

ANALISA DAYA DUKUNG TIANG PANCANG PADA PROYEK HOTEL ARTOTEL YOGYAKARTA

Indartono Rivai ^{1*}, Boy Bolan Habeahan ²

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Jayabaya,
Jakarta, Indonesia

*Email : bbhabeahan@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan hotel modern menghadapi kompleksitas perancangan pondasi tiang pancang akibat variasi kondisi geoteknis. Tantangan utama adalah menentukan sistem pondasi yang mampu mendukung beban struktur optimal, mengingat keragaman jenis tanah, kedalaman muka air tanah, dan karakteristik beban dinamis. Penelitian bertujuan menganalisis pengaruh kondisi tanah terhadap kinerja pondasi tiang pancang, menghitung kekuatan tiang berdasarkan dimensi dan material, analisis metode pemancangan, serta evaluasi beban yang bekerja pada pondasi. Metodologi penelitian meliputi investigasi geoteknis lapangan dan analisis laboratorium, termasuk pengujian boring test (Standard Penetration Test) dan analisis numerik menggunakan metode Mayerhoff. Hasil perhitungan struktural menggunakan software SAP2000 menunjukkan gaya aksial maksimum 4414,26 kN. Analisis menghasilkan kapasitas ijin tekan 147,45 ton, membutuhkan 4 tiang pancang dengan kedalaman 15 meter dan diameter 0,5 meter. Perhitungan efisiensi kelompok tiang memberikan nilai 0,82, mengindikasikan kinerja struktural optimal.

Kata kunci: Tiang Pancang, Daya Dukung, SPT, Mayerhoff.

Pendahuluan

Bangunan gedung bertingkat merupakan konstruksi yang membutuhkan perhatian khusus pada perancangan pondasi. Pondasi memegang peranan penting dalam meneruskan beban dari struktur atas ke tanah pendukung. Pada kondisi tanah yang kurang memadai, seperti tanah lunak atau tanah timbunan, penggunaan pondasi dangkal seperti pondasi telapak atau rakit tidak mencukupi. Dalam kasus ini, pondasi tiang pancang menjadi solusi yang tepat.

Tiang pancang berfungsi untuk meneruskan beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang lebih dalam dan keras, sehingga mampu menopang bangunan secara aman. Tiang pancang ditancapkan ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman tertentu di mana tanah memiliki daya dukung yang memadai. Dengan demikian, bangunan dapat berdiri kokoh dan aman

dari risiko penurunan, retak, atau keruntuhan.

Pembangunan gedung bertingkat memerlukan perhatian khusus pada desain pondasi, terutama tiang pancang. Tiang pancang berfungsi untuk meneruskan beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang lebih dalam dan keras, sehingga mampu menopang bangunan secara aman. Oleh karena itu diperlukan analisa daya dukung tiang pancang dalam perancangan pondasi bangunan bertingkat.

Analisa daya dukung tiang pancang merupakan aspek penting dalam perencanaan pondasi struktur bangunan dan menjadi hal yang krusial untuk memastikan keamanan dan stabilitas bangunan. Tiang pancang adalah elemen struktural yang digunakan untuk mentransfer beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang lebih dalam dan kuat. Tujuan utama analisa ini adalah untuk memastikan bahwa tiang

pancang dapat menahan beban yang diberikan dengan aman dan efisien.

Tujuan penelitian :

1. Untuk menganalisis pengaruh kondisi tanah terhadap pondasi tiang pancang.
2. Untuk menghitung beban struktur yang akan ditanggung oleh tiang pancang.
3. Untuk menghitung daya dukung ijin tekan dan daya dukung ijin tarik tiang pancang.
4. Untuk menghitung nilai efisiensi kelompok tiang pancang.
5. Untuk menganalisis metode yang digunakan pada pemancangan tiang pancang.

Metodologi Penelitian

Penelitian mengenai analisis daya dukung tiang pancang ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif dan metode eksperimental. Untuk mencapai tujuan penelitian, beberapa tahapan dilaksanakan secara sistematis dan terstruktur.

Tahapan awal dimulai dengan studi literatur yang mencakup pengkajian teori-teori terkait daya dukung tiang pancang, peninjauan penelitian-penelitian terdahulu, serta identifikasi metode-metode analisa yang relevan. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data yang terbagi menjadi data primer dan sekunder.

