

BAB 3 LANDASAN TEORI

3.1 Mekanisme Pondasi Tiang Konvensional

Pondasi tiang merupakan struktur yang berfungsi untuk mentransfer beban di atas permukaan tanah ke lapisan bawah di dalam massa tanah. Bentuk transfer beban ke lapisan tanah berupa, pertama, penyebaran beban pada seluruh permukaan pondasi tiang dan kedua, melalui titik ujung pondasi tiang. Penyebaran beban menggunakan cara lekatan (*friction*) pada permukaan kulit pondasi disebut pondasi tiang tipe *floating*, sedangkan transfer beban melalui titik ujung tiang disebut pondasi tiang tipe *end-bearing*. Pada kondisi umum, pondasi tiang mempunyai kekuatan merupakan gabungan lekatan (*friction*) dengan ujung tiang (*end-bearing*), kecuali apabila pondasi tiang ditanamkan pada lapisan tanah yang mempunyai perbedaan ekstrim, dari lapisan tanah sangat lunak sampai keras.

Secara umum kapasitas pondasi tiang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$P_u = P_{pu} + \sum P_{si} \quad \text{untuk kondisi tekan} \quad 3-1a$$

$$P_u = P_p + \sum P_{si,u} \quad \text{untuk kondisi tekan} \quad 3-1b$$

$$T_u = \sum P_{si,u} + W_p \quad \text{untuk kondisi tarik} \quad 3-2$$

Keterangan

P_u = kapasitas pondasi tiang batas (*ultimate*) kondisi tekan

T_u = kapasitas pondasi tiang batas kondisi tarik

P_{pu} = kapasitas batas ujung pondasi tiang, jarang terjadi bekerja bersama dengan kekuatan batas gesek permukaan pondasi tiang (*skin resistance*), $\sum P_{si,u}$. Untuk pondasi tiang tipe *floating*, kekuatan ujung tiang diabaikan.

P_p = kekuatan ujung tiang yang bekerja secara bersamaan dengan $\sum P_{si,u}$

$\sum P_{si}$ = kekuatan gesek yang bekerja bersama dengan kekuatan batas ujung tiang, P_{pu} .

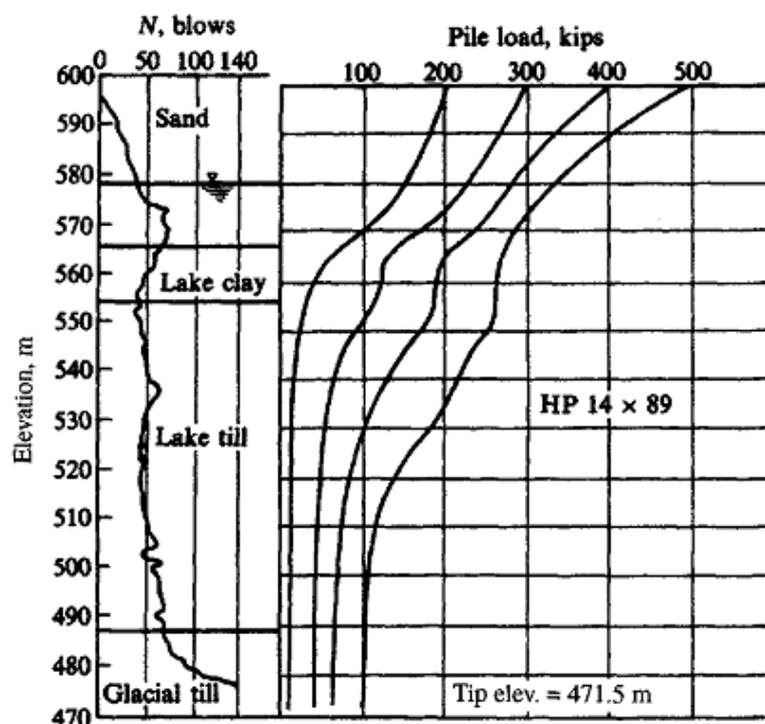
$\sum P_{si,u}$ = kekuatan batas gesek pondasi tiang, yang bekerja bersama dengan kapasitas ujung tiang, P_p .

