

Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Pancang Pada Bangunan Gedung Control Room Di Kalimantan Timur

Santi Yatnikasari¹, Adde Currie Siregar², Maulana Rizki Azis³, Chandra Kusuma⁴
Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur^{1,2,3,4}
email: sy998@umkt.ac.id¹, acs150@umkt.ac.id², maulanarizkiazis@gmail.com³,
chandrakusuma80@gmail.com⁴
DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v5i2.3019>

Abstract: Pondasi merupakan suatu konstruksi pada bagian dasar bangunan yang berfungsi meneruskan beban dari struktur bangunan bagian atas ke lapisan tanah. Pembangunan Gedung Control Room di Proyek Pipa Gas Tanjung Batu Kalimantan Timur direncanakan menggunakan pondasi tiang bor ukuran 30 cm dan kedalaman 18 m dibawah muka tanah. Peneliti ingin melakukan perencanaan ulang pondasi tiang bor menggunakan 3 alternatif variasi diameter tiang pancang. Penelitian ini bertujuan mengetahui nilai kapasitas daya dukung dan penurunan. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah data sekunder berupa gambar teknis gedung, data hasil penyelidikan tanah dengan metode sondir dan standar penetration test. Hasil penelitian nilai kapasitas daya dukung ultimit tiang bor eksisting yaitu 434,559 Ton. Nilai kapasitas daya dukung ultimit perencanaan pondasi dengan metode Meyerhoff pada diameter 0,3 yaitu 295,16 Ton, diameter 0,4 yaitu 393,547 Ton dan diameter 0,5 m yaitu 491,933 Ton. Sedangkan dengan metode Aoki & De Alencer pada diameter 0,3 yaitu 285,109 Ton, diameter 0,4 yaitu 406,914 Ton dan diameter 0,5 m yaitu 543,047 Ton. Direkomendasi alternatif desain perencanaan pondasi tiang pancang diameter 0,5 m metode Aoki & De Alencer dengan jumlah 3 tiang dalam 1 kelompok tiang. Hal ini berdasarkan hasil kapasitas dukung kelompok (Q_g) lebih besar dari metode Meyerhoff, dari nilai penurunan, nilai penurunan 0,062 m lebih kecil dari nilai penurunan tiang bor pondasi eksisting 0,084 m dan nilai penurunan tiang dengan metode Meyerhoff 0,089 m.

Keywords: Pondasi Tiang Pancang, Kapasitas Daya Dukung, Penurunan

PENDAHULUAN

Pondasi merupakan unsur penting untuk semua bangunan teknik sipil. Setiap bangunan: gedung, jembatan, jalan raya, terowongan, kanal atau bendungan dibangun di atas permukaan tanah. Pondasi merupakan bagian struktur yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan menyalurkan beban di atasnya. Penggunaan pondasi dalam sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada di bawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja padanya (Sardjono, 1988). Perlunya mengetahui daya dukung tanah, pola distribusi tegangan dalam tanah di bawah daerah pembebanan, kemungkinan penurunan fondasi, pengaruh/dampak air tanah dan getaran dan lain-lain (Soedarno, 1993). Dalam merencanakan pondasi pada suatu struktur dapat menggunakan beberapa tipe pondasi yang pemilihannya berdasarkan fungsi bangunan atas yang dipikul oleh

pondasi, serta kondisi tanah dimana bangunan akan didirikan. Ada dua jenis tipe pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal terbagi dari beberapa jenis, yaitu pondasi batu kali, pondasi plat beton lajur, pondasi sumuran dan lain-lain (Bowles, 1997). Pondasi dalam terdiri dari pondasi tiang pancang, pondasi bore pile, pondasi telapak dan lain-lain. Dari beberapa jenis pondasi dalam tersebut yang paling mudah digunakan adalah pondasi tiang pancang, karena jenis pondasi ini dapat dilakukan secara pracetak serta mempunyai kualitas yang lebih terkontrol dibandingkan jenis pondasi lainnya. Menurut Dr. Ir. Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa (1990), pondasi tiang pancang adalah jenis pondasi yang sesuai dengan tanah pendukung yang terletak pada kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah.

Pondasi tiang pancang berfungsi sebagai penyalur beban pondasi hingga kelapisan tanah keras yang memiliki

kapasitas daya dukung tinggi. Daya dukung tiang pancang diperoleh dari daya dukung ujung (*End Bearing Capacity*) daya dukung geser atau selimut (*Friction Bearing Capacity*). Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef,1994). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya (Hardiyatmo, 1992). Untuk memperoleh hasil klasifikasi yang objektif, biasanya tanah itu dibagi dalam tanah berbutir kasar dan berbutir halus berdasarkan suatu analisis mekanis. Selanjutnya tahap klasifikasi tanah berbutir halus diadakan berdasarkan percobaan konsistensi (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1990). Penentuan lapisan tanah ditentukan berdasarkan data investigasi lapangan dan dilanjutkan dengan penentuan besar parameter tanah pada tiap lapisan. Besar parameter tanah dapat ditentukan berdasarkan investigasi lapangan seperti Standard Penetration Test (SPT) dan Sondir.

