

## Analisis Daya Dukung Statik Fondasi Tiang Dari Data CPT

Abdul Jalil<sup>1</sup>, Ismi Laila Lubis<sup>2</sup>, Said Jalalul Akbar<sup>3</sup>, Nanda Savira Ersa<sup>4</sup>, Mila Fauzia<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe,  
Email: [abduljalil@unimal.ac.id](mailto:abduljalil@unimal.ac.id)<sup>1</sup>, [ismilaila@gmail.com](mailto:ismilaila@gmail.com), [saidjalal@unimal.ac.id](mailto:saidjalal@unimal.ac.id)<sup>2</sup>

(Received: 11 Oktober 2023 / Revised: 28 Oktober 2023 / Accepted: 02 November 2023)

### Abstrak

Analisis daya dukung tiang pancang merupakan tugas penting dalam penyelidikan struktur tanah interaksi. Makalah ini didedikasikan untuk metode prediksi perhitungan kapasitas dukung tiang berdasarkan hasil uji penetrasi kerucut (CPTu) yaitu metode metode (Schmertmann dkk, 1978), (de Ruyter dan Beringen, 1979), (Bustamante dan Gianceselli (LCPC/LPC), 1982), (Tumay dan Fakhroo (cone-m), 1982), (Aoki dan De Alencar, 1975), (Price dan Wardle, 1982), (Philipponnat, 1980), dan (penpile, 1978). Kemampuan metode prediksi untuk menentukan daya dukung tiang. Hasil penelitian ini menunjukkan kemampuan metode CPT dalam memprediksi ultimat daya dukung beban tiang yang didorong ke tanah. de Ruyter dan Beringen dan Metode Bustamante dan Gianceselli (LCPC/LCP) menunjukkan kinerja terbaik dalam memprediksi daya dukung beban ultimat yang diukur dari tiang pancang. Metode Schmertmann ini menunjukkan hasil yang baik dan direkomendasikan untuk diterapkan karena merupakan salah satu metode metode CPT yang paling banyak digunakan.

Kata kunci: *daya dukung, tiang pancang, cpt,*

### Abstract

Analysis of the bearing capacity of piles is an important task in the investigation of soil structure interactions. This paper is dedicated to the prediction method for calculating the bearing capacity of piles based on the results of the cone penetration test (CPTu), namely the method (Schmertmann et al, 1978), (de Ruyter and Beringen, 1979), (Bustamante and Gianceselli (LCPC/LPC), 1982), (Tumay and Fakhroo (cone-m), 1982), (Aoki and De Alencar, 1975), (Price and Wardle, 1982), (Philipponnat, 1980), and (penpile, 1978). The ability of prediction methods to determine the bearing capacity of piles. The results of this research demonstrate the ability of the CPT method to predict the ultimate load-carrying capacity of piles driven into the ground. de Ruyter and Beringen and Bustamante and Gianceselli (LCPC/LCP) methods showed the best performance in predicting the measured ultimate load carrying capacity of piles. The Schmertmann method shows good results and is recommended to be applied because it is one of the most widely used CPT methods.

Keywords: *pile, bearing capacity, cpt, soil, end bearing*

### 1. Latar Belakang

Tiang pancang merupakan bagian pondasi struktural yang relatif panjang dan umumnya ramping yang mentransmisikan beban superstruktur pada lapisan tanah dalam. Dalam teknik geoteknik, tiang pancang biasanya berfungsi sebagai pondasi bila kondisi tanah tidak sesuai untuk penggunaan pondasi dangkal. Selain itu, tiang

pancang memiliki aplikasi lain dalam penggalian dalam dan stabilitas lereng. Seperti yang disajikan dalam literatur, tiang pancang diklasifikasikan menurut: sifat penyangga beban (gesekan dan tiang penyangga ujung), sifat perpindahan (perpindahan penuh, perpindahan sebagian, dan *pile* non-perpindahan), dan komposisi tiang pancang (tiang pancang kayu, beton, baja, dan komposit).

