Available online https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno

T E K N O

Volume 23, No. 91, Tahun 2025 p-ISSN: 0215-9617

Studi Kapasitas Fondasi Tiang Pancang Untuk Kelaikan Fungsi Bangunan Gedung Pada Konstruksi Gedung Pusat Perbelanjaan Di Manado

Wiliam E. M. Wior[#a], Roski R. I. Legrans[#b], Jack H. Ticoh[#c]

[#]*Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia*
[a]williamwior@gmail.com, [b]legransroski@unsrat.ac.id, [c]jack.ticoh@unsrat.ac.id

Abstrak

Undang – Undang nomor 28 tahun 2008 tentang bangunan gedung, bab 5 pasal 37 ayat 3 menjelaskan tentang pemeliharaan, perawatan, dan pemeriksaan secara berkala pada bangunan gedung untuk mengetahui apakah suatu bangunan gedung telah memenuhi persyaratan laik fungsi. Akibat adanya undang-undang tersebut, maka perlu dilakukan suatu kajian kelaikan fungsi bangunan gedung terhadap salah satu gedung pusat perbelanjaan di Kota Manado yang telah berdiri hampir 20 tahun. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas fondasi dari bangunan tersebut dengan acuan/standar yang digunakan adalah ASCE/SEI 41-17. Dalam ASCE 41-17 tersebut, analisis kelaikan meliputi analisis potensi likuifaksi di lokasi konstruksi, analisis daya dukung fondasi terhadap beban layan dan analisis penurunan tiang serta beda penurunan yang terjadi. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa data SPT dan data CPT/sondir, data hasil analisis struktur atas berdasarkan ASCE/SEI 41-17 serta data denah fondasi eksisting. Hasil analisis potensi likuifaksi menunjukkan bahwa tidak terdapat potensi likuifaksi pada tanah di lokasi bangunan sampai kedalaman 30 m (FK≥1). Hasil evaluasi terhadap kapasitas daya dukung aksial kelompok tiang ($Q_{ult\ group}$) terhadap semua tipe kelompok tiang yang digunakan memenuhi persyaratan *Prescriptive Expected Capacity* (Qc) dan memenuhi ketentuan $Qc \geq Q_{UD}$ (*American Society of Civil Engineers* (ASCE) pasal 7.2.2). Hasil analisis beda penurunan menunjukkan adanya beberapa nilai beda penurunan antara kelompok tiang yang berdekatan yang melebihi ambang batas yang ditentukan. Secara keseluruhan, fondasi tiang pancang pada bangunan gedung tersebut masih berfungsi dengan baik sejak bangunan gedung pusat perbelanjaan tersebut beroperasi.

Kata kunci: kapasitas, fondasi tiang pancang, laik fungsi, ASCE/SEI 41-17

1. Pendahuluan

Undang – Undang nomor 28 tahun 2008 tentang bangunan gedung, bab 5 pasal 37 ayat 3 menjelaskan tentang pemeliharaan, perawatan, dan pemeriksaan secara berkala pada bangunan gedung untuk mengetahui apakah suatu bangunan gedung telah memenuhi persyaratan laik fungsi. Pemeriksaan untuk laik fungsi bangunan harus dilakukan secara berkala dan menyeluruh baik itu untuk struktur atas dan struktur fondasi. Untuk pemeriksaannya meliputi keadaan seluruh atau sebagian bangunan gedung, komponen, bahan bangunan, serta sarana dan prasarana, dengan menggunakan tenaga ahli pengkaji teknis pada bidangnya masing-masing.

Akibat adanya undang-undang tersebut, maka perlu dilakukan suatu kajian kelaikan fungsi bangunan gedung terhadap salah satu gedung pusat perbelanjaan di Kota Manado yang telah berdiri hampir 20 tahun. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas fondasi dari bangunan tersebut dengan acuan/standar yang digunakan adalah ASCE/SEI 41-17. Dalam ASCE 41-17 tersebut, analisis kelaikan meliputi analisis potensi likuifaksi di lokasi konstruksi, analisis daya dukung fondasi terhadap beban layan dan analisis penurunan tiang serta beda penurunan yang terjadi.

