

Redesain Fondasi Tower Crane Pada Pembangunan Rumah Susun Di Jakarta

Dwiko Pamungkas Adhi^{1,*}, Muhammad Hamzah Fansuri¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pertahanan RI, Citereup, Kabupaten Bogor, Jawa Barat

*penulis koresponden: pamungkasdwiko@gmail.com

Submit : 14/07/2025

Revisi : dd/mm/yyyy

Diterima : dd/mm/yyyy

Abstrak. Fondasi Tower crane merupakan elemen struktural penting dalam proyek konstruksi yang harus mampu menahan beban dinamis dan statis yang terjadi selama operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis desain awal fondasi Tower crane dan mengidentifikasi kebutuhan revisi berdasarkan hasil investigasi tanah yang lebih mendalam. Metode yang digunakan meliputi perhitungan daya dukung tiang pancang dengan metode Bahan, Skempton, dan Meyerhoff serta evaluasi stabilitas pilecap menggunakan analisis tegangan geser dan lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain awal fondasi tidak memenuhi persyaratan daya dukung akibat kesalahan asumsi kondisi tanah, sehingga revisi dilakukan dengan menambah jumlah tiang pancang dan menyesuaikan dimensi pilecap. Revisi desain ini berhasil meningkatkan daya dukung fondasi hingga mencapai kestabilan yang memenuhi standar keamanan konstruksi sesuai dengan SNI 2847:2013.

Kata kunci: Tower crane; fondasi tiang pancang; daya dukung tanah; pilecap; analisis struktural.

Abstract. The foundation of a Tower crane is a crucial structural element in construction projects, as it must withstand both dynamic and static loads during operation. This study aims to analyze the initial foundation design of the Tower crane and identify necessary revisions based on a more in-depth soil investigation. The methodology includes calculating the bearing capacity of pile foundations using the methods of Bahan, Skempton, and Meyerhoff, as well as evaluating pile cap stability through shear and bending stress analysis. The results indicate that the initial foundation design did not meet the bearing capacity requirements due to incorrect soil condition assumptions. Consequently, revisions were made by increasing the number of piles and adjusting the pile cap dimensions. These design revisions successfully enhanced the foundation's bearing capacity, achieving stability that complies with construction safety standards according to SNI 2847:2013.

Keywords: crane; pile foundation; soil bearing capacity; pile cap; structural analysis.

Pendahuluan

Pembangunan rumah susun di Jakarta menghadapi tantangan besar dalam hal distribusi material konstruksi, terutama pada proyek yang berskala besar dan memiliki keterbatasan lahan. Salah satu alat utama yang digunakan untuk mendukung proses konstruksi adalah Tower crane, yang berfungsi sebagai alat angkat utama untuk memindahkan material dari satu titik ke titik lainnya dalam area proyek. Efisiensi penggunaan Tower crane sangat bergantung pada desain dan stabilitas fondasi yang menopangnya, sehingga faktor daya dukung tanah menjadi aspek yang sangat krusial dalam perencanaan proyek konstruksi [1]; [2].

Stabilitas dan daya dukung fondasi Tower crane menjadi aspek fundamental dalam menjaga kelangsungan proyek dan mencegah kegagalan struktural yang berpotensi menghambat pembangunan. Dalam tahap investigasi awal, sering kali diasumsikan bahwa kondisi tanah memiliki daya dukung yang cukup untuk menopang beban Tower crane. Namun, hasil pengujian tanah yang lebih mendalam menunjukkan bahwa daya dukung aktual sering kali lebih rendah dari perkiraan awal, sehingga diperlukan revisi dalam desain fondasi agar memenuhi standar keamanan dan efisiensi [3]; [4]. Dalam beberapa

kasus, ketidakakuratan dalam perhitungan daya dukung tanah dapat menyebabkan deformasi berlebih, penurunan struktur, hingga potensi kegagalan total yang berdampak pada aspek keselamatan dan biaya konstruksi yang lebih tinggi [5].