## 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode (Schmertmann dkk, 1978), (de Ruiter dan Beringen, 1979), (Bustamante dan Gianceselli (LCPC/LPC), 1982), (Tumay dan Fakhroo (*cone-m*), 1982), (Aoki dan De Alencar, 1975), (Price dan Wardle, 1982), (Philipponnat, 1980), dan (penpile, 1978). Prosedur analisis masing-masing metode ditunjukkan dalam Tabel 1.

Daya dukung aksial ultimit tiang ( $Q_u$ ) yang terdiri atas daya dukung ujung tiang ( $Q_p$ ) dan daya dukung friksi selimut tiang ( $Q_s$ ). Persamaan daya dukung ultimit dinyatakan dengan persamaan (1).

$$Q_u = Q_p + Q_s = q_t A_p + f A_s \quad (1)$$

dimana  $q_t$  adalah unit daya dukung ujung, pada penampang ujung tiang,  $f$  adalah unit friksi selimut tiang, dan  $A_s$  adalah area dari keliling tiang. Pada tanah pasir, daya dukung ujung tiang dominan ( $Q_p$ ), sementara pada tanah lempung lunak, dominan daya dukung friksi keliling tiang ( $Q_s$ ). Daya dukung ijin tiang ( $Q_{all}$ ) dapat dihitung dengan persamaan (2):

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} \quad (2)$$

di mana  $Q_u$  = daya dukung ultimit dan  
FS = angka keamanan.

Table 1 Ringkasan Prosedur desain tiang dengan data CPT

| CPT methods                   | prediction | $q_p$ (unit end bearing capacity)  | $f_p$ (unit shaft friction)  | References                        |
|-------------------------------|------------|--|--|-----------------------------------|
| Schmertmann (1978)            |            | $q_p = (q_{c1} + q_{c2}) / 2 \leq 15 \text{ mpa}$<br>$q_c$ : minimum of the average of $q_c$ values of zones ranging from 0.7 to 4D below tip. D: pile diameter.<br>$q_{c2}$ : average minimum $q_c$ values 8D above the cone tip.<br>$q_p = C_{ocr} q_{ca}$<br>$C_{ocr}$ is the correlation coefficient governed by the OCR of the soil: $q_{ca}$ is the arithmetic average of $q_c$ in an influence zone | In clay $f_p = kcfc \leq 120 \text{ kpa}$ , $kc = 0.2 - 1.25$<br>In sand: $q_s = k \left[ \sum_{z=0}^{z_{gd}} \frac{d}{z} f_{s1} + \sum_{k=0}^n f_{s2} \right]$  | Schmertmann (1978)                |
| Nottingham (1975)             |            | In clay: $q_p = N_c \leq 15 \text{ MPA}$ , $S_u = q_{ca} / N_k$ , $N_c = 9$ , $N_k = 15 - 20$<br>In sand: similar to schmertmann (1978)  | $f_p = K f_s$<br>K is a dimensionless coefficient and depends on pile shape and material, cone type, and embedment ratio. In sand, the K value ranges from 0.8 to 2.0, and in clay it ranges from 0.2 to 1.25. | Nottingham (1975)                 |
| De ruiter and beringen (1779) |            | In clay : $q_p = N_c \leq 15 \text{ MPa}$ , $S_u = q_{ca} / N_k$ , $N_c = 9$ , $N_k = 15 - 20$<br>In sand : similar to schmertmann (1978).   | In clay: $f_p = \alpha S_u \leq 120 \text{ kPa}$ , $\alpha = 1$ for NC clay and 0.5 for OC clay<br>In sand : $f_p = \min \left[ \frac{f_s}{2}, \frac{q_p}{10} \right]$   | De Ruiter and Berigen (1979)      |
| Lepc                          |            | $q_p = k_{s1} q_{eq}$ (tip), $K_{s1} = 0.15 - 0.60$ depending on soils type and installation procedure ; $q_{eq}$ : equivalent average of $q_c$ values of zone ranging from 1.5D below pile tipe to 1.5D above pile tip.   | $F_p = q_{eq}$ (side) / $k_{s1}$ , $k_{s1} = 30 - 150$ depending soil type, pile type and installation procedure   | Bustamante and Gianceselli (1982) |
| Mayerhof method               |            | In sand : $q_p = q_{ca} c_1, c_2, c_1$ and $c_2$ and two modification factor, $q_{ca}$ is the arithmetic average of $q_c$ in a zone ranging from 4D above to 1D below the pile tip.  | $F_p = K f_s$ , $K = 1.0$ or $F_p = C_{ocr} q_{ca}$ , $C_{ocr} = 0.5\%$ .  | Meyerhoff (1956, 1976, 1983).     |
| Tumay and fakhroo             |            | similar to schmertmann (1978).   | $F_p = m f_{ca} \leq 72 \text{ kPa}$ , $m = 0.5 + 9.5 \exp(-0.09 f_{ca})$ , $f_{ca}$ : average sleeve friction (kPa).  | Tumay and Fakroo (1982)           |
| Aoki and de wardle (1082)     |            | $q_p = q_{ca}$ (tip) / $f_s$ depends on pile type = 1,75 for PPC driven piles.   | $F_p = q_{ca}$ (side) / $f_{s2} \leq 120 \text{ kPa}$ , $\alpha_1 = 1.4 - 6$ depend on soil type, $f_{s2}$ depends on pile type = 3.5 for PPC driven piles.  | Aoki and De Alencar (1975)        |