2. Landasan Teori

Fondasi tiang adalah jenis fondasi dalam yang digunakan untuk mentransfer beban struktur bangunan ke lapisan tanah yang lebih dalam dan stabil. Fondasi ini terdiri dari elemen-elemen panjang dan ramping yang ditanamkan ke dalam tanah untuk mendukung beban bangunan di atasnya. Fondasi tiang umumnya digunakan ketika lapisan tanah permukaan tidak memiliki kapasitas dukung yang memadai untuk menopang beban struktur.

Standar evaluasi yang akan digunakan adalah dengan beban struktur berdasarkan kombinasi pembebanan *American Society of Civil Engineers* (ASCE), dimana nilai daya dukung ultimit merupakan nilai *Prescriptive Expected Capacity* (Q_c) yang harus memenuhi kondisi:

$Q_c \geq Q_{UD}$

dimana

$Q_{UD} = 1.1(Q_{DL} + Q_{SDL} + Q_{LL}) + Q_E$ (Sub pasal 7.2.2)

Berikut ini adalah tahapan evaluasi yang digunakan:

1. Analisis potensi likuifaksi
   a. Suatu lapisan tanah dikatakan berpotensi mengalami likuifaksi apabila faktor keamanan terhadap likuifaksi lebih kecil dari 1, yang dinyatakan melalui persamaan berikut :
      $FS = \frac{CRR}{CSR}$
   b. Variabel CSR direkomendasikan NCEER (1997) untuk menyeragamkan beragam variabel tegangan geser cyclic yang dikemukakan oleh masing-masing ahli geoteknik, seperti Seed-Harder, Youd dan Kramer. Dengan demikian persamaannya dapat ditulis :
      $CSR = 0.65 . \frac{amax}{g} . \frac{\sigma v}{\sigma' v} . rd$
   c. Idriss & Boulanger (2010) memfomulirkan beberapa parameter nilai yang sudah dirubah rumusnya, sehingga untuk persamaan menghitung nilai CRR yang ditambahkan dengan nilai momen magnitude sebesar 7.5 diformulirkan sebagai berikut:
      $CRR_{7,5} = \frac{1}{34-(N1)60CS} + \frac{(N1)60CS}{135} + \frac{50}{(10\,x\,(N1)60CS+45)^2} - \frac{1}{200}$
      Pada skala gempa yang berbeda dengan gempa 7,5 skala Richter diperlukan faktor koreksi yang disebut *Magnitude Scale Factor* (MSF) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:
      $CRR = CRR_{7,5} \times K_\sigma \times MSF$
2. Perhitungan kapasitas fondasi tiang pancang
   a. Daya dukung aksial fondasi tiang tunggal terbagi atas daya dukung selimut tiang dan daya dukung ujung tiang dengan menggunakan metode dari Meyerhof (1976):
      $Qs = K_s \times \sigma'_v \times \tan\delta \times \pi \times D \times \Delta l$
      $Qp = \alpha \times Nq \times \sigma'_v \times 0.25 \times \pi \times D^2$
      $Q_u = Q_p + Qs$
      Dimana:
      Q_u = daya dukung ultimit (kN)
      Qs = daya dukung gesek tiang (kN)
      Qp = daya dukung ujung tiang (kN)
   b. Untuk perhitungan kapasitas tiang kelompok dihitung berdasarkan efisiensi kelompok tiang. Menurut Coverse – Labare, persamaan untuk efisiensi tiang adalah sebagai berikut.
      $E_g = 1 - \left(\frac{(n1-1).n2+(n2-1).n1}{90\,.\,n1\,.\,n2}\right).\theta$
3. Analisis penurunan dan beda penurunan yang terjadi selama masa layan bangunan
   a. Menurut Vesic (1977), penurunan elastis di tiang tunggal dapat dihitung dengan rumus seperti di bawah ini :
      $Se = S_1 + S_2 + S_3$
      $S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi \times Q_{ws}) \times L}{A_p \times E_p}$
      $S_2 = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p}$
      $S_3 = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p}$