Tower crane merupakan alat berat yang sangat umum digunakan dalam proyek konstruksi bertingkat. Alat ini memiliki kemampuan untuk mengangkat beban berat secara vertikal dan horizontal dengan efisiensi tinggi, memungkinkan distribusi material secara lebih presisi dan sistematis. Desain Tower crane terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu mast (tiang utama), jib (lengan utama), counter-jib (penyeimbang), serta hook (pengait) yang berfungsi untuk mengangkat dan memindahkan material [6]. Beban yang bekerja pada Tower crane berasal dari berbagai sumber, termasuk beban mati dari struktur crane itu sendiri, beban hidup akibat material yang diangkat, serta beban lateral yang berasal dari angin dan rotasi crane saat beroperasi [7].

Dalam sistem struktur bangunan, fondasi berperan penting dalam menyalurkan beban dari struktur di atasnya ke tanah di bawahnya. Fondasi dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal digunakan ketika tanah memiliki daya dukung yang cukup tinggi dan beban struktur relatif kecil, sedangkan fondasi dalam seperti tiang pancang digunakan ketika tanah memiliki daya dukung yang rendah atau struktur yang didukung memiliki beban yang besar [8]. Dalam konteks Tower crane, pemilihan jenis fondasi sangat bergantung pada kondisi tanah di lokasi proyek, beban struktural, serta faktor-faktor lingkungan seperti tekanan lateral dari tanah dan gaya angin yang bekerja pada crane [4].

Desain fondasi Tower crane harus mempertimbangkan beberapa aspek utama agar dapat menahan beban yang bekerja secara optimal. Faktor-faktor yang diperhitungkan dalam analisis fondasi meliputi:

- a. Beban Vertikal (Aksial): Beban mati dan beban hidup yang bekerja pada crane dan fondasi.
- b. Beban Lateral: Gaya angin dan gaya geser yang bekerja pada crane.
- c. Momen Lentur: Gaya rotasi crane dan beban di ujung lengan crane.
- d. Daya Dukung Tanah: Kemampuan tanah menahan beban fondasi.

Untuk memastikan keamanan dan kestabilan struktur Tower crane, penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif berdasarkan data investigasi tanah dan beban struktural Tower crane. Data geoteknik dikumpulkan melalui berbagai metode uji, seperti uji bor, uji sondir, serta analisis daya dukung tanah menggunakan metode Bahan, Skempton, dan Meyerhoff. Evaluasi stabilitas dilakukan dengan menganalisis kapasitas geser dan lentur pada pilecap serta distribusi beban pada tiang pancang [4]. Selain itu, desain struktur fondasi beton bertulang juga harus sesuai dengan standar perencanaan yang berlaku di Indonesia untuk memastikan kekuatan dan ketahanan material yang digunakan [9]. Dengan melakukan perbandingan antara desain awal dan hasil revisi, diharapkan peningkatan daya dukung dapat diperoleh setelah dilakukan modifikasi desain. Penyesuaian desain harus merujuk pada standar nasional yang mengatur persyaratan beton struktural untuk memastikan keamanan dan kelayakan konstruksi [10].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi ulang desain fondasi Tower crane berdasarkan kondisi tanah aktual di lokasi proyek. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi terkait desain fondasi yang optimal, sehingga dapat meningkatkan keamanan, stabilitas, dan efisiensi dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan metode desain fondasi yang lebih adaptif terhadap kondisi geoteknik yang beragam,

sekaligus mengurangi risiko kegagalan struktural dalam proyek pembangunan bertingkat di Indonesia.

Metode

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai sumber, termasuk:

- Data Tanah: Berdasarkan uji bor, uji sondir, dan uji penetrasi standar (SPT), yang memberikan informasi mengenai karakteristik tanah di lokasi proyek.
- Data Struktur Tower crane: Meliputi spesifikasi teknis Tower crane seperti model, tinggi, radius, kapasitas angkat maksimum, dan beban yang dihasilkan.
- Data Material: Informasi mengenai dimensi dan spesifikasi tiang pancang serta *parameter kekuatan bahan beton dan baja*.

Metode Perhitungan Daya Dukung Fondasi

Daya dukung fondasi dianalisis menggunakan tiga metode utama:

1. Metode Bahan

Menentukan kapasitas daya dukung berdasarkan luas penampang tiang, berat tiang, dan kuat tekan beton. Kapasitas nominal dihitung menggunakan rumus:

- Luas penampang tiang:

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 \quad (1)$$

- Berat tiang:

$$Wp = A \times L \times w_c \quad (2)$$

- Kapasitas normal:

$$Pn = 0.30 \times f'c \times A - 1.2 \times Wp \quad (3)$$

2. Metode Skempton

Menilai daya dukung berdasarkan tahanan ujung dan gesek selimut pada tanah lempung.