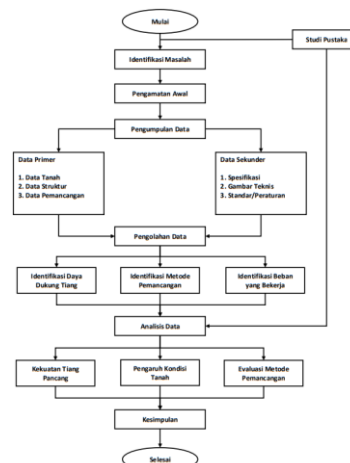
Pengumpulan data primer dilaksanakan melalui penyelidikan tanah di lokasi penelitian yang meliputi uji boring, uji sondir (Cone Penetration Test/CPT), dan uji Standard Penetration Test (SPT). Selain itu, dilakukan serangkaian uji laboratorium terhadap sampel tanah, mencakup analisis ukuran butir, uji batas-batas Atterberg, uji geser langsung, dan uji triaksial. Sementara itu, data sekunder yang dikumpulkan meliputi data geologi regional, data seismik bila diperlukan, dan data hidrologis.

Analisis daya dukung dilakukan dengan dua metode utama. Pertama, metode statis yang mencakup perhitungan daya dukung ujung (end bearing), daya dukung selimut (skin friction), dan daya dukung total. Kedua, metode dinamis yang melibatkan analisis hasil PDA dan perbandingannya dengan hasil metode statis.

Setelah data terkumpul dan dianalisis, dilakukan interpretasi hasil yang meliputi perbandingan hasil analisis dengan kriteria desain, evaluasi kinerja tiang pancang, dan identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi daya dukung. Dari hasil analisis tersebut, dapat ditarik kesimpulan mengenai daya dukung tiang pancang dan disusun rekomendasi untuk desain dan instalasi tiang pancang.

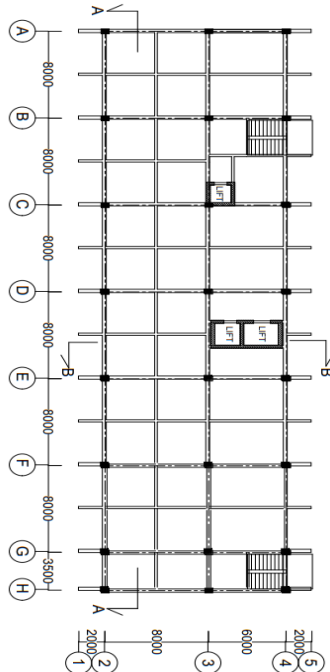
Tahap akhir penelitian adalah penyusunan laporan penelitian secara komprehensif dan persiapan presentasi hasil penelitian. Laporan ini akan mendokumentasikan seluruh proses penelitian, mulai dari latar belakang hingga kesimpulan dan rekomendasi yang dihasilkan.

Seluruh rangkaian penelitian ini dituangkan dalam bentuk bagan alir yang menunjukkan proses penelitian yang sistematis dan terstruktur, dimana setiap tahap saling terkait dan mendukung untuk mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

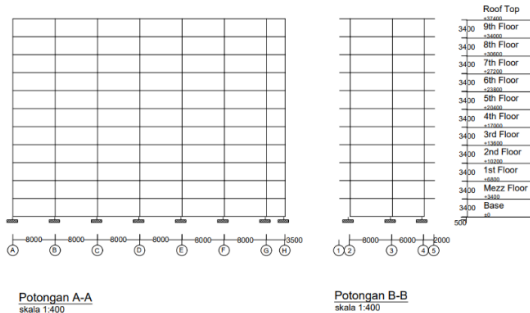


Hasil dan Pembahasan

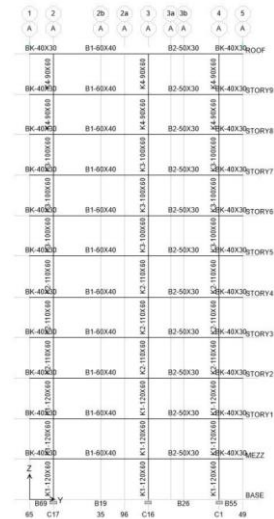
Hasil dan analisa bagian ini merupakan hasil analisis perhitungan daya dukung dan penurunan tiang pancang pada Hotel Artotel Yogyakarta. Data yang diperoleh untuk analisis berupa data penyelidikan tanah, data tiang pancang, dan data struktur..