Dimana:
Se = Total penurunan tiang pancang (mm)
Se_1 = Penurunan elastis tiang pancang (mm)
Se_2 = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban pada ujung tiang (mm)
Se_3 = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban yang ditransmisika sepanjang kulit tiang (mm)

b. Penurunan tiang kelompok dapat dihitung dengan persamaan empiris oleh Meyerhof (1976) yang didasarkan pada nilai N SPT dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_g = 2p \cdot \sqrt{\frac{bI}{N}}$$

c. Beda penurunan maksimum menurut SNI 8460:2017 adalah L/300 (mm)

3. Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur, yakni mempelajari ASCE/SEI 41-17 untuk mengevaluasi kapasitas fondasi tiang, evaluasi potensi likuifaksi, penurunan fondasi tiang dan beda penurunan. Tahapan analisis dimulai dengan pengumpulan data, yaitu data sekunder berupa hasil uji tanah dari hasil uji SPT, data hasil uji CPT/sondir, data hasil analisis struktur atas berdasarkan beban layan dan data konstruksi fondasi eksisting. Lokasi penelitian adalah gedung pusat perbelanjaan yang terletak Jl. Pierre Tendean, Kota Manado.

Gambar 1. Lokasi Penelitian
(*Sumber: Google Earth*)

Berdasarkan data struktur fondasi eksisting, terdapat 3 tipe fondasi tiang kelompok yaitu tipe P1, P2, dan P3. Dengan masing-masing untuk tipe P1 terdiri dari 7 buah fondasi tiang pancang, tipe P2 terdiri dari 5 buah fondasi tiang pancang dan untuk tipe P3 terdiri dari 3 buah fondasi tiang pancang. Metode instalasi fondasi adalah melalui pemancangan.