- Tahanan ujung:

$$Pb = Ab \times cb \times Nc \quad (4)$$

- Tahanan gesek:

$$Ps = \sum (ad \times cu \times As) \quad (5)$$

- Total daya dukung:

$$Pn = Pb + Ps \quad (6)$$

3. Metode Meyerhoff

1. Kapasitas nominal:

$$P_n = 40 \times N_b \times A_b + \bar{N} \times A_s \quad (7)$$

2. Batas kapasitas maksimum:

$$P_n \leq 380 \times \bar{N} \times A_b \quad (8)$$

Evaluasi Stabilitas Fondasi

a. Metode Skempton

Tegangan akibat beban aksial dan momen dihitung dengan:

$$\sigma = \frac{P}{n} \pm \frac{My \cdot y}{I_y} \pm \frac{Mx \cdot x}{I_x} \quad (9)$$

b. Penulangan *Pilecap*

Analisis tulangan pada pilecap mencakup perhitungan gaya geser dan kebutuhan tulangan: (Cek SNI terbaru)

1. Gaya geser satu arah:

$$V_u = 2 \times P_{u \text{ pile}} \quad (10)$$

2. Gaya geser dua arah:

$$V_u = 4 \times P_{u \text{ pile}} \quad (11)$$

3. Tulangan minimum:

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} \quad (12)$$

4. Rasio tulangan:

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n m}{f_y}} \right] \quad (13)$$

5. Luas tulangan:

$$A_n = \rho b d \quad (14)$$

6. Luas tulangan terpakai:

$$A_s = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{b}{s} \quad (15)$$

Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif berdasarkan data teknis yang dikumpulkan dari investigasi tanah, spesifikasi struktur *Tower crane*, serta hasil perhitungan daya dukung fondasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup:

a. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai sumber, termasuk:

1. Data Tanah

Berdasarkan uji bor, uji sondir, dan uji penetrasi standar (SPT), yang memberikan informasi mengenai karakteristik tanah di lokasi proyek.

2. Data Struktur *Tower crane*

- Model *Tower crane* : QTZ6024
- Tinggi *Tower crane* : 60 meter
- Radius *Tower crane* : 60 meter
- Kapasitas Angkat Maksimum : 2,4 ton
- Berat *Tower crane* : 84772 kg
- Momen Maksimum : 48077 kgm
- Geser Maksimum : 15812 kg

3. Data Material

- Diameter tiang pancang (D) : 50 cm
- Tebal tiang pancang (t) : 9 cm
- Panjang tiang pancang (L) : 1600 cm
- Kuat tekan beton (fc) : 25 Mpa
- Kedalaman Tiang Pancang : 16 meter

b. Metode Perhitungan Daya Dukung Fondasi

Daya dukung fondasi dianalisis menggunakan 3 (tiga) metode utama:

1. Metode Bahan

Menentukan kapasitas daya dukung berdasarkan luas penampang tiang, berat tiang, dan kuat tekan beton. Kapasitas nominal dihitung menggunakan rumus:

$$P_n = 0.30 \times f'_c \times A - 1.2 \times W_p \tag{15}$$

2. Metode Skempton

Menilai daya dukung berdasarkan tahanan ujung dan gesek selimut pada tanah lempung. Perhitungan tahanan ujung:

$$P_b = A_b \times c_b \times N_c \tag{16}$$

Perhitungan tahanan gesek:

$$P_s = \sum (ad \times cu \times As) \tag{17}$$

3. Metode Meyerhoff

Menggunakan hasil uji SPT untuk memperkirakan kapasitas daya dukung tiang berdasarkan:

$$P_n = 40 \times N_b \times A_b + \bar{N} \times A_s \quad (18)$$

c. **Evaluasi Stabilitas Fondasi**

Untuk memastikan keamanan dan stabilitas fondasi, penelitian ini melakukan evaluasi sebagai berikut:

1. Analisis Tegangan pada Tiang Pancang

Tegangan dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{n} \pm \frac{My \cdot y}{I_y} \pm \frac{Mx \cdot x}{I_x} \quad (19)$$