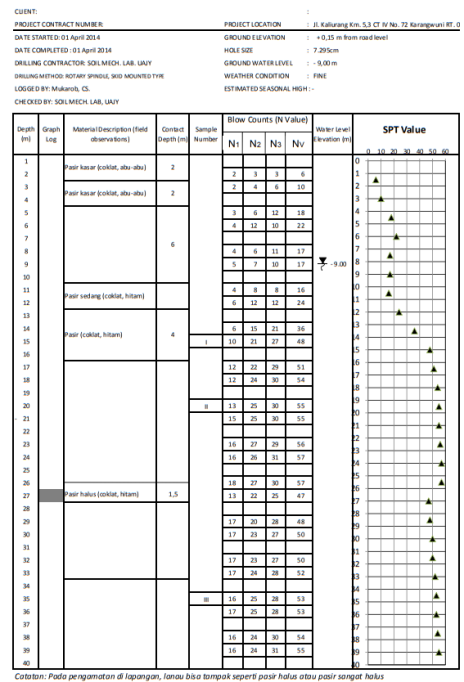
Gambar Denah Kolom dan Balok



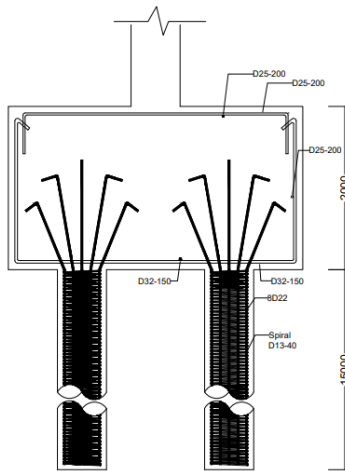
Gambar Potongan A-A dan Potongan B-B dari Denah Kolom dan Balok



Gambar Denah Ukuran Kolom dan Balok



Gambar Data Tanah Metode Boring Test



Gambar Pile Cap

Perhitungan Beban Struktur Menggunakan SAP2000

Perhitungan struktur gedung merupakan proses fundamental dalam merancang bangunan yang aman, kokoh, dan dapat diandalkan. Tujuan utamanya adalah memastikan setiap elemen struktur mampu menahan beban dan gaya yang bekerja selama masa layan bangunan, baik beban vertikal seperti berat sendiri dan beban penghuni, maupun beban horizontal seperti gempa dan angin. Melalui perhitungan struktur, kita dapat menentukan dimensi, ketebalan, dan kekuatan material yang diperlukan untuk setiap komponen bangunan, mulai dari pondasi, kolom, balok, hingga pelat lantai.

Perhitungan beban struktur kali ini dilakukan untuk mengetahui besar beban yang akan ditanggung oleh pondasi. Perhitungan dilakukan menggunakan bantuan aplikasi SAP2000 dengan membuat pemodelan struktur gedung sesuai dengan data-data yang telah diperoleh. Setelah itu dilakukan pembebanan dengan metode kombinasi, yaitu : 1,2DL + 1,2 SDL + 1,6 LL.

Dari hasil perhitungan pembebanan pada SAP2000 didapatkan gaya aksial terbesar pada pondasi adalah 4414,26 kN yang terletak pada *grid line* 3B.

Tabel Hasil Perhitungan Beban pada Setiap Pondasi

Pile Cap	Gaya Aksial (kN)	Pile Cap	Gaya Aksial (kN)	Pile Cap	Gaya Aksial (kN)
2A	1856,25	3A	2646,44	4A	1417,35
2B	2956,38	3B	4414,26	4B	2207,34
2C	2940,74	3C	4385,29	4C	2193,31
2D	2941,58	3D	4385,56	4D	2192,9
2E	2942,05	3E	4385,36	4E	2192,27
2F	2952,94	3F	4401,99	4F	2198,54
2G	2297,35	3G	3304,99	4G	1773,26
2H	1313,96	3H	1737,28	4H	1018,05

Analisa Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

Perhitungan akan dilakukan dengan menggunakan informasi dari pengujian lapangan berupa data Standard Penetration Test (SPT) untuk menganalisis daya dukung tiang pancang.

