengujian *Soil Penetration Test* (SPT) serta pengujian laboratorium test. Selanjutnya, perlu juga menganalisis secara manual guna menentukan nilai dari parameter tiang (*spun pile*) tentunya berdasarkan jenis tiang proyek yang dimana parameter – parameter ini diperlukan dalam penginputan data.

2) Penginputan *data entry*

Dalam menganalisis daya dukung (*bearing capacity*) serta penurunan (*settlement*) pondasi pada program Plaxis 2D, untuk mendapatkan nilai yang dibutuhkan sebagai berikut.

a) Pengaturan *General Option*

Sebelum melakukan analisis secara numerik, maka perlu terlebih dahulu mengatur *general option* dimana berguna dalam memudahkan pengguna untuk melakukan pemodelan serta penginputan.

b) Pemodelan struktur & *Input* parameter tanah
Pemodelan struktur tanah sendiri didasarkan pada kedalaman tanah per lapisan serta hasil rekap analisis uji *Soil Penetration Test* (SPT) ataupun laboratorium test, sedangkan untuk tiang didasarkan dari bentuk, jenis serta tiang yang digunakan yang dimana kemudian dianalisis secara manual guna mendapatkan parameter yang dibutuhkan.

c) Perlakuan *General Mesh* dan *update*

Perlakuan ini berguna agar program *Plaxis 2D* dapat membaca serta menganalisis data setelah dilakukan penginputan *data entry* sesuai dengan parameter yang ada dan telah ditentukan.

d) Pengidentifikasi tahapan konstruksi
Sesuai fungsinya dimana program *Plaxis 2D* merupakan program yang didesain dalam analisis metode elemen hingga, maka tahapan konstruksi menjadi hal penting dalam penginputan data *entry* guna menentukan keakuratan menentukan daya dukung (*bearing capacity*) serta penurunan (*settlement*).

e) Analisis hasil output penurunan (*settlement*)
Output pembebanan setelah proses calculate program *Plaxis 2D* menjadi hasil akhir atas penurunan (*settlement*) yang terjadi baik pada tiang pancang (*spun pile*) serta tiang grup (*pile grup*). Hasil output ini akan berupa gambar dimana gambar tersebut meliputi penurunan (*settlement*), tekanan air, tekanan tanah, arah gaya yang terjadi dan sebagainya

f) Analisis hasil *phi/c reduction*

Output phi/c reduction pada menu bar multipliers setelah proses *calculate data entry* akan mendapatkan output berupa $\sum msf$. Nilai $\sum msf$ ini berguna sebagai acuan angka pengali dalam menentukan kapasitas dukung (*bearing capacity*) ijin (Q_{all}) yang ditinjau berdasarkan hasil kapasitas dukung (*bearing capacity*)

ultimate (Q_u) pada analisis metode sebelumnya.

Selanjutnya, untuk menentukan nilai kapasitas dukung (*bearing capacity*) untuk tiang grup (*pile grup*) dapat memakai tetapan sebagai berikut.

Tabel 5. Efisiensi Grup Tiang

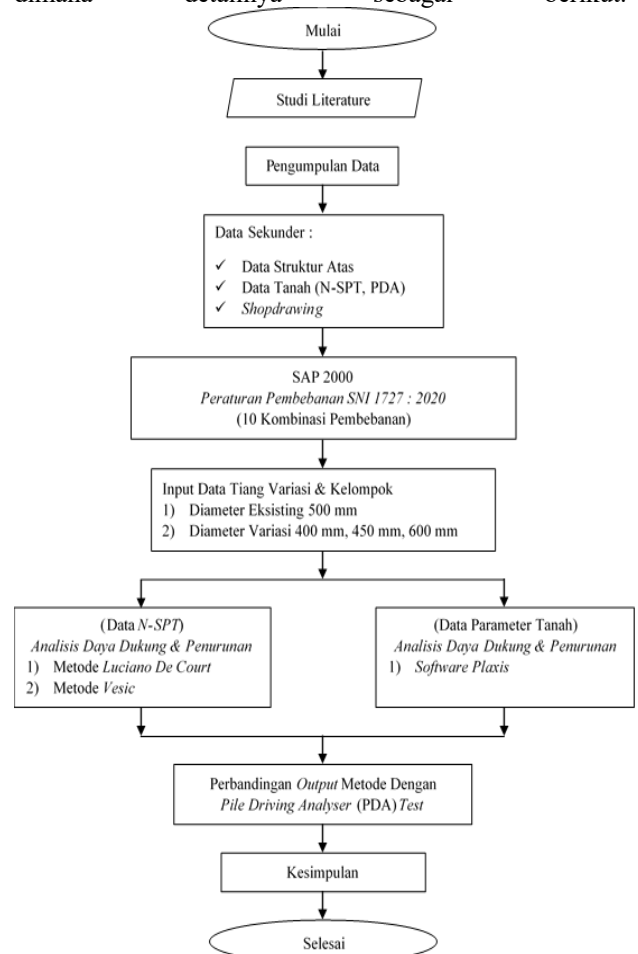
Karakteristik Sifat Tanah		
No	Soil Type	K_{dp} (Kpa)
1.	1 tiang	1
2.	2 tiang	0,983
3.	3 tiang	0,875
4.	4 tiang	0,813
5.	5 tiang	0,800
6.	6 tiang	0,771
7.	7 tiang	0,750
8.	9 tiang	0,722
9.	12 tiang	0,698