|                         |  |  |                              |
|-------------------------|--|--|------------------------------|
| Price and wardle (1982) | $q_p = k_{b3} q_{ca}$ (tip), $k_{b3}$ depends on pile type = 0.35 for driven piles.                    | $f_p = \alpha_2 f_s$ , $\alpha_2$ depends on pile type = 0.53 for driven piles.  | Prince and De Alencar (1975) |
| Philipponnat (1980)     | $Q_p = k_{b3} q_{ca}$ (tip), $k_{b3}$ depends on soil type = 0.4 for sand, 0.45 for silt, 0.5 for clay | $f_p = q_{ca}$ (side) $\alpha_3/f_{s2}$ , $\alpha_3$ depends on pile type = 1.25 for PPC driven piles ; $f_{s2} = 50 - 200$ depend on soil type. | Philipponnat (1980)          |
| penpile                 | $Q_p = 0.25 q_{ca}$ (tip) for pile tip in clay<br>$Q_p = 0.0125 q_{ca}$ (tip) for pile tip in sand     | $f_p = \frac{f_s}{1.5 + 14.47 f_s}$ , $f_p$ and $f_s$ (MPa).   | Clisby et al. (1978)         |

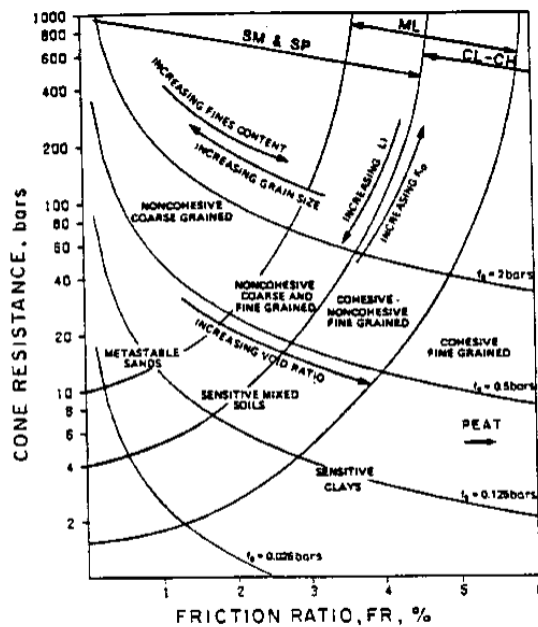
Data CPT untuk prediksi dukung ujung tiang ( $Q_p$ ) dengan parameter tahanan konus (kerucut) ( $q_c$ ). Nilai tahanan ujung kerucut di rata-rata pada zona pengaruh yang diasumsikan. Tahanan selimut (f) dari gesekan batang CPT (*sleeve*) yang diukur ( $f_s$ ). Kerucut penetrasi piezoelektrik yang digunakan dalam penelitian ini dan prinsip pengukuran tekanan air pori ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Cone penetration piezoelectric test, (a) konus CPT (b) Skema pengukuran tekanan air pori pada penampang:  $A_a$ ,  $A_b$ ,  $A_c$ ,  $A_s$  (Mihálik et al., 2023).