4. Hasil dan Pembahasan

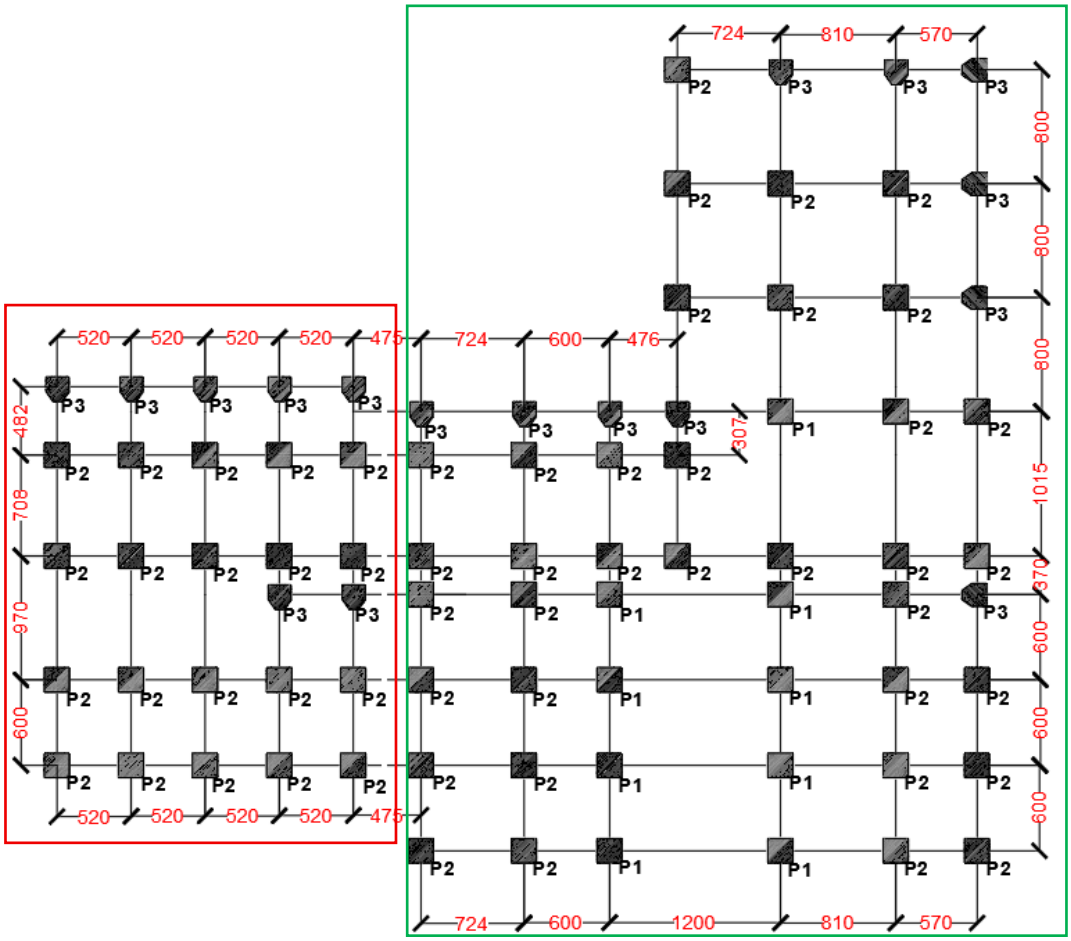
4.1. Jenis Tanah

Berdasarkan hasil uji bor SPT, jenis yang dijumpai adalah: i) lapisan pertama (0 sd. 3 m) adalah pasir berbatu, warna coklat kehitaman dengan kepadatan lepas; ii) lapisan kedua (3 m sd. 7 m) adalah pasir berbutir kasar, warna hitam dan kepadatan lepas; iii) lapisan ketiga (7 m sd. 10 m) adalah pasir hitam dengan kepadatan lepas agak padat; iv) lapisan terbawah (10 m sd. 30 m)

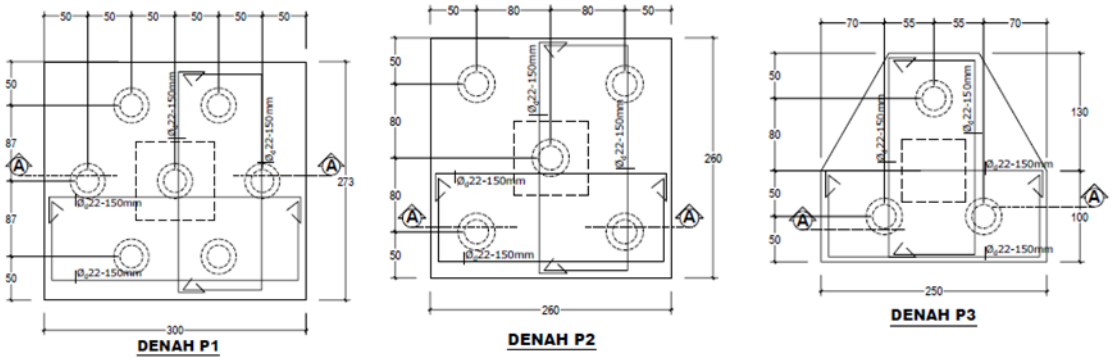
adalah pasir/cadas berwarna hitam dengan kepadatan padat agak lepas.

4.2. Potensi Likuifasi

Analisis potensi likuifaksi ditinjau pada kedalaman hingga 30 m dengan kondisi magnitude gempa sebesar 7.0 dan 8.0 skala richter, dilakukan perbandingan antara *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) sehingga didapat faktor keamanan. Hasil analisis menunjukkan bahwa potensi likuifaksi tidak terjadi sampai dengan kedalaman tinjauan 30 m.