W = berat sendiri pondasi tiang

Sesuai Persamaan 3-1 menunjukkan bahwa kekuatan batas pondasi tiang P_u bukan merupakan penjumlahan kekuatan batas gesekan dan kekuatan batas ujung tiang. Kekuatan

batas pondasi tiang P_u merupakan penjumlahan dari salah satu atau sebagian kekuatan gesek pondasi dan ujung tiang.

Kekuatan batas gesek dihasilkan oleh slip antara pondasi tiang dengan tanah, dimana slip terjadi pada setiap titik sepanjang pondasi tiang sebagai akumulasi perbedaan regangan permukaan pondasi dengan regangan tanah. Apabila beban diberikan pada pondasi tiang, slip mencapai nilai batas (ultimate) kekuatan gesek. Selanjutnya beban ditransfer ke bagian permukaan pondasi di bawahnya, apabila bagian tersebut telah mencapai nilai batas, beban akan ditransfer ke bagian permukaan pondasi di bawahnya, seperti seterusnyasampai mencapai ujung tiang. Seketika itu juga ujung tiang akan menerima beban, seperti tampak pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1. Kurve transfer beban pada pondasi tiang (Bowles, 1999)

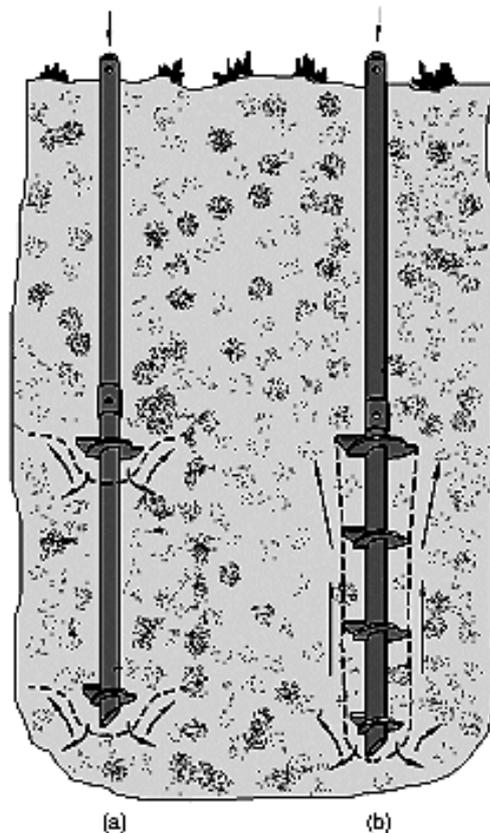
Pada tanah gambut, dimana tanah gambut mempunyai kekuatan geser tanah yang relatif kecil. Kondisi ini akan menghasilkan kekuatan gesek dan kekuatan ujung tiang relatif kecil pada pondasi tiang. Kondisi ini membuat daya dukung ujung tiang menjadi kecil. Terdapat dua cara untuk meningkatkan daya dukung pondasi tiang, yaitu meningkatkan luas penampang pondasi tiang dan memperbesar gaya gesek antara permukaan pondasi tiang dengan lapisan tanah. Pada penelitian ini dilakukan studi mengenai perluasan luas penampang

dasar pondasi dengan menambah plat helical. Sedangkan untuk meningkatkan gesekan antara pondasi dilakukan pemasangan beberapa plat helical di sepanjang titik pada pondasi tiang.

3.2 Mekanisme Pondasi Tiang Helical

Sesuai Perko (2009), terdapat dua metode untuk menentukan daya dukung didasarkan teori mekanika tanah, yaitu *individual bearing* dan *cylindrical shear*. Apabila jarak antar plat *helix* sangat besar, setiap plat helical dapat bertindak secara sendiri sendiri (*independently*). Jadi daya dukung tumpuan (*bearing*) pile helical merupakan penjumlahan kapasitas individu plat *helix*. Mekanisme ini disebut metode *individual bearing*, seperti yang ditampilkan pada **Gambar 3.2a**.

