

Perbandingan daya dukung tiang pancang dengan metode empiris (*standard penetration test*) Mayerhof, Terzaghi, dan Vesic

Riska Ardiyanti^{1*}, Muhammad Reza Hasrul¹, Mohammad Junaedy Rahman¹,
Moeh Asnur Kay Muddin¹, Furqan Ali Yusuf²

¹Program Studi Teknik Sipil Bangunan Gedung
Fakultas Teknik Sipil, Universitas Negeri Makassar
Jln Daeng Tata Raya Parang Tambung, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia. 90224
*E-mail: riskaardiyanti43@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil
Akademi Teknologi Industri Dewantara Palopo
Jl. K.H. Ahmad Razak, Palopo, Sulawesi Selatan, Indonesia. 91921

Abstrak: Penentuan jenis pondasi yang akan digunakan dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah kedalaman tanah keras, jenis tanah pada lokasi, dan beban yang akan dipikul. Terdapat beberapa metode untuk mendapatkan daya dukung suatu tanah dasar pondasi secara teoritis seperti Metode Mayerhof (1956), Terzaghi (1948) dan Metode Vesic (1973, 1974). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan daya dukung tanah dengan menggunakan beberapa metode tersebut untuk menganalisis daya dukung tanah. Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember tahun 2022. Metodologi penelitian yang diterapkan pada penelitian ini ialah penelitian metode elemen hingga hal yang pertama dilakukan pada penelitian ini ialah pengumpulan data yaitu data primer dan sekunder. Hasil penelitian mendapatkan daya dukung ultimit (Q_p) pondasi tiang tunggal dengan Metode Mayerhof (1976) sebesar 2144.79 kN, Metode Terzaghi (1948) sebesar 2548.6 kN dan Metode Vesic (1973, 1974) sebesar 1092.63 kN. Dari perbandingan hasil perhitungan, nilai daya dukung tiang yang paling baik digunakan adalah perhitungan daya dukung tiang menggunakan metode Terzaghi karena semakin besar daya dukung tanah maka penurunan akan semakin kecil dengan kapasitas ijin tiang lebih besar dari kapasitas ultimit tiang dengan menggunakan nilai faktor aman 2.5.

Kata Kunci: daya dukung tiang, Mayerhof, pondasi, Terzaghi, Vesic

Abstract: The determination of the type of foundation to be used is influenced by several factors, including the depth of the hard soil, the kind of soil on the site, and the load to be carried. There are several methods to gain the support of a theoretical foundation soil such as the Mayerhof Method (1956), Terzaghi (1948) and Vesic Method. (1973, 1974). The study aims to find out the comparison of ground support power by using several of these methods to analyze the ground support strength. The research methodology applied to this research is the study of the method of elements until the first thing done in this study is the collection of data i.e. primary and secondary data. The results of the research yielded the ultimate supporting power (Q_p) of a single pillar foundation with the Mayerhof Method (1976) of 2144.79 kN, the Terzaghi Method (1948) of 2548.6 kN and the Vesic Method (1973, 1974) of 1092.63 kN. From the comparison of the results of the calculation, the best value of the pillar support power is used to calculate the support power of the column using the Terzaghi method because the greater the ground support power, the decrease will be smaller with a column permission capacity greater than the ultimate capacity of the column by applying a safe factor value of 2.5.

Keywords: foundation, strength of support, Mayerhof, Terzaghi, Vesic

PENDAHULUAN

Penentuan jenis pondasi yang akan digunakan dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah kedalaman tanah keras, jenis tanah pada lokasi, dan beban yang akan dipikul oleh pondasi. Jenis tanah lempung (*clay*) dengan tanah keras yang terletak pada kedalaman yang dalam dan apabila beban yang harus dipikul pondasi besar sangat cocok digunakan pondasi tiang pancang sebagai pilihan dalam kontruksi bangunan (Yusti & Fahriani, 2014). Jenis lapisan tanah yang ada di bawahnya yang didapatkan dari data hasil pengujian *Standart Penetration Test* (SPT). Dalam setiap pelaksanaan penyelidikan tanah (*soil investigation*) diperlukan beberapa data teknis, antara lain dengan melakukan investigasi tanah dengan boring, dan pengujian di laboratorium. Pengolahan data SPT untuk mendapatkan hasil yang dijadikan parameter dalam menentukan kapasitas daya dukung pondasi. Apabila lapisan tanah tersebut keras maka daya dukung tanah tersebut cukup kuat untuk menahan beban yang ada, tetapi bila tanah lunak maka diperlukan penanganan khusus agar mempunyai daya dukung yang baik.

