

ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN ELASTIS PONDASI TIANG PANCANG GEDUNG *CREATIVE CENTER* TASIKMALAYA

*Karina Lukita¹, Novi Asniar², Anri Noor Annisa R.³

1Fakultas Teknik, Universitas Perjuangan Tasikmalaya, Kota Tasikmalaya, Indonesia

*)Penulis korespondensi: Karina Lukita (karinalukita@gmail.com)

Received: 18 September 2020 Revised: 25 Agustus 2021 Accepted: 26 Agustus 2021

Abstract— The foundations is a very important structural element in a building which the functions is to transfer the structural load to the ground below. The bearing capacity of the foundations determines the ability to carry the loads. If the bearing capacity is small, excessive settlement will occur and it cause the damage of the building structure. On Tasikmalaya Creative Center building construction project the pile foundations were used. The purpose of this research is to analysis the bearing capacity and the amount of settlement that occurred. And to compare the number of the foundations based on the analysis and the number of foundations in implementations. Aoki & De Alencar and Meyerhoff methods used to calculate the bearing capacity based on CPT, and Danish Formula methods used on kalendering test. The result of the bearing capacity used to calculate the settlement using Elastic methode. In analyzing the number of foundations, the superstructure loading analysis was carried out using 3D modeling. The results showed that the ultimate bearing capacity with the Aoki & De Alencar method of 107,07 tons, the Meyerhoff method 153,84 tons and the Danish Formula method 206,09 tons. The elastic settlement that occur is 2,3mm on point 1 and 2,9mm on point 2. The results of the comparison the number of foundations based on the analysis with the implementations are appropriate.

Keywords — Pile Foundations, CPT, Bearing Capacity, Elastic Settlement.

Abstrak— Pondasi merupakan sebuah elemen struktur yang sangat penting dalam suatu bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban struktur atas ke tanah dibawahnya. Daya dukung pondasi menentukan kemampuan dalam memikul beban. Apabila daya dukung kecil, maka akan terjadi penurunan yang berlebihan bahkan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan. Pondasi tiang pancang digunakan pada proyek pembangunan Gedung Creative Center Tasikmalaya. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisa kapasitas daya dukung dan penurunan elastis pada yang terjadi. Serta membandingkan jumlah pondasi berdasarkan analisa dengan jumlah pondasi pada pelaksanaan. Untuk menghitung kapasitas daya dukung berdasarkan data sondir yaitu menggunakan metode Aoki dan De Alencar dan metode Meyerhoff, dan berdasarkan data kalendering menggunakan metode Danish Formula. Hasil dari perhitungan daya dukung dipakai dalam melakukan perhitungan penurunan dengan metode Elastis. Dalam menganalisa jumlah pondasi, dilakukan analisa pembebanan struktur atas dengan pemodelan 3D. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas daya dukung ultimit dengan metode Aoki dan De Alencar yaitu sebesar 107,07 ton, dengan metode Meyerhoff sebesar 153,84ton dan dengan metode Danish Formula 205,09 ton. Penurunan elastis yang terjadi yaitu sebesar 2,3mm pada titik 1 dan 2,9mm pada titik 2. Hasil dari perbandingan jumlah pondasi berdasarkan analisa dengan pada pelaksanaan telah sesuai.

Kata kunci — Pondasi Tiang Pancang, Sondir, Kalendering, Daya Dukung, Penurunan Elastis.

1. PENDAHULUAN

Kota Tasikmalaya merupakan salah satu kota di Jawa Barat yang saat ini sedang berkembang pesat. Perkembangan tersebut meliputi pembangunan sarana dan prasana yang dapat menunjang kebutuhan ekonomi, sosial budaya dan pendidikan. Hal ini juga berdasarkan pada Undang-Undang Nomor 10 tahun 2001 tentang pembentukan Kota Tasikmalaya, mengandung konsekuensi adanya tuntutan peningkatan pelayanan pemerintah kepada masyarakat. Oleh karena itu Pemerintah Kota Tasikmalaya melalui Dinas Kebudayaan Pariwisata Pemuda dan bekerja sama dengan Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat membangun Gedung *Creative Center* Tasikmalaya.

Perencanaan gedung bertingkat harus dipikirkan secara matang karena selain menyangkut investasi dana yang besar, yang paling utama adalah untuk menjaga keamanan bagi para pengguna gedung tersebut. Begitu pula dengan perencanaan Gedung *Creative Center* ini perlu meninjau beberapa kriteria, yaitu *strength*, *stiffness* dan *serviceability*.

Jika tegangan tanah akibat beban bekerja melebihi kapasitas ijin maka akan terjadi keruntuhan (Sumiyanto, dkk. 2007). Untuk itu pondasi bangunan harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, berat beban-beban yang bekerja, gaya dari luar seperti tekanan angin, gempa, dan lain-lain dan tidak boleh terjadi penurunan melebihi batas yang diijinkan.

Pondasi sebagai struktur bawah secara umum dapat dibagi dalam dua jenis yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pemilihan jenis pondasi tergantung pada jenis struktur atas apakah termasuk konstruksi beban ringan atau beban berat dan bergantung pada jenis tanahnya. Pada pembangunan Gedung *Creative Center* Tasikmalaya, pondasi yang digunakan adalah pondasi dengan jenis tiang pancang yang termasuk dalam jenis pondasi dalam.

Permasalahan yang terjadi pada pondasi seringkali beragam. Salah satunya adalah penurunan elastis pondasi. Penurunan elastis atau penurunan segera bergantung pada kecepatan pembebanan. Seperti yang dapat kita lihat bahwa pembangunan gedung umumnya membutuhkan waktu lama hingga tahunan, sehingga kecepatan pembebanan relatif lama. Penurunan elastis yang terjadi tidak boleh melebihi batas izin yang ditetapkan. Apabila penurunan terjadi melebihi batas izinnnya, maka akan terjadi kerusakan pada struktur atasnya. Sehingga dilakukan analisa daya dukung dan penurunan elastis pondasi tiang pancang pada Gedung *Creative Center* Tasikmalaya.

