

Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang: Studi Kasus Proyek Pembangunan PLTU Sampit 2x25 MW

Akhmad Gazali

Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan

✉ akhmadgazali51@gmail.com

Setiap konstruksi bangunan sipil harus mempunyai pondasi yang dapat mendukung beban yang bekerja padanya. Pondasi adalah bangunan bawah tanah (*sub structure*) dari suatu konstruksi yang merupakan bagian penting untuk meneruskan beban konstruksi di atasnya (*upper structure*) dan beban lainnya seperti gempa, angin dan lainnya ke lapisan tanah keras. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kapasitas daya dukung aksial pondasi tiang tunggal secara analitis dan pembebanan aksial maksimum yang diterima pondasi, sehingga diperoleh nilai faktor keamanan pondasi tiang. Pada Proyek Pembangunan PLTU Sampit 2x25 MW, nilai pembebanan aksial maksimum dihitung menggunakan Metode Elemen Hingga dan perhitungan daya dukung aksial dengan Metode Mayerhoff. Selanjutnya kedua nilai tersebut dibandingkan untuk memperoleh nilai Faktor Keamanan (FK) pondasi tiang. Berdasarkan hasil analisis menggunakan Metode Elemen Hingga diperoleh nilai pembebanan aksial maksimum sebesar 31,349 ton, sedangkan hasil perhitungan daya dukung ultimit tiang berdasarkan data SPT pada titik BH 33 kedalaman 24 meter adalah 99,300 ton. Dari hasil kedua analisis tersebut dapat diperoleh nilai FK pondasi tiang sebesar 3,17 ($>FK_{izin} 3,0$) dan pondasi tiang tunggal tersebut dapat disimpulkan aman menahan pembebanan aksial.

Kata kunci : Kapasitas Daya Dukung, Tiang Pancang, Metode Elemen Hingga

Dipresentasikan: 30 Agustus 2019

Direvisi: 14 September 2019

Diterima: 13 Oktober 2019

Dipublikasikan online: 14 Oktober 2019

Pendahuluan

Latar Belakang

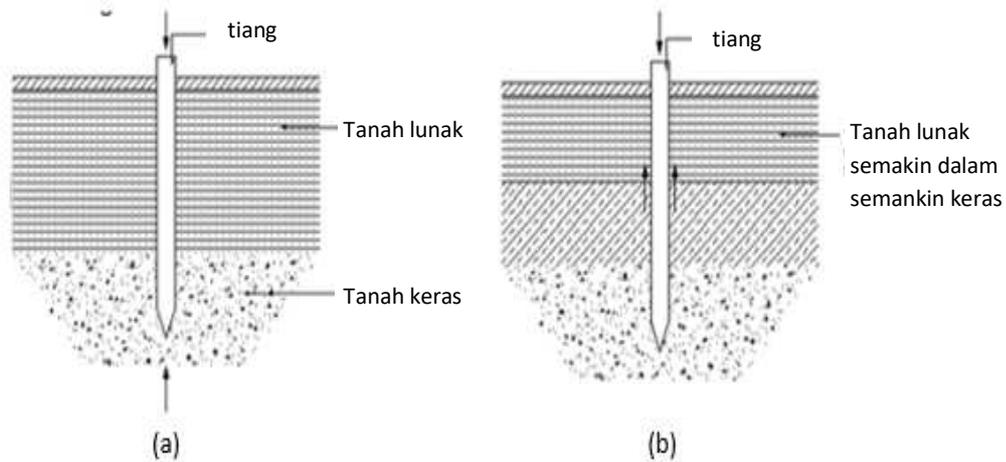
Pembangunan PLTU Sampit 2x25 MW terletak di Desa Bagendang Permai, Kelurahan Mentaya Hilir Utara Kabupaten Kotawaringin Timur. Dalam pembangunan tersebut, pekerjaan struktur meliputi struktur atas dan struktur bawah. Salah satu bagian dari struktur bawah adalah pondasi. Perhitungan daya dukung pondasi tiang sangat penting dalam perencanaan pembangunan. Perhitungan tersebut bertujuan untuk mengetahui kemampuan tiang pancang dalam tanah terhadap pembebanan pada struktur atas. Dalam penelitian ini pembebanan struktur atas yang dianalisis adalah pembebanan vertikal. Berdasarkan analisis daya dukung pondasi tiang dan analisis pembebanan vertikal tersebut, dapat diperoleh nilai faktor keamanan pondasi tiang. Nilai faktor keamanan tersebut untuk mengetahui tingkat keamanan pembangunan. Jenis tanah pada penelitian ini adalah jenis tanah lempung. Penggunaan pondasi diatas tanah lempung pada bangunan harus sesuai beban yang dipikul oleh kapasitas daya dukung tiang pancang tersebut. Sehingga kegagalan struktur akibat pondasi dapat dihindari. Pada perhitungan kapasitas daya dukung