2. Perhitungan Tulangan Pilecap

Menganalisis kebutuhan tulangan dengan memperhitungkan kapasitas lentur dan geser menggunakan standar SNI 2847:2013. Gaya geser satu arah dihitung dengan:

$$V_u = 2 \times P_{u\ pile} \quad (20)$$

Kebutuhan luas tulangan dihitung berdasarkan

$$A_n = \rho b d \quad (21)$$

d. **Validasi Hasil Perhitungan**

Setelah dilakukan revisi desain dengan menambah jumlah tiang pancang, hasil perhitungan dibandingkan dengan data empiris untuk memastikan bahwa daya dukung fondasi yang baru memenuhi persyaratan keamanan. Dengan menggunakan metodologi ini, penelitian ini dapat memberikan rekomendasi terhadap desain fondasi *Tower crane* yang optimal dan sesuai dengan kondisi tanah di lokasi proyek.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Perhitungan Desain Awal Fondasi

Perhitungan awal fondasi *tower crane* menunjukkan bahwa daya dukung tiang pancang tidak mencukupi untuk menahan beban yang bekerja. Hasil perhitungan berdasarkan metode Bahan, Skempton, dan Meyerhoff memberikan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Rekapitulasi Tahanan Aksial Tiang Pancang

Tahanan Aksial Tiang Pancang	$f * P_n$ (ton)
Berdasarkan kekuatan bahan	60,607
Berdasarkan data bor tanah (Skempton)	66,598
Berdasarkan hasil uji SPT (Meyerhoff)	49,544

Berdasarkan Tabel 1 diatas menunjukkan perhitungan daya dukung aksial terkecil adalah 49544 kg, yang lebih kecil dibandingkan dengan tegangan yang terjadi pada satu tiang sebesar 59342 kg. Hal ini menunjukkan bahwa desain awal tidak aman dan tidak mampu menahan beban *Tower crane*.

Evaluasi Kegagalan Desain Awal

Kegagalan desain awal fondasi disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

- Terjadi kesalahan dalam asumsi kondisi tanah, yang mengakibatkan daya dukung tanah aktual lebih rendah daripada perkiraan yang didasarkan hasil pengujian SPT dan CPT.
- Berdasarkan evaluasi beban struktur dan analisis kapasitas daya dukung fondasi tiang, ditemukan bahwa total beban yang bekerja pada fondasi melampaui kemampuan tiang dalam menahan beban tersebut, yang berpotensi menyebabkan penurunan berlebihan atau kegagalan struktur
- Evaluasi desain fondasi awal mengindikasikan bahwa faktor keamanan yang diterapkan tidak mencukupi untuk mengantisipasi variabilitas kondisi tanah, sehingga meningkatkan risiko kegagalan fondasi

Revisi Desain Fondasi

Untuk meningkatkan kapasitas daya dukung fondasi yang teridentifikasi tidak memadai, dilakukan revisi desain dengan menambahkan jumlah tiang pancang dari empat menjadi lima unit. Hasil perhitungan setelah revisi menunjukkan peningkatan signifikan pada kapasitas daya dukung fondasi. Tegangan maksimum yang bekerja pada tiang pancang terhitung sebesar 49.103,63 kg, sementara kapasitas daya dukung izin tiang pancang adalah 49.544,05 kg. Hal ini menghasilkan peningkatan faktor keamanan, yang memastikan desain fondasi memenuhi persyaratan stabilitas dan keamanan struktur sesuai dengan standar teknik yang berlaku.

Evaluasi Desain Revisi

Setelah dilakukan revisi desain dengan menambahkan jumlah tiang pancang, hasil perhitungan dibandingkan dengan data empiris untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung fondasi yang baru memenuhi persyaratan keamanan. Dengan menggunakan metodologi ini, penelitian ini dapat memberikan rekomendasi desain fondasi *Tower crane*

yang optimal dan sesuai dengan kondisi tanah di lokasi proyek. Revisi desain menunjukkan peningkatan signifikan dalam kapasitas daya dukung fondasi, dengan hasil sebagai berikut:

a. Analisis Tegangan pada Tiang Pancang

Tegangan aksial yang terjadi lebih kecil daripada daya dukung izin tiang pancang, sehingga desain dinyatakan aman.

b. Analisis Tulangan *Pile Cap*

1. Gaya geser satu arah

Nilai gaya geser satu arah adalah 148632,15 kg, dan memenuhi persyaratan

$$V_u \leq \phi V_c.$$

2. Gaya geser dua arah

Nilai gaya geser dua arah adalah 2915164 N, yang masih berada dalam batas aman sesuai dengan standar SNI 2847:2013.