1.1 Rumusan Masalah Penelitian

- Bagaimana menganalisis daya dukung pondasi tiang pancang Gedung *Creative Center* Tasikmalaya?
- Bagaimana menganalisis besaran penurunan (*settlement*) yang terjadi pada pondasi tiang pancang Gedung *Creative Center* Tasikmalaya?
- Bagaimana membandingkan jumlah pondasi berdasarkan analisa pembebanan struktur atas dengan pemodelan 3D dengan jumlah pondasi pada pelaksanaan?

1.2 Tujuan Penelitian

- Menganalisa daya dukung pada Gedung *Creative Center* Tasikmalaya,
- Menganalisa besaran penurunan (*settlement*) yang terjadi pada pondasi tiang pancang Gedung *Creative Center* Tasikmalaya,
- Mengetahui perbandingan jumlah pondasi berdasarkan analisa pembebanan struktur atas dengan pemodelan 3D dengan jumlah pondasi pada pelaksanaan apakah sesuai atau tidak.

1.3 Manfaat Penelitian

Untuk mengetahui daya dukung dan nilai penurunan yang terjadi pada Gedung *Creative Center* Tasikmalaya, sehingga nantinya diharapkan dapat menghindari resiko kerusakan struktur bangunan karena penurunan tanah yang terlalu besar.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Daya Dukung Pondasi Tiang

Daya dukung (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah dibawah dan sekitar pondasi untuk menahan beban yang bekerja dari struktur atasnya. Perhitungan daya dukung pondasi didapatkan berdasarkan hasil hitungan statik dan hasil pembebanan langsung dilapangan baik berdasarkan uji beban statik dan dinamik.

1) Daya dukung tiang berdasarkan data sondir

Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan data sondir pada penelitian ini menggunakan metode Aoki dan Alencar juga metode Meyerhof, yaitu:

a) Metode Aoki dan Alencar

Aoki dan Alencar merumuskan kapasitas daya dukung ultimit dari data sondir sebagai berikut:

$$Q_{ult} = q_b \times A_p \dots\dots\dots (1)$$

Dengan

Q_{ult} : kapasitas daya dukung tiang

q_b : tahanan ujung sondir

A_p : luas penampang tiang

Dengan q_b diperoleh sebagai berikut:

$$q_b = \frac{q_{ca}(base)}{F_b} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana

$q_{ca}(base)$: perlawanan konus rata – rata 1,5D diatas ujung tiang, 1,5D dibawah ujung tiang
 f_b : faktor empirik, tergantung pada tipe tanah (lihat Tabel 1)

Tabel 1. Faktor Empirik

Type Tiang Pancang	f_b	f_s
Tiang Bor	3,5	7,0
Baja	1,75	3,5
Beton Pratekan	1,75	3,5

Sumber: Husnah, 2015

Untuk menghitung kapasitas daya dukung kulit persatuan luas didapat dengan rumus berikut:

$$f = q_{c(side)} \frac{\alpha_s}{f_s} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan:

$q_{c(side)}$: perlawanan konus rata – rata pada masing – masing lapisan sepanjang tiang
 f_s : faktor empirik tahanan kulit yang tergantung pada tipe tanah

Kapasitas dukung kulit (Q_s) dihitung dengan rumus berikut:

$$Q_s = f \times A_s \dots\dots\dots (4)$$

Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots\dots\dots (5)$$

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, didapat dengan cara kapasitas ultimit dibagi faktor keamanan tertentu:

Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan $d < 2$ m

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots (6)$$

Untuk dasar tiang tanpa pembesaran bagian bawah

$$Q_a = \frac{Q_u}{2} \dots\dots\dots (7)$$

b) Metode Meyerhof

Daya dukung pondasi tiang dengan metode Meyerhof dinyatakan dalam rumus berikut:

$$Q_{ult} = (qc \times A_p) + (JHL \times K_t) \dots\dots\dots (8)$$

Daya dukung izin pondasi dinyatakan dengan rumus:

$$Q_a = \frac{qc \times A_p}{3} + \frac{JHL \times K_t}{5} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan:

Q_{ult} : kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal
 qc : tahanan ujung sondir
 A_p : luas penampang tiang
 JHL : jumlah hambatan lekat
 K_t : keliling tiang

2) Daya dukung berdasarkan hasil tes kalendering

Metode yang digunakan untuk perencanaan daya dukung tiang berdasarkan hasil tes kalendering, yaitu:

a) Metode Danish Formula

Daya dukung berdasarkan Danish Formula adalah:

$$P_u = \frac{\eta E}{s + \left(\frac{\eta E L}{2 A E_p}\right)^{0,5}} \dots\dots\dots (10)$$

Energi Alat Pancang =

$$E = e \times w \times h \dots\dots\dots (11)$$

Dengan

P_u : Kapasitas daya dukung ultimit tiang (ton)
 η : Efisiensi alat pancang (lihat Tabel 2)
 E : Energi alat pancang yang digunakan (kg/cm^2)
 s : Banyaknya penetrasi per pukulan
 A : Luas penampang tiang pancang (m^2)

E_p : Modulus elastisitas (kg/cm²)
 w : berat hammer (ton)
 h : tinggi jatuh hammer (cm)