Namun apabila jarak antar plat *helix* relatif kecil, seperti tampak pada **Gambar 3.2b**, maka mekanisme akan berbeda, yaitu semua plat bearing helix akan bekerja bersama-sama. Jadi, pada kasus kapasitas daya dukung pondasi tiang helical merupakan gabungan antara bearing pada dasar plat helix dan gaya gesek sepanjang silinder tanah antar plat helix. Mekanisme ini disebut metode *cylindrical shear*.



Gambar 3. 2 Metode *Individual Bearing* (a) dan Metode *Cylindrical Shear* (b) (Berko, 2009)

3.2.1 Metode *Individual Bearing*

Mekanisme keruntuhan metode *individual bearing* diasumsikan bahwa pada setiap plat helical bearing mengalami penurunan seperti karakter mode keruntuhan daya dukung pondasi tiang. Distribusi tegangan seragam terjadi di bawah setiap plat helical bearing. Sedangkan tegangan gesek antara pondasi dengan tanah terjadi di sepanjang pondasi tiang. Daya dukung batas, P_u , pondasi tiang helical adalah penjumlahan kapasitas dukung setiap plat helix ditambah dengan gaya adhesi pada permukaan pondasi tiang, dirumuskan sebagai berikut:

$$P_u = \sum_n q_{ult} A_n + \alpha H (\pi d) \quad 3-3$$

Keterangan:

- q_{ult} = daya dukung batas tanah di bawah plat helix
- A_n = luas plat *helical* ke n
- α = adhesi antara tanah dengan permukaan tiang. Nilai α diambil dari sudut geser antara material pondasi tiang dengan material lapisan tanah. Pada pengujian ini diambil dari Navfac 7.1 (1971).
- H = panjang pondasi tiang, dihitung dari plat helix teratas sampai ke permukaan tanah
- d = diameter lingkaran di sekeliling shaft (diameter pondasi tiang tanpa helical)

Daya dukung batas tanah dapat ditentukan menggunakan perumusan Meyerhof (1951), yaitu:

$$q_{ult} = c N_c s_c d_c + q N_q s_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad 3-4$$

Keterangan

- C = kohesi
- q' = tegangan efektif overburden pada kedalaman plat helical
- γ = berat volume tanah
- B = lebar pondasi
- N_c, N_γ, N_q = faktor daya dukung
- s_c, s_q dan s_γ = faktor bentuk
- d_c, d_q dan d_γ = faktor kedalaman

Persamaan 3-4 dapat digunakan untuk plat bearing pondasi helical dengan mengambil lebar pondasi B menjadi lebar plat helical, D . Persamaan dapat disederhanakan menjadi:

$$q_{ult} = c N'_c + q (N'_q - 1) + 0,5 \gamma D N'_\gamma \quad 3-5$$

Pada tanah berbutir halus, dimana sudut geser internal, $\phi = 0$, maka $N'c \approx 10$. Skempton (1951) membuktikan bahwa $N'c = 9$ untuk pondasi dalam, sedangkan $N'q = 1$ dan $N'\gamma = 0$. Untuk pondasi helical, nilai kohesi tanah bisa diambil sebagai kuat geser undrained, c_u . Jadi, daya dukung batas untuk tanah berbutir halus sesuai Skempton adalah:

$$q_{ult} = 9c_u \quad 3-6$$

3.2.2 Metode *Cylindrical Shear*

Kapasitas daya dukung batas pondasi tiang helical didasarkan pada teori cylindrical shear merupakan penjumlahan tegangan geser sepanjang silinder, gaya adhesi sepanjang shaft. Jadi dapat dirumuskan sebagai:

$$P_u = q_{ult} A_1 + T(n-1)s\pi D_{avg} + \alpha H(\pi D) \quad 3-7$$

Keterangan:

- A_1 = luas plat helix terbawah
- T = Kuat geser tanah
- H = panjang shaft pondasi, dihitung dari plat helix teratas sampai ke permukaan tanah.
- d = diameter pondasi tiang (*diameter of the pile shaft*)
- D_{avg} = diameter rata-rata plat helix
- $(n-1)s$ = panjang tanah diantara plat helical
- n = jumlah plat helical
- s = jarak antar plat helical

Untuk tanah berbutir halus, kuat geser tanah, T , diambil sebagai kuat geser *undrained*, c_u .