Gambar 2. Denah Fondasi Tiang pada Gedung 1 (merah) dan Gedung 2 (hijau)



Gambar 3. Detail Fondasi Tiang Kelompok Tipe P1, P2, dan P3

4.3. Daya Dukung Fondasi Tiang Tunggal

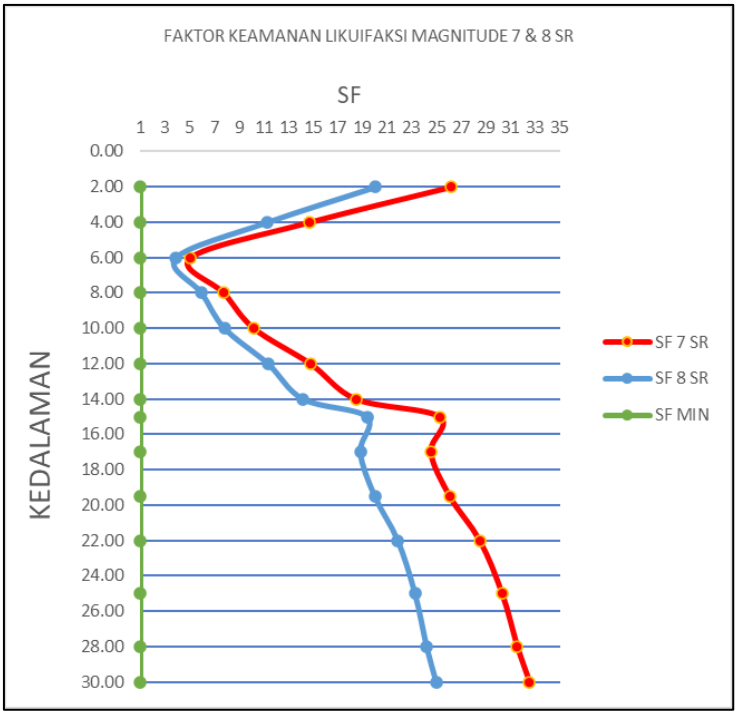
Perhitungan daya dukung fondasi tiang tunggal dilakukan terhadap panjang fondasi eksisting yakni 30 m, dengan diameter 0.35 m. Hasil perhitungan yakni kapasitas ujung tiang sebesar 499.64 kN dan untuk kapasitas selimut tiang sebesar 1243.16 kN. Dengan demikian kapasitas ultimit tiang tunggal adalah 1742.81 kN.

4.4. Daya Dukung Fondasi Tiang Kelompok

1. Kelompok tiang tipe P1
   Dengan menggunakan persamaan efisiensi tiang kelompok, daya dukung untuk tipe P1 adalah 9149.04 kN. Nilai tersebut merupakan nilai *Prescriptive Expected Capacity* (Q_c). Selanjutnya nilai tersebut akan dibandingan dengan beban-beban yang bekerja pada tiap fondasi tipe P1 (Q_{UD}) yang terdiri dari 9 titik fondasi. Hasil yang diperoleh adalah $Q_c \geq Q_{UD}$.
2. Kelompok tiang tipe P2
   Dengan menggunakan persamaan efisiensi tiang kelompok, daya dukung untuk tipe P2 adalah 7519.32 kN. Nilai tersebut merupakan nilai *Prescriptive Expected Capacity* (Q_c). Selanjutnya nilai tersebut akan dibandingan dengan beban-beban yang bekerja pada tiap fondasi tipe P2 (Q_{UD}) yang terdiri dari 55 titik fondasi. Hasil yang diperoleh adalah $Q_c \geq Q_{UD}$.
3. Kelompok tiang tipe P3
   Dengan menggunakan persamaan efisiensi tiang kelompok, daya dukung untuk tipe P3 adalah 4790.72 kN, yang merupakan nilai *Prescriptive Expected Capacity* (Q_c). Selanjutnya nilai tersebut akan dibandingan dengan beban-beban yang bekerja pada fondasi tipe P3 (Q_{UD}) yang terdiri dari 17 titik. Hasil yang diperoleh adalah $Q_c \geq Q_{UD}$.