Tabel 2. Efisiensi Jenis Alat Pancang

Jenis Alat Pancang	Effisiensi
Pemukul Jatuh (<i>drop hammer</i>)	0,75-1
Pemukul aksi tunggal (<i>single acting hammer</i>)	0,75-0,85
Pemukul aksi dobel (<i>double acting hammer</i>)	0,85
Pemukul diesel (0,85-1)	0,85-1

Sumber: Buku Teknik Pondasi 2 (Hardiyatmo, 2010)

2.2 Penurunan Tiang

Jika lapisan tanah di bebani, maka tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori/air di dalam tanah tersebut (Fadilah, U.N., & Tunafiah, 2018)

A. Penurunan Tiang Tunggal

Menurut Poulos dan Davis (1980) penurunan jangka panjang untuk pondasi tiang tunggal tidak perlu ditinjau karena penurunan tiang akibat konsolidasi dari tanah relatif kecil. Ini dikarenakan pondasi tiang direncanakan terhadap kuat dukung ujung dan kuat dukung friksinya atau penjumlahan dari keduanya (Hardiyatmo, 2010).

Penurunan segera atau penurunan elastis adalah penurunan pondasi yang terletak pada tanah berbutir halus yang jenuh dan dapat dibagi menjadi tiga komponen. Penurunan total adalah jumlah dari ketiga komponen tersebut yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

$$S = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

$S_{e(1)}$: penurunan elastis dari tiang

$S_{e(2)}$: penurunan tiang yang disebabkan oleh beban di ujung tiang

$S_{e(3)}$: penurunan tiang yang disebabkan oleh beban di sepanjang batang tiang

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \dots\dots\dots (13)$$

$$S_{e(2)} = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \dots\dots\dots (14)$$

$$S_{e(3)} = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p} \dots\dots\dots (15)$$

Dengan

Q_{wp} : kapasitas daya dukung ujung tiang

Q_{ws} : kapasitas daya dukung tahanan kulit

ξ : koefisien dari skin friction

L : Panjang tiang

A_p : luas penampang tiang

E_p : modulus elastisitas material tiang

D : diameter tiang

C_p : koefisien empiris

C_s : konstanta empiris

$$C_s = (0,93 + 0,16 \sqrt{L/d}) \times C_p \dots\dots\dots (16)$$

B. Penurunan Diizinkan

Penurunan yang diizinkan dari suatu bangunan atau besarnya penurunan yang ditoleransikan, bergantung pada beberapa faktor. Faktor – faktor tersebut meliputi jenis, tinggi, kekakuan, dan fungsi bangunan; serta besar dan kecepatan

penurunan serta distribusinya. Menurut Hardiyatmo pada bukunya yang berjudul Teknik Pondasi 1 (1996), rumus untuk menghitung syarat perbandingan yang aman adalah sebagai berikut:

$$S_{total} \leq S_{izin} \dots\dots\dots (17)$$

$$S_{izin} = 10\% \cdot D \dots\dots\dots (18)$$

Dengan

D : diameter tiang

C. Faktor Keamanan

Menurut Hardiyatmo (2002), untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit tiang dengan faktor aman tertentu sesuai Tabel 3. Faktor aman ini perlu diberikan dengan maksud:

- Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.
- Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah.
- Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
- Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas – batas toleransi.
- Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang – tiang masih dalam batas toleransi.

Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan pondasi tiang bergantung pada jenis tiang. Untuk perancangan pondasi tiang pancang, yaitu sebagai berikut:

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots (19)$$

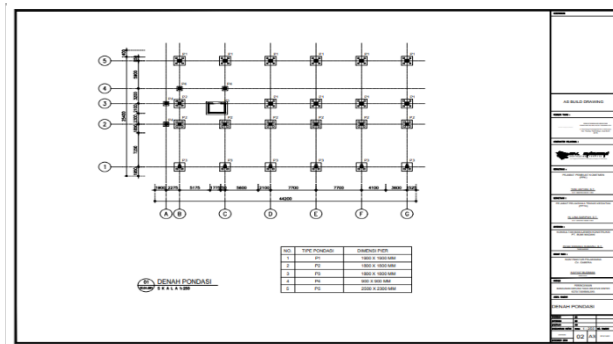
Tabel 3. Faktor Aman yang Disarankan

Klasifikasi Struktur	Faktor Keamanan			
	Kontrol baik	Kontrol normal	Kontrol jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,3	2,8

Sumber: Buku Teknik Pondasi 2 (Hardiyatmo, 2010)

3. METODE PENELITIAN

Studi ini dilakukan pada Gedung *Creative Center* Kota Tasikmalaya. Berikut ini adalah denah pondasi Gedung *Creative Center* Tasikmalaya pada Gambar 1 dibawah ini



Gambar 1. Denah Pondasi Gedung *Creative Center* Tasikmalaya

Pengujian tanah di proyek pembangunan Gedung *Creative Center* Tasikmalaya menggunakan metode sondir dan dilakukan pada dua titik. Hasil dari data sondir pada titik 1 disajikan dalam Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Data Sondir Titik 1

Kedalaman (cm)	Perlawanan Penetrasi Konus (kg/cm ²)	Jumlah Hambatan Lekat (JHL) (kg/cm)
20	5	14
40	5	28
60	7	42
80	10	56
100	15	70
120	12	84
140	10	98
160	12	112
180	15	126
200	11	140
220	10	154
240	11	168
260	10	182
280	170	196
300	170	210