Daya Dukung Ijin Tekan (Metode Mayerhoff)

Data tiang pancang :

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman tiang pancang} &= 15 \text{ m} \\
 \text{Diameter (D)} &= 0,5 \text{ m} \\
 \text{Keliling tiang pancang (Ast)} &= \pi \times D \\
 &= 3,14 \times 0,5 \\
 &= 1,57 \text{ m} \\
 \text{Luas tiang pancang (Ap)} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,5^2 \\
 &= \\
 &= 0,19625 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Rumus daya dukung ijin tekan :

$$Pa = \frac{qc \times Ap}{FK1} + \frac{\sum li fi x Ast}{FK2}$$

Dimana :

$$Pa = \text{Daya dukung ijin tekan tiang}$$

q_c = 20 N, untuk silt/clay dan 40 N, untuk sand
 N = Nilai N SPT
 A_p = Luas penampang tiang
 A_{st} = Keliling penampang tiang
 l_i = Panjang segmen tiang yang ditinjau
 f_i = Gaya geser pada selimut segmen tiang
 W_p = N maksimum 12 ton/m², untuk silt/clay
 W_p = N/5 maksimum 10 ton/m², untuk sand
 $FK1, FK2$ = Faktor keamanan, 3 dan 5

Daya dukung ijin tekan berdasarkan data SPT pada kedalaman 2 meter di bawah permukaan tanah :

$$\begin{aligned}
 A_p &= 0,19625 \text{ m}^2 \\
 l_i &= 2 \text{ m} \\
 f_i &= 6/5 = 1,2 \text{ ton/m}^2 \text{ (Sand)} \\
 A_{st} &= 1,57 \text{ m} \\
 N &= 6 \\
 q_c &= 40 \times 6 = 240 \text{ ton/m}^2 \\
 P_a &= \frac{240 \times 0,19625}{3} + \frac{2,4 \times 1,57}{5} = 16,4536 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tabel Daya Dukung Ijin Tekan Tiang Berdasarkan Data SPT

Depth (m)	l_i (m)	Jenis Tanah (C/S)	N SPT	Average N SPT	q_c (t/m ²)	A_p (m ²)	A_{st} (m)	f_i (t/m ²)	$l_i \cdot f_i$ (t/m)	$\sum q_{p,i}$ (t/m)	P all (ton)
0-2	2	S	6	6	240	0,19625	1,57	1,2	2,4	16,4536	
2-4	2	S	10	10	400	0,19625	1,57	2	4	28,17627	
4-6	2	S	18, 22	20	800	0,19625	1,57	4	8	56,85493	
6-8	2	S	17	17	680	0,19625	1,57	3,4	6,8	51,14013	
8-10	2	S	17	17	680	0,19625	1,57	3,4	6,8	53,27533	
10-12	2	S	16, 24	20	800	0,19625	1,57	4	8	63,63733	
12-14	2	S	36	36	1440	0,19625	1,57	7,2	14,4	110,0256	
14-16	2	S	48	48	1920	0,19625	1,57	9,6	19,2	147,4544	
16-18	2	S	51, 54	52,5	2100	0,19625	1,57	10	20	165,5094	
18-20	2	S	55	55	2200	0,19625	1,57	10	20	178,3311	
20-22	2	S	55	55	2200	0,19625	1,57	10	20	184,6111	
22-24	2	S	56, 57	56,5	2260	0,19625	1,57	10	20	194,8161	
24-26	2	S	57	57	2280	0,19625	1,57	10	20	202,4044	
26-28	2	S	47	47	1880	0,19625	1,57	9,4	18,8	182,1409	
28-30	2	S	48, 50	49	1960	0,19625	1,57	9,8	19,6	193,5287	
30-32	2	S	50	50	2000	0,19625	1,57	10	20	202,4252	
32-34	2	S	52	52	2080	0,19625	1,57	10	20	213,9387	
34-36	2	S	53	53	2120	0,19625	1,57	10	20	222,8353	
36-38	2	S	54	54	2160	0,19625	1,57	10	20	231,732	
38-40	2	S	55	55	2200	0,19625	1,57	10	20	240,6287	