Sumber : Luciano De Court & Quaresma (1978)

METODE PENELITIAN

Alur Diagram Penelitian

Berikut merupakan bagan alir metode penelitian dimana detailnya sebagai berikut.



Gambar 3. Struktur Diagram Alir

Tahapan Langkah Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis melakukan analisis menggunakan metode penelitian kuantitatif dimana untuk tahapan – tahapan penelitian ini detailnya sebagai berikut.

DOI: <https://doi.org/10.25139/jprs.v7i1.6709>

- 1) Tahapan perumusan masalah
Tahap ini akan dilakukan suatu perumusan masalah terkait penelitian yang akan diteliti meliputi rumusan masalah, penentuan topik, perumusan manfaat serta tujuan dari penelitian.
- 2) Tahapan studi pustaka
Tahap ini, akan dilakukan pencarian informasi terkait penelitian dari berbagai refrensi, literatur, buku dan jurnal terkait penelitian sejenis tentunya yang dapat menunjang pembuatan skripsi.
- 3) Tahapan pengumpulan data
Tahap ini, akan menggali berbagai data yang diperlukan pada proyek yang ditinjau.
- 4) Tahapan analisis pembebanan
Tahap ini, akan menganalisis besaran beban struktur atas (*upper structure*) menggunakan program SAP 2000 dimana disesuaikan dengan kondisi eksisting proyek berdasarkan data yang didapat.
- 5) Tahapan analisis perhitungan
Tahap ini, akan dilakukan analisis perhitungan kapasitas dukung (*bearing capacity*) dan penurunan (*settlement*) baik pada tiang tunggal ataupun tiang kelompok dengan dimensi yang telah ditetapkan.
 - Metode *Luciano De Court – Quaresma* (1982) sebagai analisis kapasitas dukung (*bearing capacity*).
 - Metode *Vesic* (1997) sebagai analisis penurunan (*settlement*) pondasi.
 - Software *Plaxis* sebagai analisis kapasitas dukung (*bearing capacity*) dan penurunan (*settlement*)
- 6) Tahapan kesimpulan
Tahap ini, akan membandingkan metode terkait dengan data *Pile Driving Analyser (PDA) Test* serta kesimpulan hasil perhitungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data – Data Terkait

Dalam penelitian ini, subjek data yang dikelola bersumber dari data proyek Gedung *Research Center* Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jatim.

Tabel 6. Data Rekap Standar Penetration Test

Tabel 6. Data Rangkap Standar Penetration Test			
Data	Soil Penetration Test (SPT)		Gedung Research Center
Pengujian	Bore log 1 (36 meter)		
Tebal	Keterangan		SPT
	Kedalaman (<i>Awal</i>)	Kedalaman (<i>Akhir</i>)	
2 m	0 meter	2 meter	3
2 m	2 meter	4 meter	2
2 m	4 meter	6 meter	2
2 m	6 meter	8 meter	2
2 m	8 meter	10 meter	2
2 m	10 meter	12 meter	2
2 m	12 meter	14 meter	4
2 m	14 meter	16 meter	5
2 m	16 meter	18 meter	12
2 m	18 meter	20 meter	15
2 m	20 meter	22 meter	19

Data	Soil Penetration Test (SPT)		Gedung Research Center
Pengujian	Bore log 1 (36 meter)		
Tebal	Keterangan		SPT
	Kedalaman (<i>Awal</i>)	Kedalaman (<i>Akhir</i>)	
2 m	22 meter	24 meter	23
2 m	24 meter	26 meter	22
2 m	26 meter	28 meter	21
2 m	28 meter	30 meter	22
2 m	30 meter	32 meter	13
2 m	32 meter	34 meter	17
2 m	34 meter	36 meter	