Dalam pembangunan gedung Control Room di Proyek Pipa Gas Tanjung yang berfungsi untuk mengontrol aliran dan tekanan gas dari Nilam Muara Badak ke Tanjung Batu Tenggara Sebrang diperuntukan untuk menopang bahan bakar mesin pembangkit listrik tenaga gas sebagai sumber listrik untuk warga sekitar Samarinda dan Tenggara. Gedung tersebut dibangun diatas tanah timbunan yang dulunya adalah rawa, berdasarkan hasil pengujian tanah karakteristik tanah adalah tanah lempung, maka perlu perencanaan pondasi yang dapat mendukung beban sampai batas keamanan yang direncanakan.

Berdasarkan karakteristik tanah, beban struktur atas, maka pada pembangunan gedung Control Room di Proyek Pipa Gas Tanjung Batu Kalimantan Timur ini dapat menggunakan pondasi tiang pancang, sehingga penulis ingin mencoba melakukan perencanaan ulang pondasi yang

semula direncanakan menggunakan pondasi tiang bor.

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah pelaksanaan kegiatan penelitian dibuat agar dapat berjalan sistematis dan tepat sasaran tercapainya tujuan penelitian. Langkah awal yang perlu dilakukan adalah studi pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, dan tujuan perencanaan. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data dan perhitungan perencanaan dari data yang diperoleh. Jenis penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif untuk mengetahui kapasitas dukung dan penurunan tiang pancang (Sugiyono, 2017).

Pengumpulan Data

Data yang digunakan sebagai sarana untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Gambar teknis gedung Control Room Tanjung Batu.
2. Data hasil penyelidikan tanah dengan metode sondir.
3. Data hasil penyelidikan tanah dengan metode standard penetration test.

Pada proyek pembangunan Control Room Tanjung Batu, penyelidikan tanah yang dilakukan adalah penyelidikan lapangan yaitu CPT dan SPT.

Teknik Analisa Data

Hasil dari analisis struktur bangunan atas dengan program *STAAD.Pro* selanjutnya digunakan untuk analisis pondasi tiang pancang. Analisis dilakukan dengan metode *Meyerhoff* dan *Aoki & De Alencar* (Tomlinson, 1986), yang meliputi :

1. Analisis kapasitas dukung tiang tunggal
2. Analisis kapasitas dukung tiang kelompok
3. Penurunan pondasi tiang pancang

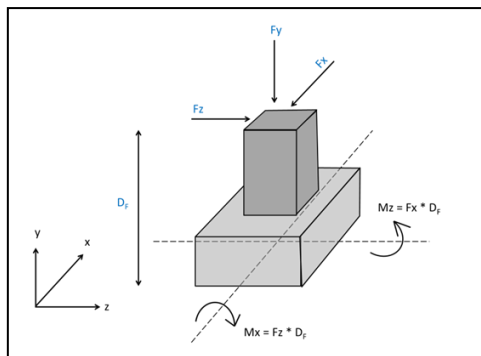
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kapasitas Dukung Tiang Pancang

Pada pembangunan Control Room Tanjung Batu dilakukan penyelidikan tanah untuk menentukan sifat fisik tanah, sehingga hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk

merencanakan atau pemeliharaan pondasi dan menghasilkan kapasitas daya dukung pondasi yang lebih tepat dan akurat. Perhitungan dengan metode mayerhoff yaitu analisis daya dukung pondasi tunggal maupun kelompok (Sintyawati, 2018). menurut Rizaludin (2020), Perhitungan dengan metode Mayerhoff adalah yang paling efisien. Sedangkan menurut Rizky (2020) daya dukung pondasi yang paling baik digunakan adalah daya dukung tiang pancang dengan menggunakan metode *Aoki De Alencar*.

Dalam melakukan analisis pondasi tiang pancang digunakan beban aksial, geser, momen x, dan momen y hasil dari *Staad.Pro* masing-masing sebesar 312,529 Ton, 6,249 Ton, 21,849 Ton, dan 2,017 Ton. Desain pondasi tiang pancang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Sket Pondasi Tiang Pancang

A. Kapasitas Dukung Tiang Pancang Tunggal Metode *Meyerhoff* dengan Data Sondir (Tiang Pancang Diameter 0,3 M)

- Kapasitas Dukung Ujung Tiang

$$Q_c = 159,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 15607,7 \text{ kN/m}^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,3^2$$

$$= 0,071$$

$$Q_p = q_c \cdot A_p$$

$$= 15607,7 \cdot 0,071$$

$$= 1102,68 \text{ KN}$$
- Kapasitas Dukung Selimut Tiang

$$JHL = 1511,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 148303 \text{ kN/m}^2$$