### 2.1 Klasifikasi Tanah dengan data CPT

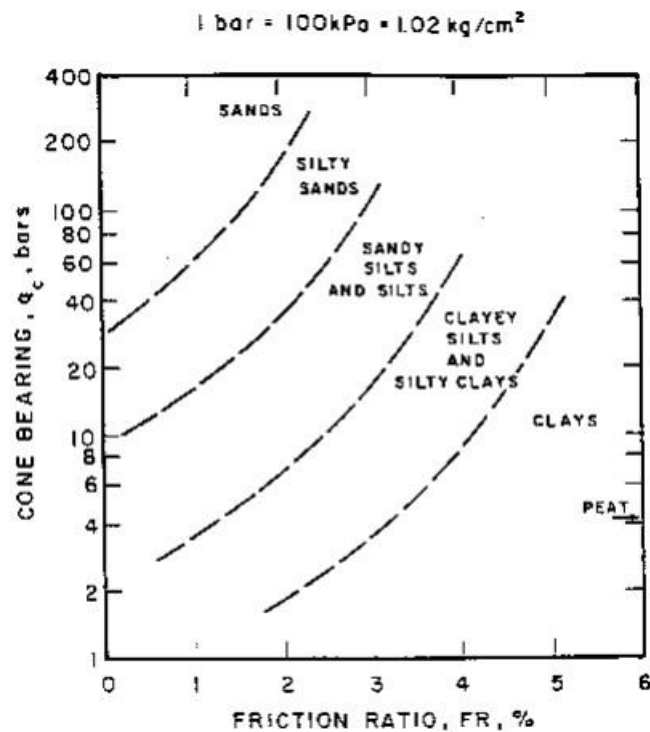
Uji penetrasi kerucut adalah salah satu alat untuk karakterisasi situs di lapangan. Hasil analisis data data CPT digunakan untuk menentukan klasifikasi tanah dan identifikasi stratigrafi tanah.



$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} \approx 1 \text{ kg/cm}^2$$

Gambar 2 Kurva klasifikasi untuk CPTu (Douglas and Olsen+)

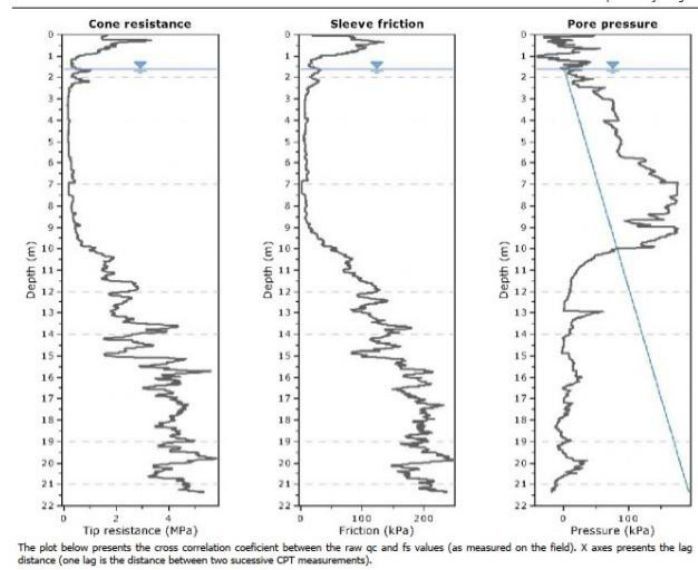
Tanah lempung biasanya menunjukkan ketahanan ujung kerucut yang rendah, gesekan selimut yang tinggi sehingga rasio gesekan yang tinggi, sedangkan tanah pasir menunjukkan ketahanan ujung kerucut yang tinggi, gesekan selimut yang rendah, dan rasio gesekan yang rendah. Mengidentifikasi klasifikasi tanah dari data CPT kurva klasifikasi. Klasifikasi tanah grafik oleh (Douglas dan Olsen, 1981) dan (Robertson dan Campanella, 1984) ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Zhang dan Tumay mengusulkan metode estimasi wilayah probabilistik untuk klasifikasi tanah [16]. Metode ini mirip dengan metode klasifikasi tanah klasik dimana hal ini didasarkan pada komposisi tanah. Metode ini mengidentifikasi tiga jenis tanah: lempung, berlanau, dan tanah berpasir. Estimasi wilayah probabilistik menentukan probabilitas setiap penyusun tanah (tanah lempung, lanau, dan pasir) pada kedalaman tertentu. Profil tanah yang khas diperoleh dari wilayah probabilistik estimasi ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3 Kurva *Simplified classification* oleh Robertson dan Campanella untuk CPTu