Metode untuk mendapatkan daya dukung suatu tanah dasar pondasi selain dari hanya sebagai suatu perkiraan, seperti teori-teori daya dukung dan juga melalui hasil uji lapangan. Secara teoritis, beberapa ahli mekanika tanah mengembangkan metode-metode untuk menganalisis daya dukung tanah khususnya untuk pondasi dalam. Metode-metode tersebut mempunyai anggapan/ asumsi yang berbeda. Daya dukung tanah merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan pondasi beserta struktur di atasnya. Daya dukung tanah yang diharapkan untuk mendukung pondasi adalah daya dukung yang mampu memikul beban struktur, sehingga fondasi mengalami penurunan yang masih berada dalam batas toleransi. (Supriyanto, 2015).

Sebelum dilakukan pengolahan data SPT, menghitung beban bangunan menggunakan metode Tributary area. Dimana Metode Tributary area merupakan cara perhitungan beban bangunan yang di perhitungkan berdasarkan luas area yang ditinjau. Perencanaan awal ditetapkan dengan memperhitungkan beban yang bekerja pada bangunan tersebut. Perhitungan seluruh beban yang bekerja pada struktur atas menggunakan Metode *Tributary area*. Beban yang diperhitungkan dalam perencanaan awal dimensi pondasi tiang pancang yaitu beban vertikal dan beban horizontal berupa beban mati dan beban hidup yang tergabung dalam beban rencana.

Untuk merencanakan struktur pondasi, bagian perencana menerapkan SF (*Safety Factor*) agar dapat menghindari adanya ancaman potensi likuifaksi yang terjadi. Dengan menerapkan asumsi tersebut merupakan dari bagian perencana, bahwa SF yang diterapkan pada perencanaan lebih besar dari SF yang biasa dipakai yaitu, 2-3. Dalam penelitian Dey & Das (2022) menggunakan pondasi tiang pancang yang merupakan salah satu jenis pondasi yang biasanya terbuat dari beton murni atau baja, cara kerja pondasi tiang pancang yaitu dengan adanya perpindahan beban struktur bangunan ke lapisan tanah.

Berdasarkan uraian latar belakang maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mengetahui perbandingan daya dukung tanah dengan menggunakan beberapa metode-metode untuk menganalisis daya dukung tanah. Sesuai dengan persyaratan perencanaan pondasi yaitu jika beban yang didukung pondasi atau beban yang diteruskan pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan daya dukung ijin tanah yang bersangkutan maka kerusakan konstruksi di atas pondasi akan terjadi sehingga agar dapat menghindari adanya ancaman potensi likuifaksi yang terjadi. Dengan menerapkan asumsi tersebut

merupakan dari bagian perencanaan, bahwa SF yang diterapkan pada perencanaan lebih besar dari SF yang biasa dipakai yaitu 2-3.