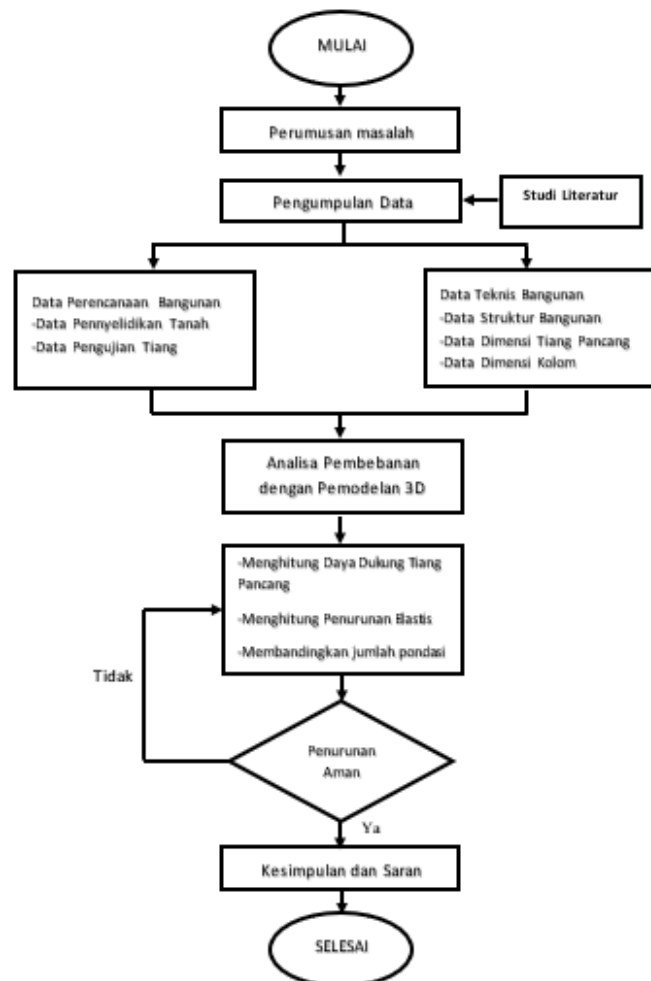
Tabel 5. Data Sondir Titik 2

Kedalaman (cm)	Perlawanan Penetrasi Konus (kg/cm ²)	Jumlah Hambatan Lekat (JHL) (kg/cm)
20	11	18
40	15	22
60	20	27
80	25	32
100	26	33
120	27	34
140	25	32
160	28	35
180	29	36
200	30	37
220	35	42
240	36	43
260	38	45
280	120	127
300	150	157

Setelah denah pondasi dan data uji tanah diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung kapasitas daya dukung tanah per kedalaman dan penurunan tanah yang terjadi pada proyek pembangunan Gedung *Creative Center* Tasikmalaya. Perhitungan tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah penurunannya masih memenuhi syarat aman atau tidak.

Lalu setelah di dapat hasil perhitungan secara manual, tahap selanjutnya adalah perhitungan pembebanan struktur atas dengan pemodelan 3D menggunakan *software* ETABS dan hasilnya dibandingkan dengan pelaksanaan pembangunan pondasi dilapangan apakah sudah sesuai atau tidak

Langkah – Langkah penelitian ini digambarkan dengan diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

Penelitian ini dilakukan pada Gedung *Creative Center* Tasikmalaya. Proyek pembangunan gedung tersebut menggunakan pondasi tiang pancang. Dengan data tiang pancang sebagai pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Tiang Pancang

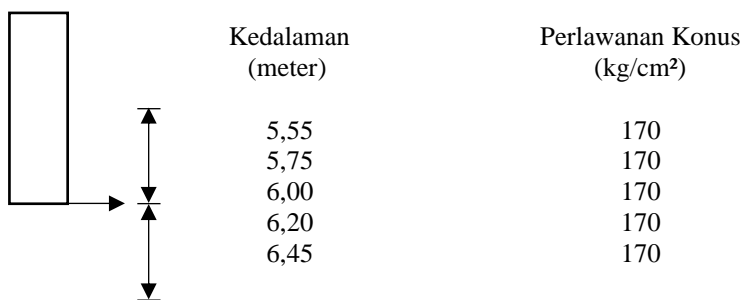
Tiang Pancang Beton Precast	
Panjang tiang (L)	6 m = 600 cm
Dimensi tiang (D)	30 cm x 30 cm
Luas penampang tiang (A_p)	30 cm x 30 cm = 900 cm ²
Keliling tiang pancang (O)	(2x30) + (2x30) = 120cm
Selimut pancang	4(px1)= 72.000 cm
Mutu beton	K450
f'_c	37,35
σ'_{bk}	450 kg/cm ²

A. Analisa Daya Dukung Tiang Pancang dengan Metode Aoki dan De Alencar

1. Titik Sondir 1

a. Perhitungan kapasitas dukung ujung tiang (Q_b)

Nilai $q_{ca}(base)$ diambil 1,5D diatas ujung tiang dan 1,5D dibawah ujung tiang seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Perkiraan $q_{ca}(base)$

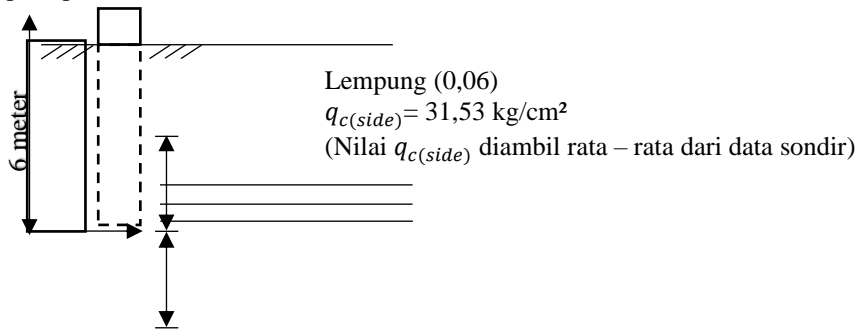
$$\begin{aligned}
 q_b &= \frac{q_{ca}(base)}{F_b} \text{ (Nilai } F_b \text{ diambil dari Tabel 2.1, beton precast = 1,75)} \\
 &= \frac{170}{1,75} \\
 &= 97,14 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Kapasitas dukung ujung tiang (Q_b)

$$\begin{aligned}
 Q_b &= q_b \times A_p \\
 &= 97,14 \times 900 \\
 &= 87426 \text{ kg} = 87,42 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

b. Kapasitas daya dukung kulit (Q_s)