3. Kapasitas tulangan

Kapasitas tulangan yang digunakan sudah mencukupi berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan tulangan minimum.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan, dapat disimpulkan bahwa desain awal fondasi *Tower crane* tidak memenuhi persyaratan daya dukung akibat tegangan aksial yang melebihi kapasitas izin tanah. Beban total yang bekerja pada fondasi sebesar 222,576 kg menghasilkan tegangan pada satu tiang pancang sebesar 59,342.23 kg, yang melampaui daya dukung izin sebesar 49,544 kg. Hal ini menunjukkan bahwa desain awal tidak aman dan berisiko mengalami kegagalan struktural.

Revisi desain dilakukan dengan menambah jumlah tiang pancang dari empat menjadi lima unit, sehingga tegangan aksial pada tiap tiang berkurang menjadi 49,103.63 kg. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya dukung izin tanah sebesar 49,544.05 kg lebih besar daripada tegangan yang terjadi, sehingga desain revisi ini dinyatakan aman. Selain itu, evaluasi terhadap gaya geser satu arah dan dua arah menunjukkan bahwa kapasitas nominal beton jauh lebih besar daripada gaya geser yang bekerja, memastikan fondasi tetap stabil sesuai dengan persyaratan SNI 2847:2013 pasal 11.2.

Dari segi penulangan, kebutuhan tulangan minimum sebesar 11,224 mm² telah dipenuhi dengan penggunaan tulangan D19-100 yang memiliki luas 14,176 mm². Hal ini memastikan bahwa pilecap mampu menahan momen yang bekerja serta menjaga keamanan struktur secara keseluruhan. Dengan demikian, revisi desain fondasi *Tower crane* telah meningkatkan kestabilan dan keamanan struktur, memastikan daya dukung yang mencukupi sesuai dengan kondisi tanah di lokasi proyek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain awal fondasi *Tower crane* tidak memenuhi persyaratan daya dukung akibat kondisi tanah yang kurang stabil. Revisi desain dengan menambah jumlah tiang pancang dan memperkuat pilecap meningkatkan kestabilan fondasi sehingga mampu menahan beban yang bekerja. Studi ini menegaskan pentingnya investigasi tanah yang menyeluruh dalam tahap perencanaan fondasi untuk menghindari kegagalan struktural.

Daftar Pustaka

- [1] R. D. Holtz and W. D. Kovacs, *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1981.
- [2] A. Fahim and M. H. El Naggar, "Deep foundations on soft soils: Current practice and future challenges," *Geotechnical Engineering Journal*, vol. X, no. Y, pp. XX–XX, 2018.
- [3] K. Terzaghi and R. B. Peck, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [4] B. M. Das, *Principles of Foundation Engineering*, 7th ed. Stamford, CT: Cengage Learning, 2010.
- [5] J. E. Bowles, *Foundation Analysis and Design*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1996.
- [6] A. T. C. Goh, *Geotechnical Engineering*. Singapore: World Scientific, 2010.
- [7] C. M. Tam, T. K. L. Tong, and W. S. Chan, "Stability analysis of tower cranes in high-rise construction," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 138, no. 5, pp. 650–660, 2012.
- [8] B. S. Taranath, *Structural Analysis and Design of Tall Buildings*. New York: McGraw-Hill, 2013.
- [9] A. Setiawan, *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Erlangga, 2013.
- [10] Badan Standardisasi Nasional (BSN), *SNI 03-2847-2013: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Jakarta: BSN, 2013.
- [11] A. W. Skempton, "The Bearing Capacity of Clays," *Proc. of the Building Research Congress*, London, 1951.
- [12] G. G. Meyerhof, "Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils," *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE*, vol. 82, no. SM1, 1956.
- [13] G. G. Meyerhof, "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations," *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE*, 1976.