$$K = \pi \cdot D$$

$$= \pi \cdot 0,3$$

$$= 0,942$$

$$Q_s = JHL \cdot K$$

$$= 139701,0,942$$

$$= 1424,07 \text{ KN}$$

- Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 1102,68 + 1424,07$$

$$= 2526,75 \text{ KN}$$

- Kapasitas Dukung Ijin Tiang

$$Q_{ijin} = Q_u / SF \cdot W_p$$

$$= (2526,75/3) - 1/4 \cdot \pi \cdot (0,3^2 \cdot 2,4 \cdot 20)$$

$$= 838,886 \text{ KN}$$

$$= 83,886 \text{ Ton}$$

- Jumlah Tiang

$$N = P / Q_{ijin}$$

$$= 312,529 / 83,886$$

$$= 3,725 = 4 \text{ buah}$$

- Efisiensi Kelompok Tiang
Jarak antar tiang berdasarkan Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L adalah $S \geq 2,5D$ dan $S \leq 3D$ (Gultom, 2010).

$$E_g = 1 - \Theta \cdot ((n'-1)m + (m-1)n') / 90mn'$$

$$= 1 - \text{arc tg. } (0,3/1,25) \cdot ((2-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 2) / 90 \cdot 2 \cdot 2$$

$$= 0,850$$

- Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

$$Q_g = n \cdot Q_{ijin} \cdot E_g$$

$$= 4 \cdot 83,886 \cdot 0,847$$

$$= 285,231 \text{ Ton}$$

B. Kapasitas Dukung Tiang Pancang Tunggal Metode *Meyerhoff* Metode *Mayerhoff* dengan Data SPT BH 1 (Tiang Pancang Diameter 0,3 m)

- Kapasitas Dukung Ujung Tiang

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,3^2$$

$$= 0,071 \text{ M}^2$$

$$8D = 8 \cdot 0,3$$

$$= 2,4 \text{ M}$$

$$4D = 4 \cdot 0,3$$

$$= 1,2 \text{ M}$$

$$N_b = (((0,4,50) + (2,40) + (1,2,40)) / 3,6)$$

$$= 41,11$$

$$Q_p = 40 \cdot N_b \cdot A_p$$

$$= 40 \cdot 41,11 \cdot 0,071$$

$$= 116,18 \text{ Ton}$$
- Kapasitas Dukung Selimut Tiang

$$Q_s = 0,2 \cdot N \cdot SPT \cdot A_s$$

$$= 0,2 \cdot 47,5 \cdot (\pi \cdot 0,3 \cdot 20)$$

$$= 178,98 \text{ Ton}$$
- Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 116,18 + 178,98$$

$$= 295,16 \text{ Ton}$$

- Kapasitas Dukung Ijin Tiang

$$Q_{ijin} = Q_u/SF \cdot W_p$$

$$= (295,16/3) - 1/4 \cdot \pi \cdot 0,3^2 \cdot 2,4 \cdot 20$$

$$= 94,996$$
 - Jumlah Tiang

$$n = P/Q_{ijin}$$

$$= 312,529/94,996$$

$$= 3,289 = 5 \text{ Buah}$$
 - Efisiensi Kelompok Tiang

$$E_g = 1 - \theta \left(\frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90mn'} \right)$$

$$= 1 - \text{arc tg. } (0,3/1) \left(\frac{(3-1) \cdot 3 + (3-1) \cdot 3}{90 \cdot 3 \cdot 3} \right) = 0,753$$
 - Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

$$Q_g = n \cdot Q_{ijin} \cdot E_g$$

$$= 5 \cdot 94,996 \cdot 0,753$$

$$= 357,471 \text{ Ton}$$
- C. Kapasitas Dukung Tiang Pancang Tunggal Metode Aoki dan De Alenczer dengan Data Sondir (Tiang Pancang Diameter 0,3 m)
- Kapasitas Dukung Ujung Tiang

$$F_b = 1,75 \text{ (faktor empirik tahanan ujung tiang pancang, Titi \& Farsakh, 1999)}$$

$$P_1 = 1,5 D$$

$$= 0,45$$

$$= 19 - 0,45 = 18,55 \text{ m}$$
 - $P_2 = 1,5 D$

$$= 0,45$$

$$= 19 + 0,45 = 19,45 \text{ m}$$
 - $q_{c a} = (160 + 150 + 140 + 170 + 140)/5$

$$= 152 \text{ kg/cm}^2$$
 - $Q_b = q_{c a}/F_b$

$$= 152/1,75$$

$$= 86,857 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 8520,69 \text{ kN/cm}^2$$
 - $A_p = 1/4 \cdot \pi \cdot D^2$

$$= 1/4 \cdot \pi \cdot (0,3)^2$$

$$= 0,071 \text{ m}^2$$
 - $Q_p = q_b \cdot A_p$

$$= 8520,69 \cdot 0,071$$

$$= 602,291 \text{ kN}$$

$$= 60,2291 \text{ Ton/m}^2$$
- $F_s = 3,5$
 $\alpha_s = 3\%$
 $q_c =$
 $(90 + 100 + 110 + 100 + 100 + 110 + 130 + 100 + 110 + 200 + 220 + 150 + 150 + 160 + 171 + 150 + 140 + 200 + 150 + 120 + 150 + 140 + 190 + 180 + 140 + 130 + 200 + 180 + 170 + 190 + 180 + 170 + 160 + 170 + 150 + 150 + 140 + 150 + 160 + 180 + 170 + 140 + 150 + 160 + 170 + 150 + 140 + 150 + 140 + 150 + 130 + 200 + 160 + 150 + 140 + 170 + 140 + 150 + 160)/60$