pondasi tiang sangat penting dalam menopang kekokohan struktur di atasnya, dimana pada struktur atas dalam penelitian ini menggunakan Metode Elemen Hingga. Dalam penelitian ini, penulis tertarik untuk mengevaluasi kapasitas daya dukung aksial tiang pancang tunggal pada Pembangunan PLTU Sampit 2x25 MW adalah ada beberapa titik pondasi di sekitar BH-33 yang dipancang pada kedalaman 24 m dengan nilai N-SPT sebesar 12 (termasuk dalam kategori kepadatan relatif sedang), belum masuk kategori tanah keras. sehingga penulis ingin mengetahui apakah kapasitas daya dukung tiang pancang pada pembangunan PLTU Sampit 2x25 MW tersebut sudah mampu atau tidak menahan beban struktur di atasnya, selain itu juga penulis merasa penasaran dan ingin mengetahui faktor keamanan pondasi tiang tunggal tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, maka penelitian ini fokus pada bagaimana analisis kapasitas daya dukung aksial pondasi tiang pancang tunggal pada pembangunan PLTU Sampit 2x25 MW, dan bagaimana analisis pembebanan aksial pada pembangunan PLTU Sampit 2x25 MW, dan bagaimana perbandingan antara analisis kapasitas daya dukung aksial pondasi tiang pancang tunggal dan analisis pembebanan aksial sehingga menghasilkan nilai faktor keamanan (FK).

Cara mensitasi artikel ini:

Gazali, A (2019) Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang: Studi Kasus Proyek Pembangunan PLTU Sampit 2x25 MW. [Edisi Khusus]. *Buletin Profesi Insinyur* 2(3): 133-137



Gambar 1. Tiang ditinjau dari Cara Mendukung Beban (Hardiyatmo, 2002)

Studi Literatur

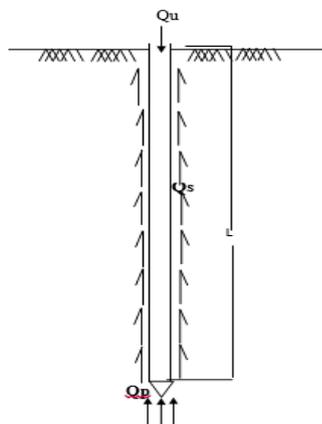
Tiang Dukung Ujung dan Tiang Gesek

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam (Hardiyatmo, 2002), yaitu :

1. Tiang dukung ujung (end bearing pile) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zone tanah yang lunak yang berada di atas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang (Gambar 1a).
2. Tiang gesek (friction pile) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya (Gambar 1b). Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah dibawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.

Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal

Kapasitas daya dukung tiang terdiri dari kapasitas dukung ujung tiang (Q_b) dan kapasitas dukung selimut tiang (Q_s), yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Daya Dukung Tiang Pancang

Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal Diiijinkan

Kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u), dihitung dengan persamaan umum:

$$Q_u = Q_b + Q_s = A_b \cdot f_b + A_s \cdot f_s \tag{1}$$

Keterangan:

- A_b = Luas ujung bawah tiang (cm²)
- A_s = Luas selimut tiang (cm²)
- f_s = Tahanan ujung satuang tiang (kg/cm²)
- f_b = Tahanan gesek satuan tiang (kg/cm²)

Kapasitas Daya Dukung Vertikal yang Diiijinkan

Daya dukung ultimate netto tiang tunggal (Q_u), adalah jumlah dari daya dukung ujung bawah ultimit (Q_b) dan daya dukung gesek tiang ultimit (Q_s) antara dinding tiang dan tanah sekitarnya dikurangi dengan berat sendiri tiang. Bila dinyatakan dalam persamaan, maka:

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \tag{2}$$

Keterangan:

- W_p = Berat sendiri tiang (kg)
- Q_u = Kapasitas ultimit netto (kg)

Kapasitas ultimit tiang dapat dihitung secara empiris dari nilai N hasil uji SPT. Untuk tiang pancang yang terletak di dalam tanah atau lempung jenuh, Mayerhof menyarankan persamaan sebagai berikut (Hardiyatmo, 2008):

$$Q_u = 4 \cdot N_b \cdot A_b + \frac{1}{50} \cdot N \cdot A_s \tag{3}$$

Keterangan:

- Q_u = Kapasitas ultimit tiang (ton)
- N_b = Nilai N dari uji SPT pada tanah di sekitar dasar tiang
- N = Nilai N rata-rata uji SPT, disepanjang tiang
- A_s = Luas selimut tiang (ft²) (dengan 1 ft = 30,48 cm)
- A_b = Luas dasar tiang (ft²)

Rumus daya dukung gesek tiang (Q_b) pada penelitian selanjutnya Mayerhof mengusulkan persamaan untuk menghitung tahanan ujung (Hardiyatmo, 2008):

$$Q_b = A_b \cdot (38 N) \cdot \left(\frac{L_b}{d}\right) \leq 380 N \cdot (A_b) \quad (4)$$

Rumus daya dukung gesek tiang (Q_s) berdasarkan data N-SPT yang disarankan oleh Mayerhof dalam buku *Principles of Foundation Engineering 2* (Das, 2011) untuk tanah non-kohesif menggunakan persamaan:

$$Q_s = K \cdot L_b \cdot f_{av} \quad (5)$$

$$f_{av} = 0,02 \cdot P_a \cdot N_{60} \quad (6)$$

Keterangan:

- Q_s = Daya dukung gesek tiang (kN)
- f_{av} = Gesekan pada selimut tiang (kN/m²)
- N_{60} = Nilai SPT N_{60}
- P_a = Tekanan atmosfer = 100 kN/m²
- L_b = Tebal lapisan tanah (m)
- K = Keliling tiang (m)

Dalam penelitian ini faktor keamanan yang digunakan adalah hasil pembagian antara kapasitas daya dukung tiang dengan pembebanan gaya vertikal maksimum, secara matematis dapat dituliskan pada Persamaan 7.

$$FK = \frac{Q_{ult}}{P_{max}} \quad (7)$$

Keterangan:

- FK = Faktor keamanan
- Q_{ult} = Kapasitas daya dukung tiang
- P_{max} = Beban gaya vertikal maksimum

Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode Elemen Hingga merupakan suatu prosedur perhitungan yang dipakai untuk mendapat pendekatan lebih dalam dari suatu permasalahan matematis pada rekayasa teknik dengan persamaan aljabar yang melibatkan nilai-nilai pada titik-titik diskrit bagian yang dievaluasi.

Metode Penelitian

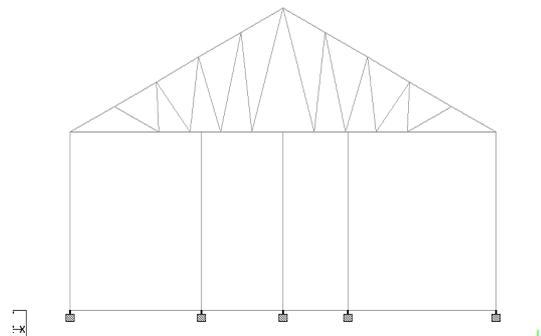
Langkah-langkah dalam melakukan penelitian ini antara lain:

1. Pengumpulan data sekunder
Data sekunder yang dipersiapkan antara lain data SPT dari tiga titik investigasi tanah menggunakan metode bor dalam (i.e., Bore Hole (BH) 18, BH 30, dan BH 33. dan gambar kerja konstruksi.
2. Analisis pembebanan dengan menggunakan *finite elemen method*. Pembebanan yang diaplikasikan pada konstruksi menggunakan standar SNI 1727:2013.
3. Analisis daya dukung pondasi tiang tunggal dengan memperhatikan Persamaan 1-6.
4. Perhitungan faktor keamanan tiang (Persamaan 6).