Perkiraan nilai $q_{c(side)}$ untuk perhitungan kapasitas daya dukung yaitu menghitung nilai rata – rata q_c sepanjang tiang seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Perkiraan nilai $q_{c(side)}$

Kapasitas daya dukung persatuan luas (f)

$$f = q_{c(side)} \frac{\alpha_s}{f_s}$$

$$= 31,53 \times \frac{0,06}{3,5} = 0,54 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung kulit (Q_s)

$$Q_s = f \times A_s$$

$$= 0,54 \times 72.000$$

$$= 38880 \text{ kg} = 38,88 \text{ ton}$$

Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang (Q_u)

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

$$= 87,42 + 38,88$$

$$= 126,3 \text{ ton}$$

Kapasitas ijin tiang (Q_a)

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF}$$

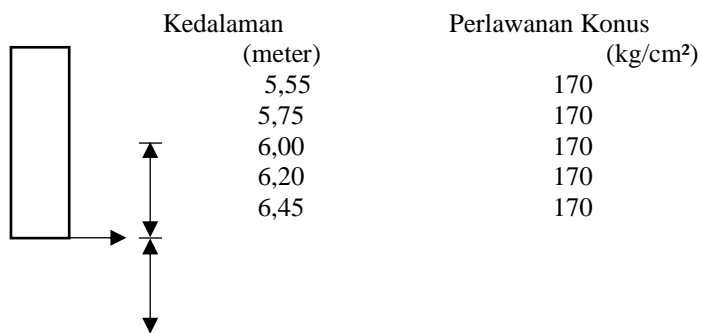
$$= \frac{126,3}{2,5}$$

$$= 50,52 \text{ ton}$$

2. Titik Sondir 2

a. Perhitungan kapasitas dukung ujung tiang (Q_b)

Nilai $q_{ca}(base)$ diambil 1,5D diatas ujung tiang dan 1,5D dibawah ujung tiang seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Perkiraan Nilai $q_{ca}(base)$

$$q_b = \frac{q_{ca}(base)}{F_b} \text{ (Nilai } F_b \text{ diambil dari Tabel 1., beton precast} = 1,75)$$

$$= \frac{120}{1,75}$$

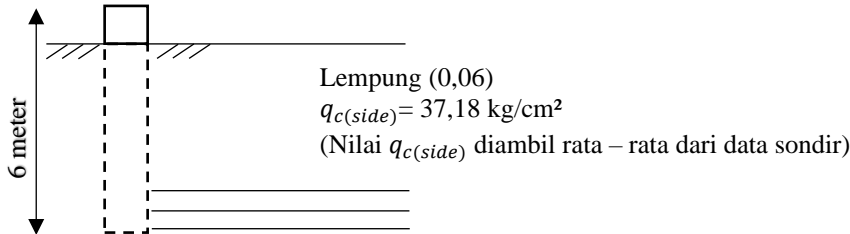
$$= 68,57 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung ujung tiang (Q_b)

$$\begin{aligned}
 Q_b &= q_b \times A_p \\
 &= 68,57 \times 900 \\
 &= 61713 \text{ kg} = 61,71 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

b. Kapasitas daya dukung kulit (Q_s)

Perkiraan nilai $q_{c(side)}$ untuk perhitungan kapasitas daya dukung yaitu menghitung nilai rata – rata q_c sepanjang tiang seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Perkiraan nilai $q_{c(side)}$

Kapasitas daya dukung persatuan luas (f):

$$\begin{aligned}
 f &= q_{c(side)} \frac{a_s}{f_s} \\
 &= 37,18 \times \frac{0,06}{3,5} \\
 &= 0,63 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Kapasitas dukung kulit (Q_s)

$$\begin{aligned}
 Q_s &= f \times A_s \\
 &= 0,63 \times 72.000 \\
 &= 45360 \text{ kg} = 45,36 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang (Q_u)

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_b + Q_s \\
 &= 61,71 + 45,36 \\
 &= 107,07 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Kapasitas ijing tiang (Q_a)

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{107,07}{2,5} \\
 &= 42,82 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

B. Analisa Daya Dukung Tiang Pancang dengan Metode Meyerhoff

1. Titik Sondir 1

Perhitungan daya dukung tiang pancang dengan Metode Meyerhoff dilakukan per lapisan / kedalaman. Sebagai contoh akan ditampilkan perhitungan pada kedalaman 1 meter, dan untuk hasil selanjutnya ditampilkan pada Tabel 6.

Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal (Q_{ult})

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= (q_c \times A_p) + (JHL \times K_t) \\
 &= (5 \times 900) + (14 \times 120) \\
 &= 6.180 \text{ kg} = 6,18 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung ijin (Q_a)

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{q_{ca} \times A_p}{3} + \frac{JHL \times K_t}{5} \\
 &= \frac{5 \times 900}{3} + \frac{14 \times 120}{5} \\
 &= 1836 \text{ kg} = 1,83 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tabel 6 Daya dukung titik sondir 1 dengan Metode Meyerhoff

Kedalaman (cm)	PPK (kg/cm ²)	Ap (cm ²)	JHL (kg/cm)	Kt (cm)	Qwp (kg)	Qws (kg)	Qult (kg)	Qijin (kg)
20	5	900	14	120	4500	1680	6180	1836
40	5	900	28	120	4500	3360	7860	2172
60	7	900	42	120	6300	5040	11340	3108
80	10	900	56	120	9000	6720	15720	4344
100	15	900	70	120	13500	8400	21900	6180
120	12	900	84	120	10800	10080	20880	5616
140	10	900	98	120	9000	11760	20760	5352
160	12	900	112	120	10800	13440	24240	6288
180	15	900	126	120	13500	15120	28620	7524
200	11	900	140	120	9900	16800	26700	6660
220	10	900	154	120	9000	18480	27480	6696
240	11	900	168	120	9900	20160	30060	7332
260	10	900	182	120	9000	21840	30840	7368
280	170	900	196	120	153000	23520	176520	55704
300	170	900	210	120	153000	25200	178200	56040

2. Perhitungan pada titik sondir 2:

Perhitungan daya dukung tiang pancang dengan Metode Meyerhoff dilakukan per lapisan / kedalaman. Perhitungan yang berikut diambil pada kedalaman 1 meter, dan untuk selanjutnya ditampilkan pada Tabel 7.

Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal (Q_{ult})

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= (q_c \times A_p) + (JHL \times K_t) \\
 &= (11 \times 900) + (18 \times 120) \\
 &= 12060 \text{ kg} = 12,06 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung ijin (Q_a)

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{q_{ca} \times A_p}{3} + \frac{JHL \times K_t}{5} \\
 &= \frac{11 \times 900}{3} + \frac{18 \times 120}{5} \\
 &= 3732 \text{ kg} = 3,72 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tabel 7. Daya Dukung Titik Sondir 2 dengan Metode Meyerhoff

Kedalaman (cm)	PPK (kg/cm ²)	Ap (cm ²)	JHL (kg/cm)	Kt (cm)	Qwp (kg)	Qws (kg)	Qult (kg)	Qijin (kg)
20	11	900	18	120	9900	2160	12060	3732
40	15	900	22	120	13500	2640	16140	5028
60	20	900	27	120	18000	3240	21240	6648
80	25	900	32	120	22500	3840	26340	8268
100	26	900	33	120	23400	3960	27360	8592
120	27	900	34	120	24300	4080	28380	8916
140	25	900	32	120	22500	3840	26340	8268
160	28	900	35	120	25200	4200	29400	9240
180	29	900	36	120	26100	4320	30420	9564
200	30	900	37	120	27000	4440	31440	9888
220	35	900	42	120	31500	5040	36540	11508
240	36	900	43	120	32400	5160	37560	11832
260	38	900	45	120	34200	5400	39600	12480
280	120	900	127	120	108000	15240	123240	39048
300	150	900	157	120	135000	18840	153840	48768

C. Analisa Daya Dukung dengan Metode Danish Formula

Dengan menggunakan Danish Formula, maka perhitungan kapasitas daya dukung tiang pancang berdasarkan data kalendering yaitu sebagai berikut:

Effisiensi alat pancang (η) = 75% (diambil dari Tabel 2.)

Energi alat pancang:

$$\begin{aligned} E &= e \times w \times h \\ &= 0,75 \times 2000 \times 250 \\ &= 375000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Panjang tiang (L) = 6m = 600cm

Modulus elastisitas tiang:

$$\begin{aligned} (E_p) &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\ &= 4700 \times \sqrt{37,35} \\ &= 28723,88 \text{ Mpa} = 287238,8 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

1. Perhitungan pada titik 1:

Perhitungan kapasitas daya dukung ultimate tiang pancang

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{\eta \times E}{s + \left(\frac{\eta \times E \times L}{2 \times A \times E_p} \right)^{0,5}} \\ P_u &= \frac{0,75 \times 375000}{0,5 + \left(\frac{0,75 \times 375000 \times 600}{2 \times 900 \times 287238,8} \right)^{0,5}} \\ &= 277641,16 \text{ kg} = 277,64 \text{ ton} \end{aligned}$$

Perhitungan daya dukung ijin tiang pancang

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{P_u}{SF} \\ &= \frac{277,64}{3} \\ &= 92,54 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. Perhitungan pada titik 2:

Perhitungan kapasitas daya dukung ultimate tiang pancang

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{\eta \times E}{s + \left(\frac{\eta \times E \times L}{2 \times A \times E_p} \right)^{0,5}} \\ P_u &= \frac{0,75 \times 375000}{0,8 + \left(\frac{0,75 \times 375000 \times 600}{2 \times 900 \times 287238,8} \right)^{0,5}} \\ &= 205097,37 \text{ kg} = 205,09 \text{ ton} \end{aligned}$$

Perhitungan daya dukung ijin tiang pancang

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{P_u}{SF} \\ &= \frac{205,09}{3} \\ &= 68,36 \text{ ton} \end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil perhitungan kapasitas daya dukung ijin dari beberapa metode yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kapasitas Daya Dukung Ijin

Metode	Kapasitas Daya Dukung Ijin
Aoki & De Alencar	42,82 ton
Meyerhoff	48,76 ton
Danish Formula	68,36 ton

Kapasitas daya dukung ijin yang diambil dari nilai yang paling kecil yaitu berdasarkan metode Aoki & De Alencar dengan nilai sebesar 42,82 ton.