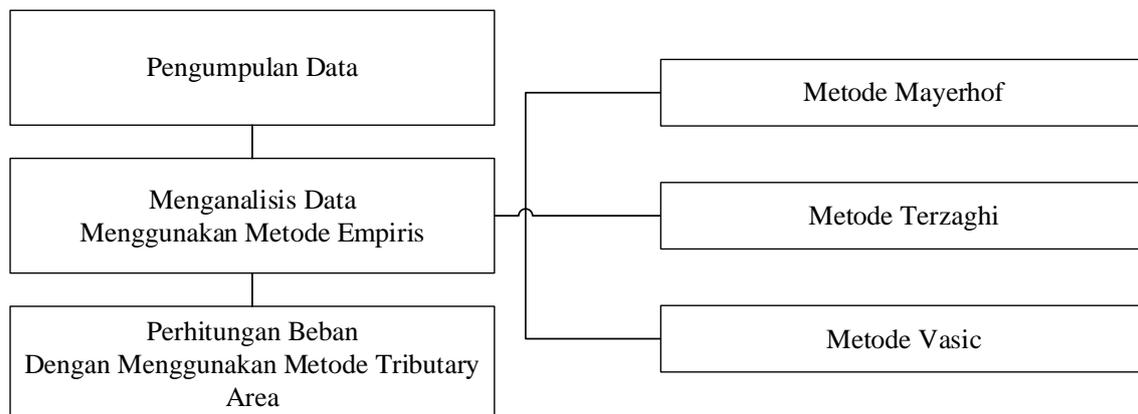
METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang diterapkan pada penelitian ini ialah penelitian metode elemen hingga hal yang pertama dilakukan pada penelitian ini ialah pengumpulan data yaitu data primer dan sekunder yaitu menganalisis daya dukung tanah dengan menggunakan metode-metode Dalam menghitung daya dukung pondasi suatu tiang, dilakukan perhitungan kombinasi pembebanan yang ditinjau dengan cara *Tributary area*. Beban yang dihitung adalah beban tetap dan beban sementara.

Dimana perhitungan pembebanan dengan menghitung beban kombinasi pada satu elemen pondasi tiang pancang yaitu pada titik tinjauan grid (B,03), dengan data umum struktur dari data sekunder *Detail Engineering Design* (DED). Dimensi pondasi tiang pancang yang digunakan adalah $\varnothing 45$ cm dengan luas penampang 285x285 cm, ketebalan 80 cm dan dengan kedalaman 16 m. Dimensi kolom 40x80 cm dengan tinggi kolom pada lantai 1 adalah 7 m dan pada lantai 2-5 adalah 4 m, dimensi balok lantai 1-5 40x75 cm dan tebal plat lantai 4 cm.

Kemudian data tanah yang digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang merupakan data sekunder hasil pengujian pengambilan sampel tanah menggunakan metode SPT yang dilakukan pada tahun 2021. Dengan hasil boring di lokasi penelitian dengan uji SPT dengan kedalaman 0.00-2.00 m dibentuk lapisan tanah lempung bersifat *sand with gravel (soft)*, dengan nilai N-SPT=4, pada kedalaman 20.00 –5.00 m dibentuk lapisan tanah lempung bersifat *clay (soft)*, dari permukaan tanah eksisting dengan nilai N-SPT=5, selanjutnya pada kedalaman 5.00–15.00 m dibentuk oleh tanah lempung bersifat *sand lamination clay (soft)*, dengan nilai N-SPT=26 .Berikut kedalaman 15.00-18.00 m dibentuk oleh lapisan tanah bersifat silt (*stiff*), dengan lapisan tanah keras nilai N-SPT>60 diperoleh pada kedalaman 20.00 m dari muka tanah eksisting (elevasi titik uji), lapisan tanah keras tersebut menerus hingga akhir pemboran dengan lapisan tanah bersifat *stone (hard)*.

Prosedur penelitian perilaku perbandingan daya dukung tiang pancang dengan metode empiris (*standard penetration test*) Mayerhof, terzaghi, dan Vesic dapat diamati pada Gambar 1.



Gambar1. Prosedur kerja

Secara detail, Gambar 1 dapat dijelaskan sebagai berikut: a) Mengumpulkan data sekunder yaitu data hasil pengujian tanah SPT untuk mendapatkan hasil yang dijadikan