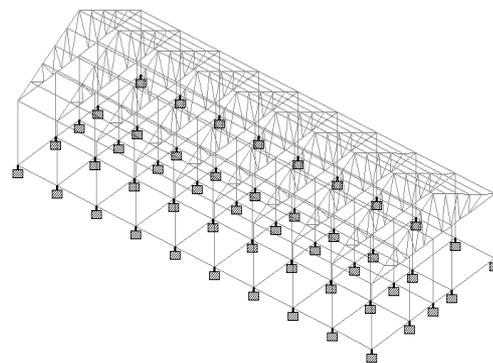
Hasil Analisis

Analisis Pembebanan Struktur

Analisis pembebanan menggunakan program aplikasi berbasis FEM dengan model struktur seperti terlihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Tampak Depan



Gambar 4. Tampilan 3D

Selanjutnya untuk hasil pembebanan struktur dan gaya beban vertikal maksimum pada program FEM dirangkum pada Tabel 1..

Tabel 1. Hasil Analisis Pembebanan Aksial Maksimum

Node	L/C	Reaksi Perletakan					
		Fx (kg)	Fy (kg)	Fz (kg)	Mx (kg.m)	My (kg.m)	Mz (kg.m)
72	Beban Kombinasi	0,000	31.349,406	0,000	0,000	0,000	0,000
73	Beban Kombinasi	0,000	31.349,327	0,000	0,000	0,000	0,000
74	Beban Kombinasi	0,000	31.349,295	0,000	0,000	0,000	0,000
75	Beban Kombinasi	0,000	31.349,354	0,000	0,000	0,000	0,000
76	Beban Kombinasi	0,000	31.349,354	0,000	0,000	0,000	0,000
77	Beban Kombinasi	0,000	31.349,631	0,000	0,000	0,000	0,000
78	Beban Kombinasi	0,000	31.349,624	0,000	0,000	0,000	0,000
79	Beban Kombinasi	0,000	31.349,351	0,000	0,000	0,000	0,000
80	Beban Kombinasi	0,000	31.349,905	0,000	0,000	0,000	0,000

Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal

Perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal terhadap gaya aksial berdasarkan pada data uji SPT menggunakan metode Meyerhof sebagai berikut:

Kedalaman tiang (L) = 24 m
 Diameter tiang (D) = 0,4 m
 Luas penampang tiang (A_p) = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$
 = $\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,4^2 = 0,13 \text{ m}^2$
 Keliling tiang (K) = $\pi \cdot D$
 = $3,14 \cdot 0,4 = 1,256 \text{ m}$

Daya Dukung Ujung pada Tiang (Q_p)

Tiang pancang tertanam pada tanah non kohesif maka perhitungan daya dukung ujung pada tiang menggunakan rumus untuk tanah non kohesif. Hasil data N-SPT pada titik BH-18, BH-30, BH-33 terlihat pada Gambar 5. Pada gambar tersebut juga diberikan nilai-nilai f_{av} dan $f_{av} \cdot l_i$

Perhitungan selanjutnya yang digunakan adalah hasil N-SPT minimum yaitu data N-SPT pada titik BH-33. Nilai N pada tanah di sekitar dasar tiang (N_p):

Nilai rata-rata N_{p1} pada kedalaman 8D di atas dasar tiang (24 m)

Nilai N' -SPT = $\frac{21+19,8+18+15}{4} = 18,45$ (N-SPT sudah di koreksi)

Nilai rata-rata N_{p2} pada kedalaman rencana = 12 (N-SPT sudah di koreksi)

Nilai N' -SPT = $\frac{18,45+12}{2} = 15,225$

Nilai daya dukung ujung tiang (Q_p) = $38 \times N' = 38 \times 15,225 = 578,6 \text{ ton/m}^2$

Daya dukung ultimit tiang pile (Q_b) = $Q_p \cdot A_p = 578,6 \times 0,13 = 72,7 \text{ ton}$

Daya dukung gesek pada selimut tiang (Q_s)