D. Analisa Penurunan Elastis Tiang Pancang Tunggal

1. Penurunan Elastis Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir 1

$$S = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$

$$a. S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p}$$

$$S_{e(1)} = \frac{(87427,8+0,5 \times 38880)600}{900 \times 287238,8}$$
$$= 0,17 \text{ cm} = 1,7 \text{ mm}$$

$$b. S_{e(2)} = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p}$$
$$q_p = \frac{Q_{wp} + Q_{ws}}{SF}$$
$$= \frac{87427,8 + 38880}{2,5}$$
$$= 50523,12 \text{ kg/cm}^2$$
$$S_{e(2)} = \frac{87427,8 \times 0,02}{30 \times 50523,12}$$
$$= 0,00115 \text{ cm}$$
$$= 0,0115 \text{ mm}$$

$$c. S_{e(3)} = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p}$$
$$S_{e(3)} = \frac{38880 \times 0,09}{600 \times 97,4}$$
$$= 0,06 \text{ cm} = 0,6 \text{ mm}$$

Maka penurunan total nya adalah:

$$S = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$
$$= 0,17 \text{ cm} + 0,00115 + 0,06 \text{ cm} = 0,23 \text{ cm}$$

2. Penurunan Elastis Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir 2

$$S = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$

$$a. S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p}$$
$$S_{e(1)} = \frac{(61713,9 + 0,5 \times 45360)600}{900 \times 287238,8}$$
$$= 0,19 \text{ cm} = 1,9 \text{ mm}$$

$$b. S_{e(2)} = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p}$$
$$q_p = \frac{Q_{wp} + Q_{ws}}{SF}$$
$$= \frac{61713,9 + 45360}{2,5}$$
$$= 42829,56$$
$$S_{e(2)} = \frac{61713,9 \times 0,02}{30 \times 42829,56}$$
$$= 0,0009 \text{ cm} = 0,009 \text{ mm}$$

$$c. S_{e(3)} = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p}$$
$$S_{e(3)} = \frac{45360 \times 0,09}{600 \times 68,57}$$
$$= 0,09 \text{ cm} = 0,9 \text{ mm}$$

Maka penurunan total =

$$S = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$
$$= 0,19 \text{ cm} + 0,0009 \text{ cm} + 0,09 \text{ cm} = 0,29 \text{ cm}$$

3. Penurunan Elastis Pondasi Dihitung dari Setiap Kedalaman

Hasil dari perhitungan penurunan elasis pondasi dari setiap kedalaman dapat dilihat pada Tabel 9. untuk data sondir 1 dan Tabel 10. untuk data sondir 2.

Tabel 9. Perhitungan Penurunan berdasarkan Data Sondir 1

Kedalaman (cm)	PPK (kg/cm ²)	JHL (kg/cm)	Ap (cm ²)	Kt (cm)	Qwp (kg)	Qws (kg)	qp	L (cm)	D (cm)	Ep	Cp	Cs	ξ	s1 (cm)
20	5	14	900	120	4500	1680	2472,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00041
40	5	28	900	120	4500	3360	3144,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00048
60	7	42	900	120	6300	5040	4536,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00068
80	10	56	900	120	9000	6720	6288,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00096
100	15	70	900	120	13500	8400	8760,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00137
120	12	84	900	120	10800	10080	8352,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00123
140	10	98	900	120	9000	11760	8304,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00115
160	12	112	900	120	10800	13440	9696,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00136
180	15	126	900	120	13500	15120	11448,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00163
200	11	140	900	120	9900	16800	10680,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00142
220	10	154	900	120	9000	18480	10992,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00141
240	11	168	900	120	9900	20160	12024,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00155
260	10	182	900	120	9000	21840	12336,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,00154
280	170	196	900	120	153000	23520	70608,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,01275
300	170	210	900	120	153000	25200	71280,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,01281

Tabel 10. Perhitungan Penurunan berdasarkan Data Sondir 2

Kedalaman (cm)	PPK (kg/cm ²)	JHL (kg/cm)	Ap (cm ²)	Kt (cm)	Qwp (kg)	Qws (kg)	qp	L (cm)	D (cm)	Ep	Cp	Cs	ξ	s1 (cm)
20	11	18	900	120	9900	2160	4824,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,000849
40	15	22	900	120	13500	2640	6456,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,001147
60	20	27	900	120	18000	3240	8496,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,001518
80	25	32	900	120	22500	3840	10536,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,001889
100	26	33	900	120	23400	3960	10944,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,001964
120	27	34	900	120	24300	4080	11352,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,002038
140	25	32	900	120	22500	3840	10536,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,001889
160	28	35	900	120	25200	4200	11760,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,002112
180	29	36	900	120	26100	4320	12168,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,002186
200	30	37	900	120	27000	4440	12576,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,002261
220	35	42	900	120	31500	5040	14616,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,002632
240	36	43	900	120	32400	5160	15024,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,002706
260	38	45	900	120	34200	5400	15840,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,002855
280	120	127	900	120	108000	15240	49296,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,008945
300	150	157	900	120	135000	18840	61536,00	20	30	287238,8	0,02	0,09	0,5	0,011173

E. Analisa Pembebanan Struktur atas

Dalam tugas akhir ini, dilakukan analisa pembebanan struktur atas dengan pemodelan 3D. Berikut adalah kombinasi pembebanan yang digunakan pada saat melakukan analisa pembebanan struktur atas dengan pemodelan 3D.

1. Kombinasi 1 = 1,4 D
2. Kombinasi 2 = 1,2 D + 1,6 L

1. Perhitungan Jumlah Pondasi Akibat Beban Axial

Perhitungan jumlah pondasi tiang pancang di proyek ini, direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang dengan data berikut ini:

$$\text{Jumlah pondasi} = \text{Beban Axial} / \text{DDijin}$$

Beban Axial = beban berdasarkan kombinasi 1 dan kombinasi 2

DD Ijin = 42,82 ton (diambil dari nilai kapasitas daya dukung yang terkecil)

- a. Jumlah pondasi akibat beban axial berdasarkan kombinasi 1

Pada titik pondasi 1: Jumlah pondasi = $\frac{55,04}{42,82} = 1,29$

Hasil dari perhitungan jumlah pondasi berdasarkan kombinasi 1 pada titik 2 dan seterusnya ditampilkan pada Tabel 11.