Sumber : Rekap Data UPN

Untuk rekap data material yang digunakan terdiri atas 2 yang meliputi rekap data struktur atas (*upper structure*) dan struktur bawah (*lower structure*).
Data teknis struktur atas (*upper structure*)

- 1) Jenis Tulangan : BJTD 39, BJTP 24
Tulangan baja ulir dengan mutu (f_y) 400 Mpa.
Tulangan baja polos dengan mutu (f_y) 240 Mpa.
- 2) Jenis Struktur : Beton Bertulang
Beton Utama mutu K-500 ($f_c = 40$ Mpa)
Beton Struktur Lain mutu K-300 ($f_c = 35$ Mpa)
- 3) Dimensi Struktur :

Tabel 7. Data Teknis Material

Tabel 7. Data Form Material			
No.	Keterangan	Dimensi	
		Lebar	Tinggi
Balok			
1.	Balok I	400	700
2.	Balok II & Sloof	400	600
3.	Balok III	250	500
4.	Balok IV & Ring Balk	350	600
5.	Balok Konsol	300	600
Kolom			
1.	Kolom I	700	700
2.	Kolom II	400	400

Sumber : Rekap Data UPN

- 4) Profil Baja Atap : BJ 37
Gording dengan Baja WF 250.125.6.9
- 5) Elevasi Bangunan : 7 Lantai
Elevasi Lantai 1 = + 6,00 m dari lantai sebelumnya,
Elevasi Lantai 2 = + 4,00 m dari lantai sebelumnya,
Elevasi Lantai 3 = + 4,00 m dari lantai sebelumnya,
Elevasi Lantai 4 = + 4,00 m dari lantai sebelumnya,
Elevasi Lantai 5 = + 4,00 m dari lantai sebelumnya,
Elevasi Lantai 6 = + 4,00 m dari lantai sebelumnya,
Elevasi Lantai 7 = + 4,00 m dari lantai sebelumnya,

Data teknis struktur bawah (*lower structure*)

- 1) Modul *spun pile* :
Merk *Spun Pile* = WIKA (*A Class*)
Mutu *Spun Pile* = K-600
Material *Spun Pile* = Beton (*concreate pile*)
Type *Spun Pile* = Bulat (*round hollow pile*)
Panjang *Spun Pile* = 10 meter (*per modul*)
Diameter *Spun Pile* =

Tabel 8. Estimasi Ukuran Diameter Tiang Pancang

No.	Keterangan	Dimensi	
		cm	mm
1.	Eksisting	50	500
2.	Variasi	40	400
3.	Variasi	45	450
4.	Variasi	60	600

- 2) Karakter Tanah :
Kategori tanah kohesif
Jenis tanah lempung / lunak (*Soil Test*)
- 3) Penentuan kedalaman pemancangan diasumsikan sedalam 30 meter.
- 4) Metode dalam proses pemancangan diasumsikan oleh penulis dengan menerapkan penekanan (*driven pile*).

Analisis Pembebanan SAP 2000

Analisis dalam pembebanan gedung *Research Center* ini akan memperhitungkan 4 tipe beban meliputi beban mati (*dead load*), beban mati tambahan (*super dead load*), beban hidup (*live load*) dan beban gempa (*quake*) dimana ini juga disesuaikan dengan pedoman – pedoman yang berlaku.

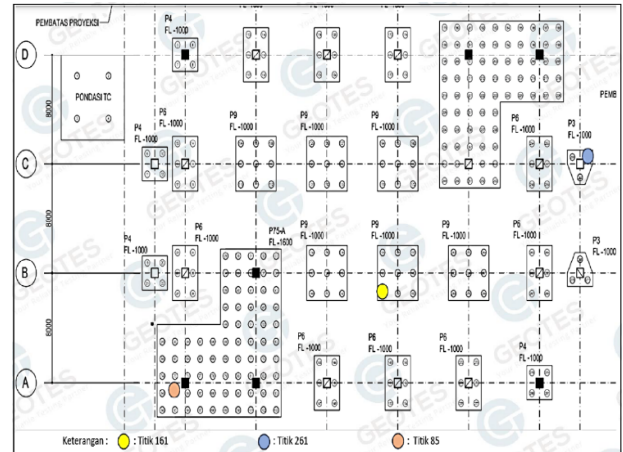
Hubungan kedua analisis tersebut baik analisis tersendiri struktur atas (*upper structure*) yang menggunakan bantuan program SAP 2000 dengan struktur bawah (*lower structure*) yang menggunakan beberapa metode terkait yakni dimaksudkan sebagai acuan tolak ukur pembandingan antar besaran gaya struktur atas (*upper structure*) yang tersalurkan pada titik kolom dengan kekuatan tiang (*spun pile*) dalam menahan beban yang tersalurkan.