Perhitungan daya dukung gesek pada selimut tiang pondasi adalah sebagai berikut:

$Q_s = K \cdot \sum f_{av} \cdot l_i$
 = $1,256 \cdot 0,882 \cdot 24$
 = 26,6 ton

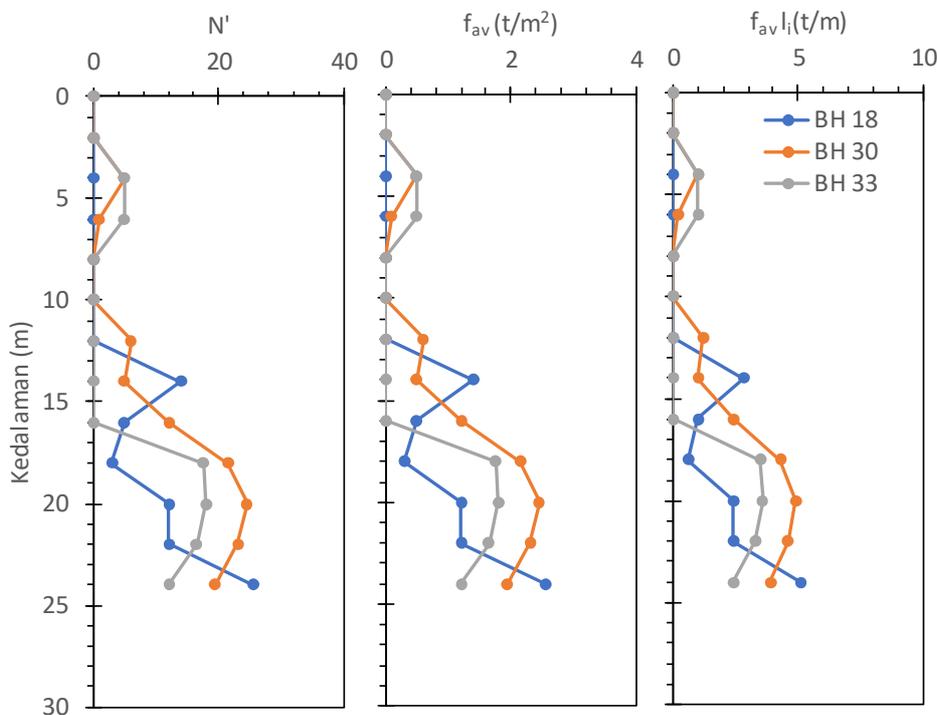
$Q_{ult} = Q_b + Q_s$
 = $72,7 + 26,6$
 = 99,3 ton

Berdasarkan analisis pembebanan gaya vertikal maksimum FEM dan analisis kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang akan mendapatkan nilai faktor keamanan sebagai berikut terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Faktor Keamanan Pondasi Tiang Pancang

Pembebanan Gaya Vertikal Program FEM	Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal
31,349 ton	$Q_{ult} = 99,3 \text{ ton}$
$FK = 99,3 / 31,349 = 3,17$	

Jadi, Faktor Keamanannya adalah sebesar $3,17 > 3,0$ (Aman)



Gambar 5. N SPT dan nilai f_{av} dan $f_{av} \cdot l_i$ untuk BH 18, BH 30 dan BH 33

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan di atas dapat disimpulkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis kapasitas daya dukung aksial pondasi tiang pancang tunggal pada pembangunan PLTU Sampit 2×25 MW diperoleh daya dukung ultimit (Qult) sebesar 99,3 ton.
2. Analisis pembebanan aksial pada pembangunan PLTU Sampit 2×25 MW menggunakan Metode Elemen Hingga diperoleh nilai gaya aksial maksimum pada kolom di titik 77 sebesar 31,349 ton.
3. Perbandingan antara nilai analisis kapasitas daya dukung aksial pondasi tiang pancang tunggal dan analisis

pembebanan aksial menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) adalah sebesar $3,17 > 3,0$ (Aman).

Referensi

- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering*. SI Edition, 7th Edition. Cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C (2002). *Teknik Pondasi 2*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C (2008). *Teknik Pondasi 2 (Edisi 4)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- SNI 1727 (2013) *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Badan Standarisasi Nasional.