Daya Dukung Ijin Tarik (Metode Mayerhoff)

Rumus daya dukung ijin tarik :

$$P_{ta} = \frac{(\sum l_i f_i \times A_{st}) \times 0,70}{FK2} + W_p$$

Dimana :

W_p = Berat Pondasi

$$\begin{aligned}
 &= \\
 &2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,19625 \text{ m}^2 \times 2 \text{ m} \\
 &= 0,942 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya dukung ijin tarik berdasarkan data SPT pada kedalaman 2 meter di bawah permukaan tanah :

$$\begin{aligned}
 P_{ta} &= \frac{(2,4 \times 1,57) \times 0,70}{5} + 0,942 \text{ ton} \\
 &= 1,46952 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tabel Daya Dukung Ijin Tarik Tiang Berdasarkan Data SPT

H (m)	l_i (m)	Jenis Tanah (C/S)	N SPT	Average N SPT	q_c (t/m ²)	A_p (m ²)	A_{st} (m)	f_i (t/m ²)	$l_i \cdot f_i$ (t/m)	$\sum q_{p,i}$ (t/m)	Wp (ton)	P all (ton)
2	2	S	6	6	240	0,19625	1,57	1,2	2,4	0,942	1,46952	
4	2	S	10	10	400	0,19625	1,57	2	4	1,884	3,29072	
6	2	S	18, 22	20	800	0,19625	1,57	4	8	3,768	5,99112	
8	2	S	17	17	680	0,19625	1,57	3,4	6,8	3,768	8,42776	
10	2	S	17	17	680	0,19625	1,57	3,4	6,8	28	4,71	10,8644
12	2	S	16, 24	20	800	0,19625	1,57	4	8	36	5,652	13,5648
14	2	S	36	36	1440	0,19625	1,57	7,2	14,4	50,4	6,594	17,67192
16	2	S	48	48	1920	0,19625	1,57	9,6	19,2	69,6	7,536	22,83408
18	2	S	51, 54	52,5	2100	0,19625	1,57	10	20	89,6	8,478	28,17208
20	2	S	55	55	2200	0,19625	1,57	10	20	109,6	9,42	33,51008
22	2	S	55	55	2200	0,19625	1,57	10	20	129,6	10,362	38,84808
24	2	S	56, 57	56,5	2260	0,19625	1,57	10	20	149,6	11,304	44,18608
26	2	S	57	57	2280	0,19625	1,57	10	20	169,6	12,246	49,52408
28	2	S	47	47	1880	0,19625	1,57	9,4	18,8	188,4	13,188	54,59832
30	2	S	48, 50	49	1960	0,19625	1,57	9,8	19,6	208	14,13	59,8484
32	2	S	50	50	2000	0,19625	1,57	10	20	228	15,072	65,1864
34	2	S	52	52	2080	0,19625	1,57	10	20	248	16,014	70,5244
36	2	S	53	53	2120	0,19625	1,57	10	20	268	16,956	75,8624
38	2	S	54	54	2160	0,19625	1,57	10	20	288	17,898	81,2004
40	2	S	55	55	2200	0,19625	1,57	10	20	308	18,84	86,5384

Jumlah Tiang yang Diperlukan

Rumus :

$$np = \frac{P}{P_{all}}$$

Dimana :

np = Jumlah tiang

P = Gaya aksial yang terjadi

P_{all} = Daya dukung ijin tiang

Perhitungan dilakukan dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$np = \frac{4414,26 \text{ kN}}{147,45 \text{ ton}}$$

$$np = \frac{450,13 \text{ ton}}{147,45 \text{ ton}}$$

= 3,05 tiang (dibulatkan 4 tiang)

Efisiensi Kelompok Tiang

Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus Converse-Labbare dari Uniform Building Code AASHTO adalah :

$$Eg = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

Dimana :

