

EVALUASI DAYA DUKUNG DAN *SETTLEMENT* FONDASI TELAPAK BERDASARKAN N-SPT DENGAN PENDEKATAN ANALITIK DAN *SETTLE3D* (Peter Cristianson Tibo Naro, Danang Setiya Raharja)

EVALUASI DAYA DUKUNG DAN *SETTLEMENT* FONDASI TELAPAK BERDASARKAN N-SPT DENGAN PENDEKATAN ANALITIK DAN *SETTLE3D*

Peter Cristianson Tibo Naro^{1*} dan Danang Setiya Raharja²

^{1&2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya, Surabaya

Jalan Dukuh Kupang XX No. 54, Kota Surabaya, Jawa Timur, Indonesia, 60225

E-mail: peter_naro228@gmail.com¹, dan raharja.ds@uwks.ac.id²

(*) Penulis Korespondensi

(Artikel dikirim: 24 Juli 2026, Direvisi: 28 Agustus 2026, Diterima: 1 September 2026)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v14i2.5726>

ABSTRAK: Pembangunan gedung 4 lantai menuntut perencanaan fondasi yang menjamin keamanan dan kestabilan struktur. Penelitian ini bertujuan mengkaji daya dukung serta penurunan fondasi telapak berdasarkan data N-SPT sekunder, dengan mempertimbangkan karakteristik tanah setempat. Parameter tanah yang digunakan berat isi tanah, kohesi, sudut geser dalam, modulus elastisitas, angka pori awal (*void ratio*), dan indeks kompresi (*compression index*) diperoleh melalui korelasi data N-SPT dan uji laboratorium. Analisis daya dukung dilakukan dengan metode *Terzaghi* dan *Brinch Hansen*, sementara penurunan dianalisis secara analitik maupun menggunakan *Settle3D*. Dimensi fondasi awal (1,80 m × 1,80 m, tebal 0,60 m, kedalaman 2,90 m) terbukti belum memenuhi syarat daya dukung izin dan faktor keamanan. Setelah dilakukan variasi dimensi, diperoleh ukuran optimum 2,80 m × 2,80 m dengan tebal 0,70 m, menghasilkan faktor keamanan (*Brinch Hansen*) sebesar 3,36, memenuhi kriteria $FS > 3$. Kontrol tegangan tanah menunjukkan $q_{max} = 402,86 \text{ kN/m}^2$ lebih kecil dari $q_{ult} = 1135,66 \text{ kN/m}^2$ dan $q_{min} = 380,76 \text{ kN/m}^2$ lebih besar = 0, sehingga tidak terjadi tegangan tarik pada dasar fondasi. Perhitungan manual menghasilkan penurunan total 3,08 cm, sedangkan simulasi *Settle3D* menghasilkan 3,96 cm keduanya masih di bawah batas izin 5 cm sesuai dengan peraturan SNI 8460:2017. Beda penurunan maksimum sebesar 0,0016 cm, lebih kecil dari batas izin 0,00333 cm, sehingga aman terhadap penurunan diferensial.

KATA KUNCI : Daya Dukung, Korelasi parameter, N-SPT, Penurunan, *Settle3D*

ABSTRACT: The construction of a 4 story building requires foundation planning that ensures structural safety and stability. This study aims to analyze the bearing capacity and settlement of shallow foundations based on secondary N-SPT data, taking local soil characteristics into account. Soil parameters used unit weight, cohesion, internal friction angle, modulus of elasticity, initial void ratio, and compression index were obtained through correlation between N-SPT data and laboratory test results. Bearing capacity analysis was conducted using the *Terzaghi* and *Brinch Hansen* methods, while settlement analysis was carried out both analytically and using *Settle3D* software. The initial foundation dimensions (1.80 m × 1.80 m, thickness 0.60 m, depth 2.90 m) were found not to satisfy the allowable bearing capacity and safety factor requirements. Following dimension variation, an optimum size of 2.80 m × 2.80 m with a thickness of 0.70 m was obtained, yielding a safety factor (*Brinch Hansen* method) of 3.36, thus satisfying the $FS > 3$ criterion. Soil stress control indicated $q_{max} = 402.86 \text{ kN/m}^2$, which is lower than $q_{ult} = 1135.66 \text{ kN/m}^2$, and $q_{min} = 380.76 \text{ kN/m}^2$, which is greater than 0, confirming the absence of tensile stress at the foundation base. Manual calculation produced a total settlement of 3.08 cm, while *Settle3D* simulation resulted in 3.96 cm both values remaining within the allowable limit of 5 cm (SNI 8460:2017). The maximum differential settlement of 0.0016 cm was smaller than the allowable limit of 0.00333 cm, thereby satisfying the safety requirements against differential settlement.