Analisis Pembebanan						
Program SAP 2000						
Analisis Acuan		Dead Load, Live Load & Quake Data Perhitungan Struktur Atas, Shop Drawing, RKS		Gedung Research Center		
No	Joint	Output Case	P Ton	Mx ton/m	My ton/m	Beri pile
1.	544	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	209,93	11,49	3,6	3
2.	546	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	195,35	14,37	14,83	3
3.	548	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	259,29	21,15	3,38	4
4.	550	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	409,81	16,6	12,25	6
5.	552	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	368,77	16,43	12,64	6
6.	556	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	377,97	18,44	6,75	6
7.	558	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	557,96	15,69	15,03	9
8.	562	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	358,49	18,45	8,62	6
9.	564	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	524,8	18,31	19,44	9
10.	565	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	520,58	16,67	10,19	9
11.	566	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	355,31	14,21	16,25	6
12.	568	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	366,61	19,12	10,54	6
13.	570	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	524,51	17,93	22,96	9
14.	571	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	524,89	16,22	12,89	9
15.	572	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	358,49	14,22	18,22	6
16.	577	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	522,42	17,84	18,89	9
17.	578	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	361,52	14,34	20,18	6
18.	582	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	392,43	16,12	21,05	6
19.	583	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	425,59	14,33	19,31	6
20.	584	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	259,09	9,5	23,77	4
21.	586	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	217,18	12,55	12,37	4
22.	588	1,068DL+0,75LL+0,525RSPX+0,157RSPY	234,07	12,27	27,39	4

Gambar 4. Output Pembebanan Program SAP 2000

Besaran beban per *joint*/kolom disesuaikan dengan titik yang akan dijadikan pembandingan dimana untuk pembandingan sendiri disesuaikan dengan peta lokasi *Pile Driving Analyzer* (PDA) Test.

1. Untuk analisis I (*joint* 546 ; *titik* 261) dengan desain *pilegrup* 3
2. Untuk analisis II (*joint* 565 ; *titik* 161) dengan desain *pilegrup* 9



Gambar 5. Peta Pengujian *Pile Driving Analyzer*

Selanjutnya, dilakukan distribusi pembebanan berdasarkan formula yang telah dijabarkan dimana berguna agar mengetahui besaran beban yang dapat ditampung bagi tiang tunggal (*single pile*) tentunya ditinjau dengan hasil analisis distribusi pembebanan per tiang berdasarkan besaran beban pada *joint* yang dianalisis sebelumnya. Sedangkan untuk tiang grup (*pile grup*) ditentukan berdasarkan besaran beban yang akan ditampung oleh tiang tunggal (*single pile*) dikalikan dengan jumlah tiang sesuai dengan bentuk atau desain *pilecab* yang direncanakan.

Hasil Analisis Daya Dukung Ultimate (Q_u)

Berikut merupakan *output* analisis kapasitas dukung (Q_u) ultimate yang terjadi pada pemancangan 30 meter kedalaman tanah untuk tiang bulat (*spun pile*) mutu K-600 tanpa *safety factor* pada tiang diameter eksisting dan variasi antar metode terkait yakni *Luciano De Court* – *Quaresma* (1982) serta program *Plaxis* 2D.

Tabel 9. Output Daya Dukung Ultimate (Q_u)

Daya Dukung Ultimate (Q_u) (Bearing Capacity)			
Daya Dukung Ultimate (Q_u) – Tiang Tunggal			
Dimensi	Luciano De Court	Plaxis	
500 mm	281,7 ton	300 ton	
400 mm	214,8 ton	230,2 ton	
450 mm	247,6 ton	265,3 ton	
600 mm	353,9 ton	376,7 ton	

Hasil Analisis Daya Dukung Ijin (Q_{an})

Berikut merupakan *output* analisis kapasitas dukung ijin yang terjadi pada pemancangan 30 meter kedalaman tanah untuk type tiang bulat (*spun pile*) mutu K-600 dengan *safety factor* = 3 pada tiang diameter eksisting dan variasi yang ditinjau berdasarkan distribusi pembebanan baik tiang tunggal (*single pile*) ataupun tiang grup (*pile grup*) antar metode terkait yakni *Luciano De Court* – *Quaresma* (1982) serta program *Plaxis* 2D.