Eg = Efisiensi kelompok tiang

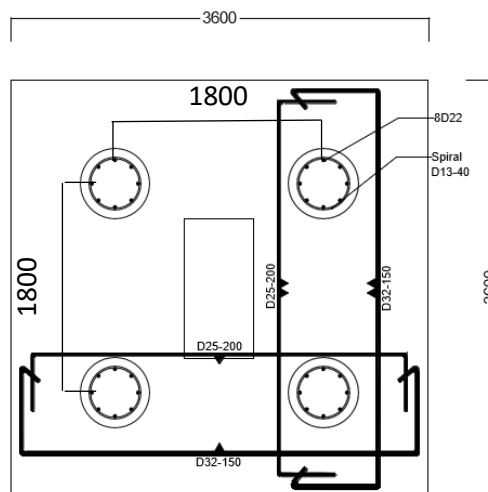
θ = Arc tan (D/s) (derajat)

D = Ukuran penampang tiang

s = Jarak antar tiang (as ke as)

m = Jumlah tiang dalam 1 kolom

n = Jumlah tiang dalam 1 baris



Gambar Dimensi Pile Cap dan Jarak Tiang Pancang

Jarak antar tiang adalah 180 cm pada arah vertical maupun horizontal.

$$m = 2$$

$$n = 2$$

$$D = 50 \text{ cm}$$

$$s = 180 \text{ cm}$$

$$\theta = \arctan (50/180) \\ = 15,52^\circ$$

$$Eg = 1 - 15,52 \frac{(2-1)^2 + (2-1)^2}{90 \times 2 \times 2}$$

$$Eg = 0,82$$

Daya dukung vertikal kelompok tiang adalah :

= Eg x jumlah tiang x daya dukung tiang

$$= 0,82 \times 4 \times 147,45$$

$$= 483,636 \text{ ton} > P = 450,13 \text{ ton} \\ \text{(OK)}$$

Beban Maksimum Tiang pada Kelompok Tiang

Rumus :

$$P_{maks} = \frac{Pu}{np} \pm \frac{My \times X_{max}}{ny \sum X^2} \pm \frac{Mx \times Y_{max}}{nx \sum Y^2}$$

Dimana :

Pmaks = Beban maksimum tiang

Pu = Gaya aksial yang terjadi

My = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu y

Mx = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu x

Xmax = Jarak tiang arah sumbu x terjauh

Ymax = Jarak tiang arah sumbu y terjauh

$\sum X^2$ = Jumlah kuadrat X

$\sum Y^2$ = Jumlah kuadrat Y

n_x = Banyak tiang dalam 1 baris arah sumbu x
 n_y = Banyak tiang dalam 1 baris arah sumbu y
 n_p = Jumlah tiang

Besar nilai $M_x = -30,973 \text{ kNm}$ (-3,158 tonm) dan $M_y = 0,217 \text{ kNm}$ (0,022 tonm).

$P_u = 450,13 \text{ ton}$

$n_p = 4 \text{ tiang}$

$X_{\max} = 0,9 \text{ m}$

$Y_{\max} = 0,9 \text{ m}$

$\sum X^2 = 2 \times 2 \times 0,9^2 = 3,24 \text{ m}^2$

$\sum Y^2 = 2 \times 2 \times 0,9^2 = 3,24 \text{ m}^2$

$$P_{\max} = \frac{450,13}{4} \pm \frac{0,022 \times 0,9}{2 \times 3,24} \pm \frac{-3,158 \times 0,9}{2 \times 3,24}$$

$= 112,53 + 0,002 - 0,438$

$= 112,094 \text{ ton} < \text{Daya dukung}$

ijin tekan = 147,45 ton (OK)

Kesimpulan

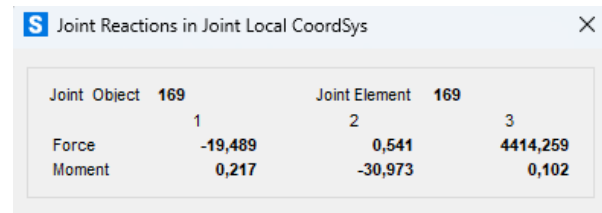
Berdasarkan analisis data dan perhitungan yang telah dilakukan pada Proyek Hotel Artotel Yogyakarta, maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis Kondisi Tanah

Hasil perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan metode Mayerhoff dan data Standard Penetration Test (SPT), kondisi tanah mampu mendukung konstruksi pondasi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai daya dukung ijin tekan tiang mencapai 147,45 ton dan daya dukung vertikal kelompok tiang sebesar 483,636 ton, yang lebih besar dari beban rencana 450,13 ton

2. Beban pada Pondasi Tiang Pancang

Hasil perhitungan beban struktur menggunakan SAP2000 dihasilkan gaya aksial terbesar terletak pada grid



Joint Object	169	Joint Element	169
	1	2	3
Force	-19,489	0,541	4414,259
Moment	0,217	-30,973	0,102

Gambar Nilai Beban Aksial Terbesar dan Momen pada Perhitungan SAP2000

line 3B sebesar 4414,26 kN (450,13 ton). Beban maksimum per tiang adalah 112,094 ton, masih di bawah daya dukung ijin tekan 147,45 ton.