- b. Jumlah pondasi akibat beban axial berdasarkan kombinasi 2

Pada titik pondasi 2: Jumlah pondasi = $\frac{69,86}{42,82} = 1,63$

Hasil dari perhitungan jumlah pondasi berdasarkan kombinasi 2 pada titik 2 dan seterusnya ditampilkan pada Tabel 12.

Tabel 11. Jumlah Pondasi Akibat Beban Axial Berdasarkan Kombinasi 1

Point	Beban Axial	Pondasi yang dipakai			
		Hasil Analisa		Pelaksanaan	OK/Tidak
1	55,04	1,29	2	4	OK
2	63,52	1,48	2	4	OK
3	90,33	2,11	3	4	OK
4	97,75	2,28	3	4	OK
5	62,96	1,47	2	4	OK
6	55,54	1,30	2	4	OK
7	12,10	0,28	1	1	OK
8	25,34	0,59	1	1	OK
9	16,84	0,39	1	1	OK
10	72,96	1,70	2	4	OK
11	111,26	2,60	3	4	OK
12	105,28	2,46	3	4	OK
13	74,83	1,75	2	4	OK
14	58,72	1,37	2	4	OK
15	14,23	0,33	1	1	OK
16	46,74	1,09	1	4	OK
17	95,18	2,22	3	4	OK
18	65,88	1,54	2	4	OK
19	64,52	1,51	2	4	OK
20	69,13	1,61	2	4	OK
21	38,30	0,89	1	4	OK
22	25,25	0,59	1	3	OK
23	45,85	1,07	1	3	OK
24	46,35	1,08	1	3	OK
25	46,28	1,08	1	3	OK
26	44,37	1,04	1	3	OK
27	15,63	0,37	1	3	OK

Tabel 12. Jumlah Pondasi Akibat Beban Axial Berdasarkan Kombinasi 2

Point	Beban Axial	Pondasi yang dipakai			
		Hasil Analisa		Pelaksanaan	OK/Tidak
1	69,86	1,63	2	4	OK
2	87,09	2,03	2	4	OK
3	137,92	3,22	4	4	OK
4	166,40	3,89	4	4	OK
5	88,22	2,06	2	4	OK
6	75,49	1,76	2	4	OK
7	14,84	0,35	1	1	OK
8	34,16	0,80	1	1	OK
9	23,82	0,56	1	1	OK
10	107,33	2,51	3	4	OK
11	173,17	4,04	4	4	OK
12	165,32	3,86	4	4	OK
13	110,39	2,58	3	4	OK
14	80,15	1,87	2	4	OK
15	18,50	0,43	1	1	OK
16	68,94	1,61	2	4	OK
17	134,09	3,13	4	4	OK
18	96,77	2,26	3	4	OK
19	94,28	2,20	3	4	OK
20	100,50	2,35	3	4	OK
21	48,90	1,14	2	4	OK
22	32,99	0,77	1	3	OK
23	66,93	1,56	2	3	OK
24	67,46	1,58	2	3	OK
25	67,71	1,58	2	3	OK
26	61,28	1,43	2	3	OK
27	16,31	0,38	1	3	OK

5. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan beberapa metode maka kapasitas daya dukung tiang pancang pada Gedung *Creative Center* Tasikmalaya adalah sebagai berikut:
 - a. Metode Aoki & De Alencar
Qult = 107,07 ton
Qijin = 42,82 ton
 - b. Metode Meyerhoff
Qult = 153,84 ton
Qijin = 48,76 ton
 - c. Metode Danish Formula
Qult = 205,09 ton
Qijin = 68,63 ton
2. Penurunan elastis tiang pancang tunggal Gedung *Creative Center* Tasikmalaya yaitu sebesar 2,3 mm pada titik sondir 1 dan 2,9 mm pada titik sondir 2 dengan penurunan ijin 30 mm, maka besaran penurunan tersebut telah memenuhi syarat – syarat yang diijinkan atau masih dalam batas aman.
3. Hasil perbandingan jumlah pondasi akibat beban axial tidak melebihi jumlah pondasi pada saat pelaksanaan maka dapat dikatakan bahwa bangunan Gedung *Creative Center* Tasikmalaya aman.

2. Saran

Berdasarkan hasil analisa dan kesimpulan diatas, maka ada beberapa saran yang diharapkan dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Untuk menunjang proses perhitungan dan analisa dalam penelitian, alangkah baiknya mempersiapkan data – data yang lengkap. Sehingga mempermudah dalam perhitungan dan mendapatkan hasil yang lebih akurat dengan tingkat kesalahan yang semakin kecil.
2. Analisa pembebanan struktur atas dengan pemodelan 3D harus dilakukan dengan teliti dan pemahaman yang baik terhadap *software* yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang akurat.



DAFTAR PUSTAKA

Fadilah, U.N., & Tunafiah, H. (2018). *Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data N-SPT Menurut Rumus Reese & Wright Dan Penurunan*. IKRA-ITH Teknologi, 2 No 3 (7), 1-7.

Hardiyatmo, H. C. (2010). *Teknik Fondasi 1*. Yogyakarta: Beta Offset.

Hardiyatmo, H.C. (2010). *Teknik Fondasi 2*. Yogyakarta: Beta Offset.

Husnah. (2015). *Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Pondasi Tissue Block 5 & 6*. (73).

Sumiyanto, D. (2007). *Rekayasa Fondasi II*. Tersedia dalam <https://htmsunsoed.files.wordpress.com/2012/03/buku-ajar-fondasi-ii-2.doc>.

[Diakses pada: 01 April 2020]