KEYWORDS: Bearing capacity, Correlation of parameters, N-SPT, Settlement, *Settle3D*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan gedung bertingkat menuntut perencanaan struktur yang mampu menjamin keamanan, stabilitas, dan kinerja bangunan selama masa layan. Salah satu komponen yang memiliki peran penting dalam

sistem struktur adalah fondasi, karena berfungsi meneruskan seluruh beban dari struktur atas ke lapisan tanah pendukung. Keberhasilan suatu fondasi tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya beban bangunan, tetapi juga oleh karakteristik tanah yang menjadi media pendukungnya. Oleh



sebab itu, penyelidikan tanah merupakan tahapan penting dalam proses perencanaan fondasi untuk memperoleh informasi mengenai kondisi tanah yang akan digunakan sebagai dasar analisis geoteknik.

Fondasi harus mampu menyalurkan beban struktur secara aman ke tanah pendukung. Apabila daya dukung tanah tidak mencukupi atau penurunan yang terjadi melebihi batas yang diizinkan, maka dapat timbul deformasi, kerusakan struktur, bahkan kegagalan fondasi (Yuliawan & Rahayu, 2018).

Oleh karena itu, analisis daya dukung tanah dan penurunan fondasi menjadi aspek utama yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan fondasi, khususnya pada bangunan bertingkat. Salah satu jenis fondasi dangkal yang banyak diterapkan pada bangunan bertingkat rendah hingga menengah adalah fondasi telapak. Fondasi ini memiliki bentuk sederhana, relatif ekonomis, dan efektif dalam mendistribusikan beban ke tanah pendukung. Namun, penerapannya harus didukung oleh analisis geoteknik yang memadai agar kapasitas daya dukung tanah mampu menahan beban rencana dan besarnya penurunan tetap berada dalam batas yang diizinkan. Dalam praktik geoteknik, parameter tanah umumnya diperoleh melalui penyelidikan lapangan, salah satunya menggunakan *Standard Penetration Test* (SPT). Nilai N-SPT dapat dikorelasikan dengan berbagai parameter geoteknik, seperti berat isi tanah, kohesi, sudut geser dalam, dan modulus elastisitas, sehingga dapat dimanfaatkan untuk analisis daya dukung dan penurunan fondasi (Das, 1995).

Penelitian ini direncanakan pada kedalaman 2,9 m di bawah dasar *basement*. Elevasi dasar *basement* berada pada -3,5 m dari permukaan tanah eksisting, sehingga elevasi dasar fondasi berada pada -6,4 m dari permukaan tanah. Kedalaman tersebut dipilih karena berada pada lapisan tanah yang mempunyai kapasitas dukung yang cukup untuk menopang beban dari bangunan. Data tanah mencapai kedalaman 20,00 m didapat jenis tanah dominan lempung kelanauan, melalui data *borlog* (*Standard Penetration Test*/N-SPT) yang memberikan informasi mengenai kepadatan dan kekuatan tanah pada setiap kedalaman. Data pembebanan struktur yang diperoleh dari hasil analisis menggunakan perangkat lunak ETABS. Perhitungan daya dukung tanah dilakukan dengan metode *Terzaghi* dan *Brinch Hansen*, sedangkan analisis penurunan fondasi dilakukan menggunakan faktor keamanan (FS) sebesar 3. Apabila hasil analisis belum memenuhi syarat, dilakukan penyesuaian variasi dimensi fondasi