Tabel 1. Kontrol Daya Dukung Dengan Beban Terbesar Pada Tiap Tipe Tiang

Label	Tipe Fondasi	Q_{UD} kN	Q_c kN	$Qc \geq Q_{UD}$
24	P1	6146.16	9149.04	Memenuhi
30	P2	5093.08	7519.32	Memenuhi
18	P3	3600.61	4790.72	Memenuhi

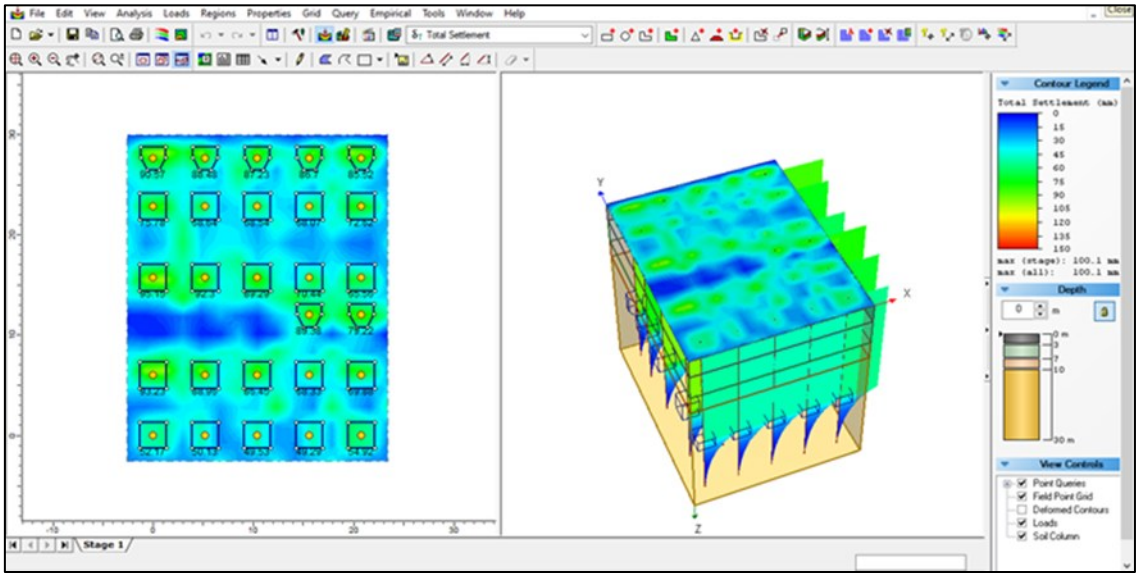


Gambar 4. Kurva Hubungan Faktor Keamanan terhadap Likuifaksi terhadap Kedalaman

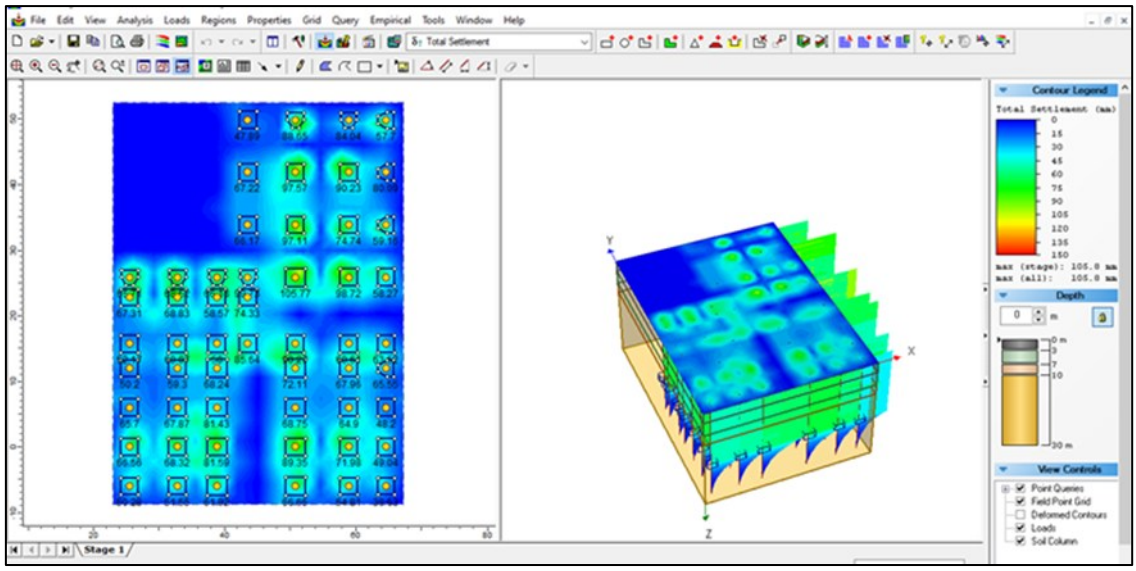
4.5. Penurunan Fondasi Tiang

Penurunan fondasi tiang pancang dihitung terhadap penurunan fondasi tiang tunggal dan penurunan fondasi tiang kelompok pada tipe fondasi P1, P2 dan tipe P3.

1. Penurunan fondasi tiang tunggal
   Penurunan fondasi tiang yang dianalisis dengan metode empiris (Vesic) menghasilkan nilai yakni: penurunan S_1 adalah 41 mm, penurunan S_2 adalah 82 mm dan penurunan S_3 adalah 6 mm. Total penurunan fondasi tiang tunggal adalah sebesar 129 mm.
2. Penurunan fondasi tiang kelompok