$$= 149,35 \text{ kg/cm}^2$$
- $f = q_c \text{ (side)} \cdot \alpha_s / f_s$

$$= 149,35 \cdot 0,03 / 3,5$$

$$= 1,28 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 125,582 \text{ kN/m}^2$$
 - $A_s = \pi \cdot D \cdot \Delta L$

$$= \pi \cdot 0,3 \cdot 19$$

$$= 17,9071 \text{ m}^2$$
 - $Q_s = F \cdot A_s$

$$= 125,582 \cdot 17,9071$$

$$= 2248,81 \text{ kN}$$

$$= 224,881 \text{ Ton/m}^2$$
 - Kapasitas dukung ultimit tiang

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 60,2291 + 224,881$$

$$= 285,11 \text{ Ton/m}^2$$
 - Kapasitas dukung ijin tiang

$$Q_{ijin} = (Q_u) / SF \cdot W_p$$

$$= (285,11) / 3 - 1/4 \cdot \pi \cdot 0,3^2 \cdot 2,4 \cdot 20$$

$$= 91,6453 \text{ Ton/m}^2$$
 - Jumlah tiang

$$= P/Q_{ijin}$$

$$= 312,529/91,6453$$

$$= 3,4102$$

$$= 5 \text{ buah}$$
 - Efisiensi kelompok tiang

$$E_g = 1 - \theta \left(\frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90mn'} \right)$$

$$= 1 - \text{arc tg} \left(\frac{(3-1) \cdot 3 + (3-1) \cdot 3}{90 \cdot 3 \cdot 3} \right)$$

$$= 0,80007$$
 - Kapasitas dukung kelompok tiang

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_{ijin}$$

$$= 0,80007 \cdot 5 \cdot 91,6453$$

$$= 366,615 \text{ Ton/m}^2$$
- D. Kapasitas Dukung Tiang Bor Eksisting (Diameter 0,3 m)
- Kapasitas Dukung Ujung Tiang

$$A_p = 1/4 \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= 1/4 \cdot \pi \cdot 0,3^2$$

$$= 0,071$$
 - $Q_p = A \cdot 9,1079,1$

$$= 686,1457 \text{ KN} = 68,615 \text{ Ton}$$
 - Kapasitas Dukung Selimut Tiang

$$Q_s = P \cdot \sum a C_{\mu} \Delta H$$

$$= \pi \cdot D \cdot \sum a C_{\mu} \Delta H$$

$$= 3,14 \cdot 0,3 \cdot 0,2 \cdot 1079,1 \cdot 1,18$$

$$= 3659,444 \text{ KN} = 365,944 \text{ Ton}$$
 - Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 68,615 + 365,944$$

- = 434,559 Ton
- Kapasitas Dukung Ijin Tiang
 $Q_{ijin} = Q_u / SF - W_p$
 $= (434,559/3) - 1/4 \cdot \pi \cdot 0,5^2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 18$
 $= 141,801 \text{ Ton}$
- Jumlah Tiang
 $n = P / Q_{ijin}$
 $= 312,529 / 141,801$
 $= 2,204 = 3 \text{ Buah}$
- Efisiensi Kelompok Tiang
 $E_g = 1 - \Theta ((n'-1)m + (m-1)n') / 90mn'$
 $= 1 - \text{arc tg. } (0.3/1,25) ((2-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 2) / 90 \cdot 2 \cdot 2$
 $= 0,847$
- Kapasitas Dukung Tiang Kelompok
 $Q_g = n \cdot Q_{ijin} \cdot E_g$
 $= 3 \cdot 141,801 \cdot 0,847$
 $= 360,398 \text{ Ton}$

Perhitungan tiang pancang lebih baik menggunakan kontrol kelompok tiang serta kontrol gaya lateral agar konstruksi pondasi yang direncanakan mampu mendukung beban yang di rencanakan (Ridwan, 2019). Hal ini juga disimpulkan oleh Ilyas (2019). Menurut Nadella (2019), daya dukung statis harus lebih kecil dari daya dukung dinamis. Kapasitas dukung pondasi diperoleh dari daya dukung ujung dan tahanan gesek selimut tiang, untuk rekapitulasi hasil lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Rekapitulasi Analisis Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Pondasi

Tiang Pancang Eksisting	Metode Meyerhoff				Metode Aoki De Alencer		
	(Diameter)				(Diameter)		
D	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
Qp	68,615	116,18	154,907	193,633	60,2291	107,074	168,2466
Qs	365,944	178,98	238,64	298,3	224,8407	299,8407	374,8008
Qu	434,559	295,16	393,547	491,933	285,109	406,914	543,047
N	3	5	4	3	5	4	3