3.3 Interpretasi Hasil Pengujian

Terdapat beberapa metode yang dapat di gunakan untuk menginterpretasikan daya dukung tekan pondasi dengan menggunakan hasil pengujian pembebanan secara langsung. Dalam penelitian ini, di gunakan metode Chin dan metode Mazurkiewicz.

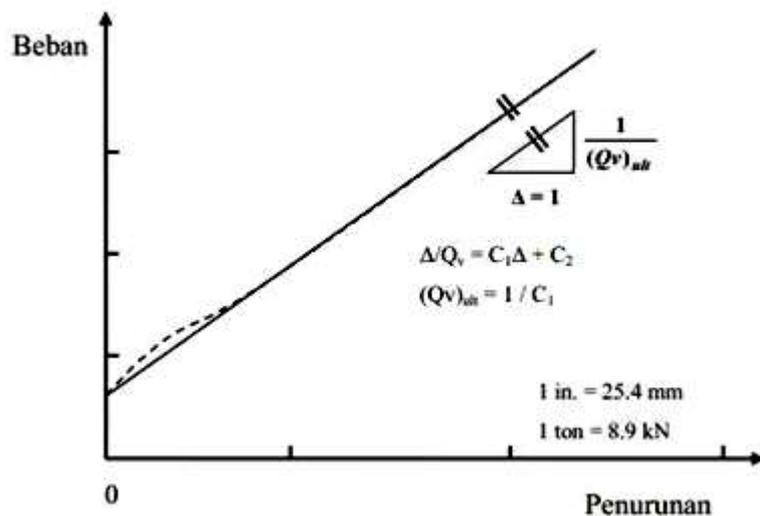
3.3.1 Metode Chin F.k (1971)

Metode Chin didasari anggapan bahwa bentuk grafik hubungan pembebanan dengan penurunan adalah hyperbola. Meskipun uji beban belum dilakukan hingga batas beban kegagalan, dengan anggapan grafik tersebut, maka beban kegagalan dapat di perkirakan.

Grafik hubungan pembebanan dengan penurunan di gambarkan dengan bentuk S/Q (penetrasi/beban) sebagai sumbu tegak dan S (penetrasi atau penurunan) sebagai sumbu datar, sehingga grafik kurva berbentuk hyperbola menjadi garis lurus seperti pada **Gambar 3.3**.

Setelah melakukan pengujian daya dukung pondasi dengan metode beban statis prosedur CRP, maka akan didapatkan grafik berupa beban vs penurunan. Lalu diadakan analisis dalam menentukan daya dukung *ultimate*. Prosedur untuk mencari daya dukung *ultimate* dengan metode Chin adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan data berupa penurunan tiang pondasi terhadap beban
2. Membuat grafik dengan memplot penurunan / beban (Δ/P) pada sumbu Y terhadap penurunan (Δ) pada sumbu X.
3. Menarik garis regresi terhadap data yang ada sehingga terbentuk persamaan $y = mx + c$
4. Daya dukung ultimate dari pondasi adalah $Q_u = 1/m$



Gambar 3.3 Hubungan beban terhadap penurunan menurut Metode Chin

Teori ini menghasilkan persamaan sebagai berikut :

Kurva load – settlement di gambarkan dalam kaitannya dengan S/Q:

$$\frac{S}{Q} = C_1 \cdot S + C_2 \quad 3-8$$

Daya dukung ultimit (Q_{ult}) di peroleh dengan rumusan sebagai berikut:

$$Q_{ult} = \frac{1}{C_1} \quad 3-9$$

Keterangan :