parameter dalam menentukan kapasitas daya dukung pondasi; b) Menganalisis daya dukung tanah menggunakan 3 (tiga) metode yaitu metode Mayerhof, metode Terzaghi dan metode Vesic kemudian dilakukan perbandingan antara ketiga metode tersebut; c) Memperhitungkan beban yang bekerja pada bangunan berdasarkan luas area yang ditinjau, beban yang dihitung adalah beban tetap dan beban sementara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya dukung pondasi merupakan beban yang memiliki kemampuan dalam menahan tekanan yang diijinkan bekerja berdasarkan kondisi tanah pada tiang tersebut ditempatkan. Berdasarkan cara mendukung beban, tiang dibagi menjadi 2 macam, yaitu tiang dukung ujung (*end bearing*) dan tiang gesek atau selimut tiang (*friction bearing*). Pada perhitungan daya dukung tiang pancang dengan pendekatan empiris berdasarkan Nilai SPT dengan metode Meyerhof (1956), Meyerhof memberikan formula daya dukung untuk tiang pancang adalah sebagai berikut:

$$Q_u = (40 \times N_b) \times A_p + (0,2 \times N_s) \times A_s \quad (1)$$

dimana,

- Q_u = daya dukung ultimit pondasi tiang pancang (ton)
 N_b = harga N-SPT pada elevasi dasar tiang
 N_s = harga N-SPT rata-rata
 A_p = luas penampang dasar tiang (m²)
 A_s = luas selimut tiang (m²)
 40 = faktor koefisien perlawanan ujung tiang

Tabel 1. Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang

$Q_u = 40 \times N_b \times A_p + N \times A_s$		1020.703 kN
$Q_u < 380 \times N \times A_p$		1707.70 kN
Kapasitas nominal tiang pancang	P_n	1020.70 kN
Faktor reduksi kekuatan	ϕ	0.6
Tahanan aksial tiang pancang	$P_n \times \phi$	612.42 kN

Dari hasil yang diketahui seperti yang tertera pada Tabel 1, kapasitas nominal daya dukung pondasi tiang pancang sebesar 1020.70 kN dengan faktor reduksi kekuatan sebesar 0.60 dan tahanan aksial tiang pancang sebesar 612.42 kN. Daya dukung tiang yang didapatkan dengan hasil dari kombinasi *friction* (gesekan) yang terjadi di selimut tiang serta tahanan aksial. Tahanan *friction* (gesekan) pada selimut tiang pancang, mendominasi ditanam pada tanah lempung seperti pada penelitian ini.

Tabel 2. Daya dukung ujung tiang

Daya dukung ujung tiang pada tanah kohesif			
Q_p	=	$9 \times C_u \times A_p$	= 429.416
A_p	=	Luas Penampang Tiang	= 0.1590
C_u	=	Kohesi Undrained (kN/m ²)	
		$N-SPT \times 2/3 \times 10$	= 300

Berdasarkan Tabel 2, daya dukung pada ujung tiang pada tanah kohesif (lempung) yaitu sebesar 429.416 dengan luas penampang tiang yaitu 0.1590 kemudian jumlah nilai SPT rata-rata di ujung tiang (kira-kira 10 D di atas dengan nilai SPT Sebesar 34 dan 4D di bawah ujung tiang dengan nilai SPT sebesar 45).

Dengan menjumlahkan daya dukung ujung tiang dan tahanan geser dinding tiang. Besarnya daya dukung diijinkan yaitu sebesar 2144.791 kN pada satu tiang. Pada perhitungan daya dukung tiang pancang dengan pendekatan empiris Terzaghi (1948) berdasarkan Nilai SPT, untuk tanah kohesif suatu lapisan tanah dapat dinyatakan lapisan tanah keras apabila memiliki nilai $SPT \geq 35$. Berdasarkan hasil SPT lapisan tanah keras berada pada kedalaman 16 m.