(Sumber: pengolahan data)

Tabel 2. Rekapitulasi Analisis Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pondasi

	Metode Meyerhoff			Metode Aoki & De Alencer		
	0,3 m	0,4 m	0,5 m	0,3 m	0,4 m	0,5 m
Qu	295,160	393,546	491,933	285,109	406,914	543,047
Sf	3	3	3	3	3	3
Ton	94,995	393,546	154,558	91,645	129,609	171,595
N	5	4	3	5	4	3
Eg	0,753	0,803	0,799	0,800	0,802	0,779

Qg	357,472	401,911	361,66	366,615	416,2214	401,526
Cek	AMAN	AMAN	AMAN	AMAN	AMAN	AMAN

(Sumber: pengolahan data)

Analisis Distribusi Beban ke Tiap Tiang Pancang

Dari Analisis kelompok tiang digunakan diameter 0,5 m dengan jumlah 3 tiang, beban yang diterima tiap tiang (Pi) pada kelompok tiang bor dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$P_i = (\sum P) / n \pm (M_y \cdot x_i) / (\sum x^2) \pm (M_x \cdot y_i) / (\sum y^2)$
 Beban-beban diatas kelompok tiang adalah sebagai berikut :

- Beban aksial (P) = 312,529 Ton
- Berat Pile Cap = $\gamma \cdot t \cdot B \cdot H$
 $= 2,4 \cdot 1,2 \cdot 25 \cdot 2,25$
 $= 12,15 \text{ Ton}$
- Berat Tiang = $A_p \cdot \gamma \cdot n \cdot L$
 $= 1/4 \cdot \pi \cdot 0,5^2 \cdot 2,4 \cdot 3 \cdot 20$
 $= 28,26 \text{ Ton}$
- Berat Total = $312,529 + 12,15 + 28,26$
 $= 352,939 \text{ Ton}$
- N tiang = 3 Buah

- Absis tiang terhadap pusat pile cap
 $\sum x^2 = (0,6252) + (0,6252)$
 $= 0,781$
- $M_x = 2,017$
- $M_y = 21,849$

- $P_i = (\sum P) / n \pm (M_y \cdot x_i) / (\sum x^2) \pm (M_x \cdot y_i) / (\sum y^2)$
 $P_1 = 352,939 / 3 - 21,849 \cdot 0,625 / 0,781^2$
 $= 95,273 \text{ Ton}$
- $P_2 = 352,939 / 3 + 21,849 \cdot 0,625 / 0,781^2$
 $= 140,019 \text{ Ton}$

Analisis Kekuatan Tiang Pancang

Dengan beton rencana $f'c = 30 \text{ Mpa}$, diameter tiang 0,5 m, dan Panjang tiang 20 m, kekuatan tiang dihitung dengan rumus berikut.

- $\sigma = P / A < o_{ijin}$
 dengan:
- P = 140,019
- A = $1/4 \cdot \pi \cdot D^2$
 $= 1/4 \cdot \pi \cdot 0,5^2$
 $= 0,196 \text{ m}^2$
- O = P/A
 $= 140,019 / 0,196$
 $= 713,476 \text{ Ton/m}^2$
- o_{ijin} = $f'c \cdot 30 \text{ Mpa} = K \cdot 361,45$
 $= 361,45 \cdot 0,83$
 $= 300,003 \text{ Kg/cm}^2$

$$= 3000,03 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{ijin} = 713,476 \text{ Ton/m}^2 < 3000,03 \text{ Ton/m}^2$$

Dengan berbagai alternatif yakni diameter 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m, diambil alternatif ke-3 diameter 0,5 m dengan metode Meyerhoff maupun metode Aoki & De Alancer dengan jumlah 3 tiang dalam 1 kelompok tiang. Hal ini dapat menghemat waktu pengerjaan dan biaya konstruksi yang dikeluarkan.

Kapasitas dukung pondasi tiang ditentukan oleh kemampuan material tiang untuk menahan beban struktural. Berdasarkan hasil analisis diperoleh tegangan yang terjadi pada tiang sebesar 713,476 Ton/m² lebih kecil dari tegangan ijin dengan mutu f'c 30 Mpa sebesar 3000,03 Ton/m², sehingga pondasi aman digunakan.

Selain itu hasil kapasitas dukung kelompok tiang (Qg) lebih besar daripada beban aksial (P) dan beban aksial (pt) yang diterima, yakni sebesar 361,66 > 312,529 ton; 361,66 Ton > 343,519 Ton, dan 401,526 > 312,529 ton; 401,526 Ton > 343,519 Ton sehingga beban struktur gedung di atas pondasi mampu ditahan oleh kelompok pondasi tiang.

Analisis Penurunan Tiang Pancang

Pada waktu tiang dibebani, tiang akan mengalami pemendekan dan tanah disekitarnya akan mengalami penurunan (Hardiyatmo, 2015). Penurunan pondasi tiang harus diperhitungkan dengan penurunan pondasi tunggal dan penurunan pondasi tiang kelompok tiang yang diperoleh dari perhitungan berikut.