### 3. Hasil dan Pembahasan

*Probe* CPTu direalisasikan pada fondasi tiang. Catatan ketahanan penetrasi kerucut ( $q_c$ ), gesekan selimut tiang ( $f_s$ ), dan tekanan air pori ( $u_2$ ) diplot pada Gambar 5. Menurut evaluasi lubang bor dan tiang pancang laporan manufaktur, profil geologi ditambahkan ke grafik CPTu bersama dengan posisi vertikal sebenarnya dari tiang yang sesuai.



Gambar 4 Data uji CPTu

Analisis fondasi tiang pancang diidentifikasi sebagai tiang dengan daya dukung ujung dan friksi. Metode-metode yang digunakan untuk prediksi daya dukung ultimit tiang adalah Schmertmann, de Ruiter dan Beringen, Bustamante dan Gianceselli, Tumay dan Fakhroo, Aoki dan de Alencar, Price dan Wardle, Philipponnat, dan penpile. Kapasitas beban ultimit tiang juga diprediksi dari sifat-sifat tanah dengan menggunakan metode statis. Daya dukung beban ultimit yang diprediksi dengan metode ini ( $Q_p$ ) dan  $Q_s$ . Tabel 3 merangkum hasil analisis yang dilakukan pada tiang pancang.

Data yang disajikan pada Tabel 3 antara lain: ukuran tiang, jenis, panjang, , dan daya dukung beban ultimit yang perkiraan.

Perkiraan daya dukung beban ultimit ( $Q_u$ ) terdiri dari kapasitas ujung tiang ( $Q_p$ ) dan daya dukung selimut tiang ( $Q_s$ ). Kapasitas tiang pancang  $Q_u$ ,  $Q_s$ , dan  $Q_p$  diprediksi dengan metode CPT.

Tabel 3. Hasil analisis pada fondasi tiang pancang

|  | Beban Ultimit (ton)  | $Q_s$ | $Q_p$ | $Q_u$  |
|--|----------------------|-------|-------|--------|
| Metode<br>Prediksi daya<br>dukung tiang<br>Dengan<br>Cone<br>Penetration<br>Test | Schmertmann          | 201.5 | 69.9  | 271.4  |
|  | de Ruiter & Beringen | 231.7 | 41.6  | 273.3  |
|  | LCPC                 | 214.8 | 78.1  | 292.9  |
|  | Tumay & Fakhroo      | 242.3 | 148.5 | 390.8  |
|  | Aoki & De Alencar    | 158.6 | 100.1 | 258.7  |
|  | Price & Wardle       | 137.1 | 48.4  | 185.5  |
|  | Philipponnat         | 244.5 | 64.5  | 309.0  |
|  | Penpile              | 117.8 | 30.9  | 148.7  |
| Analisis Statik  | Metode DOTD          | 365.3 | 653.8 | 1019.1 |