   Penurunan fondasi tiang kelompok dihitung menggunakan nilai beban Q_{UD} berdasakan kombinasi pembebanan ASCE. Penurunan terbesar untuk masing-masing tipe adalah: tipe P1 sebesar 104 mm, tipe P2 sebesar 101 mm dan tipe P3 sebesar 87 mm.
3. Penurunan fondasi tiang kelompok dengan *software* Settle 3D
   Penurunan fondasi tiang kelompok yang dihitung dengan SETTLE 3D yakni: tipe P1 sebesar 106 mm, tipe P2 sebesar 99 mm dan tipe P3 sebesar 89 mm.



Gambar 5. Hasil Analisis Penurunan Fondasi Tiang Kelompok pada Gedung 1 dengan SETTLE 3D



Gambar 6. Hasil Analisis Penurunan Fondasi Tiang Kelompok pada Gedung 2 dengan SETTLE 3D

4. Beda penurunan
   Evaluasi beda penurunan yang terjadi antar fondasi yang berdekatan tidak melampaui batas beda penurunan sebesar L/300. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pada gedung 1 terdapat 18

hubungan antar fondasi tiang kelompok yang memiliki beda penurunan yang melampaui batas, dan pada gedung 2 terdapat 6 hubungan antar fondasi tiang kelompok terdekat yang memiliki beda penurunan yang melampaui batas