A. Penurunan Tiang Tunggal dan Kelompok Metode Meyerhoff

Penurunan pondasi tiang pancang diameter 0,3 m dengan jumlah tiang sebanyak 5 tiang dan menahan beban (Qtotal) sebagai berikut.

$$\text{Berat aksial (P)} = 312,529 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat Tiang} = A_p \cdot \gamma \cdot n \cdot L$$

$$= 1/4 \cdot \pi \cdot (0,3)^2 \cdot 2,4 \cdot 5 \cdot 20$$

$$= 16,956 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat Total (Q)} = P + \text{Berat Tiang}$$

$$= 312,529 + 16,956$$

$$= 329,485 \text{ Ton}$$

- Penurunan Tiang Tunggal
 - D = 0,3 m
 - Q = 329,485 Ton
 - L = 20
 - A_p = 1/4 · π · 0,3² = 0,071 m²
 - E_p = 4700 · √(f'c) = 4700 · √30 = 2574296 Ton
 - S = D/100 + (Q · L)/(A_p · E_p)
 - S = 0,039 m

- Penurunan Kelompok Tiang
 - Beban Aksial (P) = 312,529
 - Lebar pile cap (Bg) = 1,5 m
 - Panjang pile cap (Lg) = 2,25 m
 - Panjang tiang (L) = 20 m
 - Luas penampang 1 (A1) = (1,5+1) × (2,5+1) = 8,13 m²
 - Luas penampang 2 (A2) = (1,5+3,5) × (2,5+3,5) = 28,75 m²
 - Tegangan efektif (Po'1) = (1,35 · 1) + (1,77 · 3) + (1,95 · 1) + (12,1,63) + (12,1,63) = 18,876 Ton
 - Tegangan efektif (Po'2) = (1,35 · 1) + (1,77 · 3) + (1,95 · 1) + (12,1,63) + (12,1,63) + (2,24 - 0,981) = 20,262 Ton

$$\text{Distribusi beban } (\Delta P_1) = P/A_1$$

$$= 312,529/8,13 = 38,465 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Distribusi beban } (\Delta P_2) = P/A_2$$

$$= 312,529/28,75 = 10,871 \text{ Ton/m}^2$$

Penurunan kelompok :

Pada kedalaman 15,00 – 17,00 m

$$q = P/A = 312,529/1,5 \cdot 2,25 = 92,601 \text{ Ton/m}^2$$

$$B = 1,5$$

$$E_s = 100 \text{ kg/cm} = 9810 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_o = 0,58$$

$$\mu_i = 1,33$$

$$S_s = \mu_i \cdot \mu_o \cdot (q \cdot B) / E_s$$

$$= 1,33 \cdot 0,58 \cdot 9,44 \cdot 1,5 / 9810$$

$$= 0,011$$

Pada kedalaman 17,00 -26.50 m

$$S_c = C_c / (1 + e_o) \cdot \Delta H \cdot \log (Po'2 + \Delta P_2) / Po'2$$

$$= 0,06 / (1 + 0,43) \cdot 10 \cdot \log (20,262 + 10,871) / 20,262$$

$$= 0,078 \text{ m}$$

Penurunan Total

$$S = S_s + S_c$$

$$= 0,011 + 0,078$$

$$= 0,089 \text{ m}$$

B. Penurunan Tiang Tunggal dan Kelompok Metode Aoki & De Alancer

Penurunan pondasi tiang pancang diameter 0,3 m dengan jumlah tiang sebanyak 5 tiang dan menahan beban (Q_{total}) sebagai berikut.

$$\text{Berat aksial (P)} = 312,529 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Tiang} &= A_p \cdot \gamma \cdot n \cdot L \\ &= 1/4 \cdot \pi \cdot (0,3)^2 \cdot 2,2 \cdot 4,5 \cdot 20 \\ &= 16,956 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Total (Q)} &= P + \text{Berat Tiang} \\ &= 312,529 + 16,956 \\ &= 329,485 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Penurunan Tiang Tunggal