Tabel 10. Output Kapasitas Dukung Ijin (Q_{all})
Daya Dukung Ijin Maksimum (Q_{all})

Daya Dukung Ijin (Q_{all})						
Angka Keamanan (<i>safety factor</i>) - 3						
Dimensi	Ket.	Metode		Kesimpulan		Distribusi Beban ($Q_{all} > I$)
		Luciano De Court	Plaxis	Luciano De Court	Plaxis	
500 mm	Distribusi Beban Tunggal (<i>single pile</i>)					
	Pilegrup 3	93,3 ton	100 ton	aman	aman	81,4 ton
	Pilegrup 9	93,3 ton	100 ton	aman	aman	54,1 ton
	Distribusi Beban Kelompok (<i>pile grup</i>)					
	Pilegrup 3	281,7 ton	263,3 ton	aman	aman	203 ton
	Pilegrup 9	845,1 ton	651,7 ton	aman	aman	520,5 ton
400 mm	Distribusi Beban Tunggal (<i>single pile</i>)					
	Pilegrup 3	71,6 ton	76,7 ton	tidak aman	tidak aman	85,5 ton
	Pilegrup 9	71,6 ton	76,7 ton	aman	aman	53,3 ton
	Distribusi Beban Kelompok (<i>pile grup</i>)					
	Pilegrup 3	214,8 ton	201,4 ton	aman	tidak aman	203 ton
	Pilegrup 9	644,4 ton	498,5 ton	aman	tidak aman	520,5 ton
450 mm	Distribusi Beban Tunggal (<i>single pile</i>)					
	Pilegrup 3	82,5 ton	88,4 ton	tidak aman	aman	83,2 ton
	Pilegrup 9	82,5 ton	88,4 ton	aman	aman	53,9 ton
	Distribusi Beban Kelompok (<i>pile grup</i>)					
	Pilegrup 3	247,6 ton	232,2 ton	aman	aman	203 ton
	Pilegrup 9	742,5 ton	574,7 ton	aman	aman	520,5 ton
600 mm	Distribusi Beban Tunggal (<i>single pile</i>)					
	Pilegrup 3	118 ton	125,6 ton	aman	aman	78,7 ton
	Pilegrup 9	118 ton	125,6 ton	aman	aman	54,9 ton
	Distribusi Beban Kelompok (<i>pile grup</i>)					
	Pilegrup 3	353,9 ton	329,6 ton	aman	aman	203 ton
	Pilegrup 9	1.061 ton	816 ton	aman	aman	520,5 ton

Hasil Analisis Penurunan (S)

Berikut merupakan *output* analisis penurunan (*settlement*) yang terjadi pada pemancangan 30 meter kedalaman tanah pada tiang diameter eksisting dan variasi baik tiang tunggal (*single pile*) ataupun tiang grup (*pile grup*) antar metode terkait yakni Luciano De Court – Quaresma (1982) serta program Plaxis 2D.

Tabel 11. Output Penurunan Pondasi

Penurunan Pondasi (S)						
Penurunan – Settlement (S_G)						
Dimensi	Ket.	Metode		Kesimpulan		Batas Aman
		Vesi c	Plaxis	Vesi c	Plaxis	
500 mm	Single	0,023	0,020	aman	aman	0,050
	Pilegrup 3	0,051	0,049	aman	aman	0,120
	Pilegrup 9	0,059	0,117	aman	aman	0,120
	Single	0,022	0,020	aman	aman	0,040
400 mm	Pilegrup 3	0,050	0,040	aman	aman	0,120
	Pilegrup 9	0,059	0,099	aman	aman	0,120
	Single	0,022	0,019	aman	aman	0,045

Penurunan Pondasi (S)						
Penurunan – Settlement (S_G)						
Dimensi	Ket.	Metode		Kesimpulan		Batas Aman
		Vesi c	Plaxis	Vesi c	Plaxis	
600 mm	Pilegrup 3	0,049	0,044	aman	aman	0,120
	Pilegrup 9	0,058	0,108	aman	aman	0,120
	Single	0,024	0,020	aman	aman	0,060
	Pilegrup 3	0,052	0,062	aman	aman	0,120
600 mm	Pilegrup 9	0,062	0,136	aman	tidak	0,120

Hasil Perbandingan Analisis Metode Terkait Dengan Rekap PDA Test

Berikut merupakan hasil akhir dari perbandingan daya dukung (*bearing capacity*) ultimate (Q_u) serta penurunan (*settlement*) yang terjadi antar metode – metode terkait dengan rekap data *Pile Driving Analyzer* (PDA) Test pada tiang eksisting.