S = *settlement*

Q = Beban

C1 = Kemiringan Garis

C2 = Konstanta Persamaan Garis

Qult = Daya Dukung Ultimit

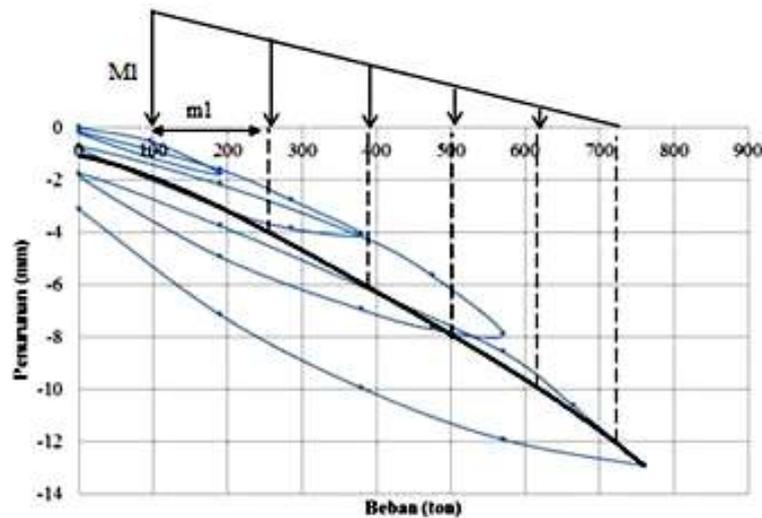
3.3.2. Metode Mazurkiewicz (1972)

Metode Mazurkiewicz beranggapan bahwa bentuk grafik hubungan pembebanan terhadap penurunan sedemikian rupa sehingga jika dilakukan manipulasi gambar dapat digunakan untuk mengestimasi kekuatan daya dukung ultimit. Metode ini menganggap bahwa kapasitas tahanan ultimit diperoleh dari beban yang berpotongan, di antaranya beban yang searah sumbu tiang untuk di hubungkan beban dengan titik – titik dari posisi garis terhadap sudut 45° pada sumbu beban yang berbatasan dengan beban. Penjelasan ini dapat dilihat pada

Gambar 3.4.

Daya dukung ultimate tiang metode Mazurkiewicz di tentukan dengan langkah – langkah berikut :

- a. Memplot penurunan pada sumbu Y terhadap beban pada sumbu X sehingga terbentuk suatu kurva.
- b. Membuat beberapa garis horizontal, sejajar dan mempunyai spasi yang sama dimulai pada sumbu Y (penurunan). Garis – garis tersebut akan memotong kurva penurunan vs beban yang telah dibuat sebelumnya.
- c. Pada titik perpotongan tersebut, lalu menarik garis vertikal tegak lurus, sehingga memotong sumbu X (beban). Selanjutnya menggambarkan suatu garis dengan sudut 45° sampai memotong garis vertikal tegak lurus di sebelahnya, seperti yang terlihat pada **Gambar 3.4.**
- d. Menghubungkan titik – titik perpotongan pada nomor 4, sehingga terbentuk suatu garis lurus. Garis lurus tersebut akan memotong sumbu X (beban), titik perpotongan tersebut merupakan nilai daya dukung *ultimate*..



Gambar 3.4 Menentukan Q_{ult} menurut Metode Mazurkiewicz

3.3.3. Metode Sharma (1983)

Metode ini digunakan untuk menentukan kekuatan ultimit daya dukung axial tarik. Hasil hubungan antara kekuatan tarik terhadap deformasi belum memberikan gambaran secara jelas berapa nilai daya dukung axial tarik pondasi tiang ulir. Menurut Sharma dkk (1984), metode interpretasi yang berlaku umum untuk memperkirakan kekuatan batas tarik adalah:

1. Kekuatan runtuh didasarkan pada deformasi kepala tiang mencapai 0,25 in (6,25 mm).
2. Kekuatan runtuh didasarkan pada titik potong garis singgung,
3. Kekuatan runtuh didasarkan pada titik lengkung yang memberikan jari-jari paling kecil.

Sesuai ketiga kriteria interpretasi tersebut di atas, point 1 menghasilkan kekuatan runtuh yang sangat kecil, hasil interpretasi data menjadi tidak realistis. Untuk point 3, hubungan kekuatan tarik terhadap deformasi relatif landai, sehingga sulit untuk menentukan lengkung dengan jari-jari terkecil. Oleh sebab itu, untuk interpretasi data digunakan point ke 2, yaitu titik potong dari dua garis singgung