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis potensi likuifaksi di lokasi gedung pusat perbelanjaan menunjukkan bahwa pada skala gempa 7.0 dan 8.0 skala richter, nilai faktor keamanan terhadap likuifaksi adalah > 1 sampai kedalaman yang ditinjau (30 m). Sehingga tanah pada lokasi bangunan tidak berpotensi likuifaksi;
2. Daya dukung aksial tiang tunggal,$Q_{ult\text{-}single}$ sebesar 1742.81 kN. Berdasarkan daya dukung tersebut diperoleh kapasitas tiang kelompok pada masing-masing tipe tiang kelompok yakni tipe P1 sebesar 9149.04 kN; tipe P2 sebesar 7519.32 kN dan tipe P3 sebesar 4790.72 kN. Nilai tersebut merupakan nilai *Prescriptive Expected Capacity* (Q_c). Nilai Q_c harus melebihi nilai Q_{UD}/*design foundation loads* (sub pasal 7.2.2 *American Society of Civil Engineers* (ASCE)) ($Q_c \geq Q_{UD}$). Hasil analisis terhadap beban pada tiap-tiap kelompok (Q_{UD}) menunjukkan bahwa seluruh fondasi tiang kelompok pada gedung 1 dan gedung 2 memenuhi kondisi $Q_c \geq Q_{UD}$;
3. Analisis penurunan fondasi tiang kelompok pada masing-masing tipe yang tersebar pada gedung 1 dan gedung 2 menunjukkan bahwa selama umur konstruksi telah terjadi penurunan maksimum sebesar 104 mm. Terdapat pula beda penurunan antara kelompok fondasi tiang terdekat yang melampaui batas beda penurunan, pada gedung 1 sebanyak 18 hubungan antar tiang kelompok dan gedung 2 sebanyak 6 hubungan antar tiang kelompok;
4. Secara keseluruhan, fondasi tiang pancang pada bangunan gedung tersebut masih berfungsi dengan baik sejak bangunan gedung pusat perbelanjaan tersebut beroperasi.

Referensi

Abolfazl Eslami, Sara Moshfeghi, Hossein MolaAbasi, Mohammad M. Eslami. (2020). *Piezocone and Cone Penetration Test (CPTu and CPT) Applications in Foundation Engineering*. ELSEIVER : Butterworth – Heinemann

Alfian H. Soeratinoyo, Fabian J. Manoppo, & Agnes T. Mandagi. (2022). *Pemodelan Pondasi Box Di Tanah Berpotensi Likuifaksi.* TEKNO, Vol. 20, No. 81.

American Society of Civil Engineers. (2017). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings (ASCE/SEI 41-17).* American Society of Civil Engineers.

Das, Braja M. (1941). *Shallow foundations : bearing capacity and settlement.* Taylor & Francis Group, LLC.

Das, Braja M, Nagaratnam Sivakugan. (2017). *Principles of Foundation Engineering ninth edition,* Cengange Learning, Inc. Library of Congress Control Number: 2017956526

Joseph E. Bowles (1997). *Foundation Analysis and Design.* Fifth Edition. McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN 0-07-118844-4.

Karl Terzhagi, Ralph B. Peck, Gholamreza Mesri. (1996). *Soil mechanical in engineering practice*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

Meyerhof, G. G. 1976. *Bearing capacity and settlement of pilefoundations,* Journal of geotechnical engineering division, American Society of Civl Engineers, Vol.102, No.GT3,pp. 197-228.

Mihir Roy. (2024) *Geotechnical and Foundation Engineering Practice in Industrial Projects.* Springer Nature Singapore. ISBN 978-981-99-7905-9.

Nabilla Kirana Mokoginta, Adang Irawan. (2022). *Analisis Tingkat Potensi Likuifaksi Di Kota Manado Menggunakan Metode Liquefaction Potential Index.* Jurnal Kajian Teknik Sipil, Vol. 7, No. 02

Shamsher Prakash, Hari D. Sharma. (1990). *Pile Foundation in Engineering Practice.* A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc.

U.S. Departement of Transportation Federal Highway Administration. (2016). *Design and Construction of Driven Pile Foundations.* National Highway Institute, FHWA GEC 012 – Volume 1.

U.S. Departement of Transportation Federal Highway Administration. (2016). *Design and Construction of Driven Pile Foundations.* National Highway Institute, FHWA GEC 012 – Volume 2.