Tabel 12. Output Perbandingan Daya Dukung (Q_u) Antar Metode Dengan Hasil Rekap PDA Test.

Daya Dukung Ultimate (Q_u) (<i>Bearing Capacity</i>)					
Daya Dukung Ultimate (Q_u) – Tiang Tunggal					
UK	Keterangan	PDA		Luciano De Court	Plaxis
		Titik 161	Titik 261		
50 cm	Daya Dukung (Q_u)	189 Ton	279 Ton	281,7 ton	300 ton
	Penurunan (S_G)	27,19 mm	23,06 mm	23 mm	20 mm

Sumber : Rekap Hasil PDA Test

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perbandingan daya dukung (*bearing capacity*) ultimate (Q_u) pada tiang tunggal diameter variasi tanpa melihat *safety factor* 3 yakni 400 mm, 450 mm dan 600 mm secara berurutan ialah 214,8 ton, 247,6 ton serta 353,9 ton untuk Metode Luciano De Court – Quaresma (1982) dan 230,2 ton, 265,3 ton serta 376,7 ton untuk analisis berdasarkan program Plaxis.

Untuk perbandingan baik hasil daya dukung (*bearing capacity*) ultimate (Q_u) tanpa melihat *safety factor* 3 berserta hasil penurunan (*settlement*) yang terjadi pada tiang tunggal diameter eksisting yakni 500 mm antar metode terkait dengan hasil rekap uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) Test yang ditinjau berdasarkan titik 161 dan titik 261 secara berurutan ialah 189 ton dan 279 ton untuk hasil daya dukung (*bearing capacity*) ultimate dengan nilai penurunan (*settlement*) sekitar 27,19 mm dan 23,06 mm pada rekap uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) Test, 281,7 ton untuk hasil daya dukung (*bearing capacity*) ultimate dengan nilai penurunan (*settlement*) sekitar 23 mm pada analisis Metode Luciano De Court – Quaresma (1982) dan yang terakhir 300 ton untuk hasil daya dukung (*bearing capacity*) ultimate dengan nilai penurunan (*settlement*) sekitar 20 mm pada analisis bantuan program Plaxis.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, Frisca. (2018). *“Alat Pancangan Hidrolic Static Pile Driver (HSPD)”*. Surabaya: Blogspot.
- Arifin, Zainul. (2017). *“Komparasi Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal Dihitung dengan Beberapa Metode”*. Diponegoro: Universitas Diponegoro.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *“Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. SNI 1726-2020.”*. Jakarta: Lembaga BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *“Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. SNI 1727 – 2019.”*. Jakarta: Lembaga BSN.
- Bowles, J. (1984). *“Foundation Analysis and Design”*. Jakarta: Erlangga.
- Budjianto, W.S.R. (2017). *“Perbandingan Daya Dukung Fondasi Akibat Perbedaan Metode Konstruksi Pondasi Dalam”*. Bandung: Universitas Katolik Parahyang.
- Das, Braja. (1985). *“Principle of Geotechnical Engineering”*. terjemahan oleh Noor Endah & Indra Surya Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *“Analisis dan Perancangan Fondasi I”*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). *“Analisis dan Perancangan Fondasi II”*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Henrikusgalih. (2017). *“Pondasi Tiang Pancang – Pengertian, Kelebihan, Fungsi pada Bangunan”*. Jakarta: Blogspot
- Sardjoo H.S. (1991). *“Fondasi Tiang Pancang”*. Surabaya: CV Sinar Wijaya.
- Savira N. (2020). *“Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Data Laboratorium Dibanding Dengan Data Sondir dan Data Standart Penetration (SPT) Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Krian – Legundi – Bunder – Manyar”*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Siregar, Muhammad Fahmi. (2018). *“Analisa Daya Dukung Fondasi Bored Pile dengan Menggunakan Metode Analitis dan Program Software Plaxis Plaxis v.8.6.”*. Sumatera: Universitas Sumatera Utara.
- Wawan, R.S. (2019). *“Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik”*. Jakarta: Kementrian PUPR.