Tabel 3. Tahanan geser selimut tiang pada tanah kohesif Cu

Tahanan geser selimut tiang pada tanah kohesif Cu			
Qs	=	$a \cdot Cu \cdot p \cdot Li$	= 1715.37
a	=	Koefisien adhesi antara tanah dan tiang	= 0.20233
Cu	=	Kohesi <i>Undrained</i> (kN/m ²)	= 300
P	=	Keliling Tiang (m)	= 1.413
Li	=	Panjang Lapisan Tanah	= 20.0
Qall	=	$Qp + Qs$	= 2144.791 kN

$$Qp = Ap \frac{40NL}{D} \leq 400 N \quad (2)$$

dimana,

- Qp = daya dukung
- N = harga N-SPT rata-rata
- Ap = luas penampang dasar tiang (m²)
- L = Panjang tiang
- D = Diameter
- 400 = faktor koefisien perlawanan ujung tiang

Tabel 4. Daya dukung tiang menurut Terzaghi

Daya dukung Tiang menurut Terzaghi	
Nilai SPT rata-rata jarak 10 D	= 4.5 m
Nilai SPT rata-rata jarak 4 D	= 1.8 m
Nilai SPT kedalaman 16 m	= 38
$N = N1 + N2 / 2$	= 28.5
$Ap = 1/4 \pi D^2$	= 0.353 m ²
$Qp = Ap \frac{40NL}{D} \leq 400 N$	= 2548 kN/m ² ≤ 1140 kN/m ²

Berdasarkan Tabel 4, hasil perhitungan daya dukung pondasi dengan menggunakan metode Terzaghi menghasilkan daya dukung sebesar 254.86 kN/m² dimana faktor koefisien perlawanan ujung tanah lebih kecil dari daya dukungnya yaitu 1140 kN/m² sehingga dikatakan aman.

Analisa daya dukung Metode Vesic (1973, 1974), beberapa faktor Vesic itu kurang konservatif daripada faktor-faktor Hansen dan kedua metode tersebut tidak ada yang telah diuji kebenarannya secara luas memakai pengujian-pengujian lapangan berskala penuh, maka harus sangat berhati-hati dalam pemakaiannya.

$$Qp = Ap \times Cu \times Nc' \quad (3)$$

dimana,

- Qp = daya dukung ujung tiang
- Ap = luas penampang dasar tiang (m²)

Cu = Nilai Kohesi
 Nc' = Faktor daya dukung

Tabel 5. Daya dukung tiang menurut Vesic

Daya dukung Tiang menurut Vesic	
Diameter tiang	= 45 cm
Nilai SPT kedalaman 16 m	= 38
Cu	= 228 kN/m ³
ϕ	30°
Nc'	30.14
$A_p = 1/4 \pi D^2$	= 0.159 m ³
$Q_p = A_p \times C_u \times N_{c'}$	= 1092.63 kN

Berdasarkan Tabel 5, hasil perhitungan daya dukung pondasi dengan menggunakan metode Vesic menghasilkan daya dukung sebesar 1092.63 kN.

Dalam menghitung daya dukung pondasi suatu tiang, dilakukan perhitungan kombinasi pembebanan yang ditinjau dengan cara *Tributary area*. Beban yang dihitung adalah beban tetap dan beban sementara. Sehingga didapatkan hasil perhitungan beban yang bekerja pada satu elemen pondasi tiang pancang sebesar 2842.7 kN. Kemudian Dalam penelitian ini menunjukkan daya dukung dari tiang pancang memiliki nilai *Safety factor* (SF) > 3, daya dukung tanah yang diambil merupakan daya dukung yang mendekati dan kurang dari setengah kapasitas tiang sesuai dari hasil kontrol P ijin > P rencana.

Tabel 6. Kapasitas ultimit tiang dan kapasitas ijin tiang

Metode	Qp (kN)	Faktor Aman	P rencana	P ijin
Mayerhof	2144.79	2.5	2842.7	5361.975
Terzaghi	2548.6	2.5	2842.7	6371.5
Vesic	1092.63	2.5	2842.7	2731.575