3. Daya Dukung Ijin Tekan dan Daya Dukung Ijin Tarik Tiang Pancang
 Nilai daya dukung ijin tekan tiang pancang 147,45 ton dan nilai daya dukung ijin tarik tiang pancang 22,83 ton.

4. Efisiensi Kelompok Tiang Pancang
 Nilai efisiensi kelompok tiang mencapai 0,82, yang menunjukkan desain tiang pancang mampu menahan beban struktur yang bekerja.

5. Metode Pemancangan
 Metode pemancangan yang digunakan adalah bore pile. Metode ini dipilih karena hasil pengujian tanah pada lokasi proyek mengindikasikan tanah keras (sand/pasir).

Kesimpulan utama yang diperoleh yaitu pondasi tiang pancang yang direncanakan mampu menahan beban struktur dengan aman dan memenuhi persyaratan teknis berdasarkan kondisi tanah dan analisis pembebanan.

Saran

Dari hasil analisis data dan perhitungan yang telah dilakukan, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Pentingnya kelengkapan data dalam melakukan analisis dan perhitungan dalam penelitian untuk mendapatkan hasil yang akurat.

2. Teliti dalam melakukan pengolahan data dan pembacaan hasil karena akan mempengaruhi perhitungan.
3. Lakukan perhitungan dengan metode lain untuk mendapatkan perbandingan dan hasil yang lebih tepat.

Daftar Pustaka

- 1) Adma, Nabila Anisa Amara., Faishal Ahmad, dan Arlina Phelia. (2020). Evaluasi Daya Dukung Tiang Pancang Pada Pembangunan Jetty. *Jurnal Sendi*, 1(1), 7–14.
- 2) Andajani, Nur, dan Yudha Kurniawan. (2015). Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Dibanding Dengan Hasil Hidrolik Jacking Sistem Pada Proyek Pembangunan Fave Hotel Rungkut Surabaya. *Rekayasa Teknik Sipil*, 3(3), 29–33.
- 3) Faruha, Agil, dan Machfud Ridwan. Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dibandingkan Dengan Daya Dukung Hidraulik Jacking System Dan Pile Driving Analyzer (PDA) Test Pada Proyek Pembangunan Gedung Perpustakaan Sekolah Tinggi Agama Islam Negeri Kediri. *Jurnal Universitas Negeri Surabaya*, 1-10.
- 4) Jawat, I Wayan. (2016). Metode Pelaksanaan Pekerjaan Tiang Pancang Sistem Hidraulic Jack In Proyek KCU BCA Sunset Road Bali. *PADURAKSA*, 5(1), 43–52.
- 5) Kamil, Allamah, dan Fatmawati Oemar. (2023). Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Gedung Arsip Dinas Bina Marga Provinsi DKI Jakarta. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 22(1), 41-51.
- 6) Kusuma, Catra Editya, dan Fera Lestari. (2021). Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Proyek Penambahan Line Conveyor Batubara. *Jurnal Sendi*, 2(1), 44–50.
- 7) Limanto, Sentosa. (2009). Analisis Produktivitas Pemancangan Tiang Pancang Pada Bangunan Tinggi Apartemen. *Seminar Nasional Jurusan Teknik Sipil FT UKM*, 294 – 305.
- 8) Maharani, Ifa Agustin, dan Laviola Oktavia Nisa. (2022). “Analisa Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Hasil Standard Penetration Test (SPT) pada Gedung Teknik Informatika Politeknik Negeri Cilacap”. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung.
- 9) Pamungkas, Anugrah, dan Erny Harianti. (2013). *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta: ANDI.
- 10) Tobing, Diana Lumban. (2019). “Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile pada Proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartemen Medan”. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area.