$$\begin{aligned} D &= 0,3 \\ Q &= 329,485 \text{ Ton} \\ L &= 20 \\ A_p &= 1/4 \cdot \pi \cdot 0,3^2 = 0,071 \text{ m}^2 \\ E_p &= 4700 \cdot \sqrt{f_c} = 4700 \cdot \sqrt{30} = 2574296 \text{ Ton} \\ S &= D/100 + (Q \cdot L)/(A_p \cdot E_p) \\ &= 0,03734 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} \text{Beban Aksial (P)} &= 312,529 \text{ Ton} \\ \text{Lebar pile cap (Bg)} &= 2,25 \text{ m} \\ \text{Panjang pile cap (Lg)} &= 2,25 \text{ m} \\ \text{Panjang tiang (L)} &= 20 \text{ M} \\ \text{Luas penampang 1 (A1)} &= (2,25 + 1) \times (3,75 + 1) = 15,4 \text{ m}^2 \\ \text{Luas penampang 2 (A2)} &= (2,25 + 3,5) \times (3,75 + 3,5) = 41,68 \text{ m}^2 \\ \text{Tegangan efektif (Po'1)} &= (1,35 \cdot 1) + (1,77 - 0,981) \cdot 3 + (1,95 - 0,981) \cdot 1 \\ &\quad + (1,63 - 0,981) \cdot 12 = 12,474 \text{ Ton} \\ \text{Tegangan efektif (Po'2)} &= (1,35 \cdot 1) + (1,77 - 0,981) \cdot 3 + (1,95 \cdot 1) \\ &\quad + (1,63 - 0,981) \cdot 12 + (1,63 - 0,981) \cdot 12 \\ &= 21,474 \text{ Ton} \\ \text{Distribusi beban } (\Delta P1) &= P/A1 \\ &= 312,529/15,4375 \\ &= 20,2293 \text{ Ton} \\ \text{Distribusi beban } (\Delta P2) &= P/A2 \\ &= 312,529/41,6875 \\ &= 7,49121 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Penurunan kelompok :

$$\begin{aligned} \text{Pada kedalaman 9,00 - 17,00 m} \\ q &= P/A = 312,529/3,75 \cdot 2,25 = 37,0121 \\ B &= 2,25 \\ E_s &= 100 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$= 9810 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \mu_o &= 0,58 \\ \mu_i &= 1,28 \\ S_s &= \mu_i \cdot \mu_o \cdot (q \cdot B)/E_s \\ &= 1,28 \cdot 0,58 \cdot 37,0121 \cdot 2,25/9810 \\ &= 0,00652 \text{ m} \end{aligned}$$

Pada kedalaman 17,00 - 26.50 m

$$\begin{aligned} S_c &= C_c/(1+e_o) \cdot \Delta H \cdot \log(P_o' 2 + \Delta P2)/P_o' 2 \\ &= 0,05504 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan Total

$$\begin{aligned} S &= S_s + S_c \\ &= 0,00652 + 0,05504 \\ &= 0,06156 \text{ m} \end{aligned}$$

C. Penurunan Tiang Eksisting

$$\begin{aligned} D &= 0,3 \\ Q &= 315,581 \text{ Ton} \\ L &= 18 \\ A_p &= 1/4 \cdot \pi \cdot 0,3^2 = 0,070 \text{ m}^2 \\ E_p &= 4700 \cdot \sqrt{f_c} = 4700 \cdot \sqrt{30} = 2574296 \text{ Ton} \\ S &= D/100 + (Q \cdot L)/(A_p \cdot E_p) \\ &= 0,006 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} \text{Beban Aksial (P)} &= 312,529 \text{ Ton} \\ \text{Lebar pile cap (Bg)} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Panjang pile cap (Lg)} &= 2,25 \text{ m} \\ \text{Panjang tiang (L)} &= 20 \text{ m} \\ \text{Luas penampang 1 (A1)} &= (1,5 + 1) \times (2,5 + 1) = 8,13 \text{ m}^2 \\ \text{Luas penampang 2 (A2)} &= (1,5 + 3,5) \times (2,5 + 3,5) = 28,75 \text{ m}^2 \\ \text{Tegangan efektif (Po'1)} &= (1,35 \cdot 1) + (1,77 \cdot 3) + (1,95 \cdot 1) + (12 \cdot 1,63) + \\ &\quad (12 \cdot 1,63) = 18,876 \text{ Ton} \\ \text{Tegangan efektif (Po'2)} &= (1,35 \cdot 1) + 1,77 \cdot 3 + (1,95 \cdot 1) + (12 \cdot 1,63) + \\ &\quad (12 \cdot 1,63) \cdot (2,24 - 0,981) = 20,262 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Distribusi beban } (\Delta P1) &= P/A1 \\ &= 312,529/8,13 \\ &= 38,465 \text{ Ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Distribusi beban } (\Delta P2) &= P/A2 \\ &= 312,529/28,75 \\ &= 10,871 \text{ Ton/m}^2 \end{aligned}$$

Penurunan kelompok :

$$\begin{aligned} \text{Pada kedalaman 09,00 - 17,00 m} \\ q &= P/A \\ &= 312,529/1,5 \cdot 2,25 = 92,601 \text{ Ton/m}^2 \\ B &= 1,5 \text{ m} \\ E_s &= 100 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$= 9810 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_o = 0,58$$

$$\mu_i = 1,33$$

$$S_s = \mu_i \cdot \mu_o \cdot (q \cdot B) / E_s$$

$$= 1,33 \cdot 0,58 \cdot 9,44 \cdot 1,5 / 9810$$

$$= 0,011$$

Pada kedalaman 17,00 - 27 m

$$S_c = C_c / (1 + e_o) \cdot \Delta H \cdot \log(P_o' \cdot 2 + \Delta P_2) / P_o' \cdot 2$$

$$= 0,078 \text{ m}$$

Penurunan Total

$$S = S_s + S_c$$

$$= 0,006 + 0,078$$

$$= 0,084 \text{ m}$$

Besarnya penurunan pondasi tiang tergantung pada nilai beban-beban yang bekerja selain itu dipengaruhi juga oleh diameter tiang, jumlah tiang, formasi kelompok tiang, jenis material tiang, dan jenis material tanah. Penurunan pondasi kelompok tiang pada umumnya lebih besar dari penurunan pada tiang tunggal. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh tegangan pada daerah cakupan yang lebih luas serta lebih dalam.