Berdasarkan Tabel 6, menunjukkan kapasitas ijin tiang lebih besar dari kapasitas ultimit tiang dengan faktor aman 2.5 sehingga walaupun beban rencana mengalami peningkatan sebesar 2.5 kali lipat, pondasi tiang pancang masih mampu menahan beban tersebut. Peningkatan beban bangunan bisa didapatkan dari beban hidup maupun beban mati pada masa layanan bangunan tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis secara manual, perbandingan daya dukung tiang yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa daya dukung ultimit (Qp) pondasi tiang tunggal dengan Metode Mayerhof (1976) adalah 2144.79 kN kemudian hasil daya dukung ultimit (Qp) pondasi tiang tunggal dengan Metode Terzaghi (1948) adalah 2548.6 kN dan daya dukung ultimit (Qp) pondasi tiang tunggal dengan Metode Vesic (1973, 1974) adalah 1092.63 kN. Hasil perhitungan daya dukung tiang terdapat perbedaan nilai yang cukup signifikan sehingga dapat disimpulkan daya dukung tiang yang paling baik digunakan adalah daya dukung tiang dengan hasil perhitungan Metode Terzaghi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, L. G., & Surahman, M. (2016). Analisis daya dukung tiang pancang menggunakan data insitu test, parameter laboratorium terhadap *loading test Kantledge*. *Jurnal Konstruksia*, 7(2), 65–74.
- Chairullah, B. (2016). Analisa daya dukung pondasi dengan metoda SPT, CPT, dan Meyerhof pada lokasi rencana konstruksi PLTU Nagan Raya Provinsi Aceh. *Teras Jurnal*, 3(1), 15–24. <https://doi.org/10.29103/tj.v3i1.43>.

- Dey, Y., & Das, S. (2022). Settlement analysis of pile foundation using plaxis 3D. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 7(1), 211–216. <https://doi.org/10.33564/ijeast.2022.v07i01.034>.
- Fahriani, F., & Apriyanti, Y. (2015). Analisis daya dukung tanah dan penurunan pondasi pada daerah pesisir pantai utara Kabupaten Bangka. *Jurnal Fropil*, 3(2), 89–95.
- Faiz, I. N. (2022). Analisis Stabilitas dan Penurunan Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan Dengan Menggunkan Timbunan Pilihan Pada Oprit Jembatan. [Skripsi]. Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia.
- Haffsah, A. N., Sulistyono, T., Made, D., & Kartika, R. (2021). Perbandingan perhitungan daya dukung tiang pancang dengan metode empiris (*Standard Penetration Test*) dan metode uji beban statik pada proyek pabrik ammonium nitrate PT . Kaltim Amonium Nitrat Bontang. *JUTATEKS*, 6(1), 72-81. <https://doi.org/10.32487/jutateks.v5i2.360>.
- Husnah, H. (2015). Analisa daya dukung pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan pondasi *tissue block* 5 & 6. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 15–25. <https://doi.org/10.31849/siklus.v1i1.125>.
- Martini, M. (2004). Analisis daya dukung tanah pondasi dangkal dengan beberapa metode. *MEKTEK*, 9(2), 75-87.
- Muhshin, M. M., & Putra, A. I. (2021). Pemetaan penurunan elastis fondasi tiang berdasarkan data sondir Kota Pekanbaru. *Indonesian Journal of Civil Engineering Education*, 6(1), 34-49. <https://doi.org/10.20961/ijcee.v6i1.53689>.
- Rachman, D. N., Riwayati, R. S., & Hidayat, A. (2022). Aplikasi program plaxis 2D untuk menghitung *safety factor* kekuatan tebing Sungai Sekanak sepanjang 240 m dengan menggunakan *sheet pile*. *Jurnal Deformasi*, 7(1), 46-55. <https://doi.org/10.31851/deformasi.v7i1.7941>.
- Santoso, H. T., & Hartono, J. (2020). Analisis perbandingan daya dukung pondasi tiang pancang berdasar hasil uji SPT dan pengujian dinamis. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 4(1), 31-38. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v4i1.44635>.
- Supriyanto, S. (2015). Analisa daya dukung tanah berdasar data: Sondir, N_{SPT} dan laboratorium (Studi kasus di BTN Hamzy Makassar). *Jurnal KaLIBRASI - Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri*, 5(1), 105–114. <https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v5i1.975>.
- Yusti, A., & Fahriani, F. (2014). Analisis daya dukung pondasi tiang pancang diverifikasi dengan hasil uji *pile driving analyzer test* dan CAPWAP. *Jurnal Fropil*, 2(1), 19–31.