## **4. Kesimpulan dan Saran**

### **4.1 Kesimpulan**

Penelitian ini menyajikan evaluasi kinerja delapan metode CPT dalam memprediksi daya dukung beban ultimat dari tiang pancang beton pratekan yang dipancang ke dalam tanah. Prediksi kapasitas tiang pancang dilakukan pada tiang Tunggal. Berdasarkan hasil penelitian ini, de Ruiter dan Beringen serta Bustamante dan Gianeselli metode (LCPC/LCP) menunjukkan kemampuan terbaik dalam memprediksi beban yang diukur kapasitas tiang yang didorong ke dalam tanah. Kedua metode CPT ini menunjukkan hasil yang lebih baik kinerja dibandingkan "-metode yang digunakan saat ini. Analisis biaya/manfaat menunjukkan bahwa menggunakan CPT metode desain/analisis tiang pancang akan menghemat biaya desain awal dan juga biayanya biaya tiang pancang.

### **4.2 Saran**

Pembaca dapat melanjutkan penelitian ini dengan menggunakan data hasil uji tes tiang di lapangan sebagai pembanding untuk prediksi daya dukung. Data uji CPT hendaknya digunakan jumlah tiang yang banyak sehingga memberikan argument yang luas terkait daya dukung dan keandalan fondasi tiang.

## **Daftar Kepustakaan**

- Schmertmann, J.H. Guidelines for Cone Penetration Test, Performance and Design. U.S. Department of Transportation, Report No. FHWA-TS-78-209, Washington, D.C., 1978, p.145.
- de Ruiter, J., and F.L. Beringen. Pile Foundations for Large North Sea Structures. Marine Geotechnology, Vol. 3, No. 3, 1979, pp. 267-314.
- Bustamante, M., and L. Gianeeselli. Pile Bearing Capacity Predictions by Means of Static Penetrometer CPT. Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-II, Amsterdam, Vol. 2, 1982, pp. 493-500.
- Tumay, M.T., and Fakhroo, M. Friction Pile Capacity Prediction in Cohesive Soils Using Electric Quasi-Static Penetration Tests. Interim Research Report No. 1, Louisiana Department of Transportation and Development, Research and Development Section, Baton Rouge, LA, 1982, 275 p.
- Aoki, N. and de Alencar, D. An Approximate Method to Estimate the Bearing Capacity of Piles, Proceedings, the 5th Pan-American Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Buenos Aires, Vol. 1, 1975, pp. 367-376.
- Price, G. and Wardle, I.F. A Comparison Between Cone Penetration Test Results and the Performance of Small Diameter Instrumented Piles in Stiff Clay, Proceedings, the 2<sup>nd</sup> European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, 1982, Vol. 2, pp. 775-780.
- Philipponnat, G. Methode Pratique de Calcul d'un Pieu Isole a l'aide du Penetrometre Statique. Revue Francaise de Geotechnique, 1980, 10, pp. 55-64.

- Clisby, M.B., Scholtes, R.M., Corey, M.W., Cole, H.A., Teng, P., and Webb, J.D. An Evaluation of Pile Bearing Capacities, Volume I, Final Report, Mississippi State Highway Department, 1978.
- Mihálik, J.; Gago, F.; Vlček, J.; Drusa, M. Evaluation of Methods Based on CPTu Testing for Prediction of the Bearing Capacity of CFA Piles. *Appl. Sci.* 2023, 13, 2931. <https://doi.org/10.3390/app13052931>
- Douglas, J.B. and Olsen, R.S. Soil Classification Using Electric Cone Penetrometer, Symposium on Cone Penetration Testing and Experience, Geotechnical Engineering Division, ASCE, St. Louis, 1981, pp. 209-227.
- Robertson, P.K. and Campanella, R.G. Guidelines for Use and Interpretation of the Electric Cone Penetration Test, Hogentogler & Company, Inc., Gaithersburg, MD, Second Edition, 1984, p. 175.