Berikut hasil rekapitulasi analisis penurunan tiang pancang pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Penurunan Tiang Tunggal dan Kelompok Tiang

Diameter (m)	Penurunan Kelompok Tiang (m)		
	Meyerhoff	Aoki & De Alancer	Eksisting
0,3	0,089	0,062	0,084
0,4	0,082	0,053	
0,5	0,070	0,047	

(Sumber: pengolahan data)

PENUTUP

Berdasarkan analisis kapasitas dukung pondasi tiang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai kapasitas daya dukung ultimit tiang bor eksisting yaitu 434,559 Ton. Nilai kapasitas daya dukung ultimit perencanaan pondasi dengan metode Meyerhoff pada diameter 0,3 yaitu 295,16 Ton, diameter 0,4 yaitu 393,547 Ton dan diameter 0,5 m yaitu 491,933 Ton. Sedangkan perencanaan dengan metode Aoki & De Alencer pada diameter 0,3 yaitu 285,109 Ton, diameter 0,4 yaitu 406,914 Ton dan diameter 0,5

m yaitu 543,047 Ton. Pondasi dinyatakan aman karena hasil dari kapasitas dukung kelompok tiang (Qg) lebih besar dari beban yang diterima pondasi.

2. Direkomendasi alternatif desain perencanaan pondasi tiang pancang diameter 0,5 m metode Aoki & De Alencer dengan jumlah 3 tiang dalam 1 kelompok tiang. Hal ini berdasarkan hasil kapasitas dukung kelompok (Qg) lebih besar dari metode Meyerhoff. Begitupula apabila ditinjau dari nilai penurunan, nilai penuruan 0,062 m lebih kecil dari nilai penurunan tiang bor pondasi eksisting 0,084 m dan nilai penurunan tiang dengan metode Meyerhoff 0,089 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E., 1997, *Foundation Analysis and Design, Fifth Edition*, Washinton D.C.
- Gultom, E., 2010, *Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Tunggal pada Proyek Pembangunan PLTU 2 Sumatra Utara*, (www.academia.edu)
- Hardiyatmo, H.C., 1992. *Mekanika Tanah 1*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 1994. *Mekanika Tanah 2*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2010, *Mekanika Tanah 1*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Ilyas, R ,Ahmad,R., Sigit, W, Agata, I., *Perencanaan Pondasi Tiang (Studi Kasus Hotel Merdeka Tulungagung)*, JURMATEKS, Vol. 2, No. 1 Juni 2019.
- Nadella,K, Mila, K, Arintha, Indah., *Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang dengan Metode Statis dan Dinamis pada Proyek SBE Plant PT.Ecooils Jaya Indonesia*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII, ISSN. 2686-0023, 2019.
- Rizaludin, Sigit, W, Ahmad, R. *Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Gedung Pasca Sarjana Fakultas Teknik*

- Universitas Kediri, JURMATEKS, Vol. 3, No. 1 Juni 2020, ISSN 2621 – 7686.
- Rizky, M , Musrifah, T. Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dengan Menggunakan Metode Langsung Dan Metode Aoki De Alencar Pada Gedung Lembaga Pembinaan Khusus Anak (Lpka) Klas Ii Samarinda Di Kota Tenggarong, KURVA S JURNAL MAHASISWA, VOL 11. NOMOR 2. 2020.
- Sardjono, H. S., 1988, Pondasi Tiang Pancang, Jilid 1, Surabaya: Sinar Jaya Wijaya.
- Sintyawati, L, Sigit,W, Ahmad, R,. Studi Perencanaan Struktur Pondasi Tiang Pancang Gedung Fakultas Syariah Iain Ponorogo, JURMATEKS, Vol. 1, No. 2 Oktober 2018, ISSN 2621 – 7686.
- Soedarmo, Djatmiko dan Purnomo, Edy, 1993, Mekanika Tanah 1, Yogyakarta : Kanisius.
- Sosrodarsono, dan Nakazawa, 1990, Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, PT Pradnya Paramita, Jakarta
- Sugiyono, 2017. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung : Alfabeta, CV.
- Titi, H.H and Farsakh, M.A.Y., 1999, Evaluation of Bearing Capacity of Piles from Cone Penetration Test Data, Lousiana Transfortation Research Center.
- Tomlinson, P.B. 1986. The Botany of Mangroves. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Verhoef, PNW. 1994. Geologi Untuk Teknik Sipil. Erlangga. Jakarta.