melalui perhitungan manual dan simulasi menggunakan perangkat lunak *Settle3D*. Penggunaan dua pendekatan tersebut bertujuan untuk memperoleh hasil analisis yang saling memverifikasi sehingga meningkatkan keandalan evaluasi terhadap kinerja fondasi. Beberapa penelitian terdahulu telah membahas daya dukung dan penurunan fondasi dengan pendekatan berbeda-beda. (Rizki, 2024) menganalisis daya dukung dan penurunan struktur bawah gedung kuliah menggunakan metode *Terzaghi*, *Brinch Hansen*, *Mayerhoff*, dan *Vesic*, dengan hasil menunjukkan fondasi tetap aman meski dibangun lebih dangkal dari rencana. (Ramanda, 2023) mengkaji fondasi telapak dengan perkuatan cerucuk pada tanah berkadar air tinggi untuk meningkatkan daya dukungnya. (Yuliawan & Rahayu, 2018) menganalisis daya dukung dan penurunan pondasi tiang berdasarkan data SPT dan *cyclic load test*. Sementara itu, (Kalendesang et al., 2022) meneliti penurunan fondasi dangkal menggunakan *Settle3D* dan menyimpulkan seluruh fondasi aman terhadap penurunan diferensial. Berbeda dari penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter tanah berdasarkan data N-SPT pada Gedung 4 lantai, menghitung daya dukung izin fondasi telapak melalui dua metode, serta menganalisis nilai penurunan secara manual dan *differential settlement* berdasarkan hasil perhitungan maupun simulasi *Settle3D*, guna mengevaluasi tingkat keamanan fondasi telapak terhadap beban bangunan.

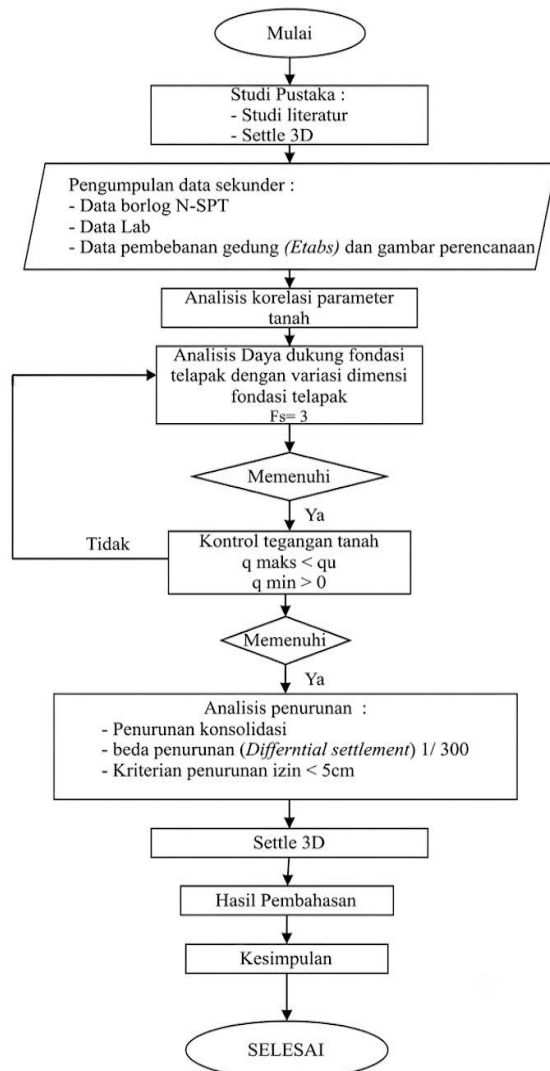
2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir

Penyajian diagram alir ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai proses penelitian sehingga setiap tahapan dapat dipahami secara runtut dan sesuai dengan metode yang diterapkan yang dapat dilihat pada **Gambar 1**. Penelitian ini diawali dengan tahap studi pustaka, yang mencakup studi literatur dan pemahaman terhadap perangkat lunak *Settle3D*, sebagai landasan teori dalam merancang metode analisis. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data sekunder, meliputi data *borlog* N-SPT, data laboratorium, serta data pembebanan gedung (*ETABS*) dan gambar perencanaan. Data tersebut kemudian diolah melalui analisis korelasi untuk memperoleh parameter tanah. Berdasarkan parameter tanah yang diperoleh, dilakukan analisis daya dukung fondasi telapak dengan variasi dimensi fondasi telapak, telapak hingga kriteria daya dukung tercapai. Setelah syarat daya dukung terpenuhi, analisis dilanjutkan dengan kontrol tegangan tanah, yaitu

EVALUASI DAYA DUKUNG DAN *SETTLEMENT* FONDASI TELAPAK BERDASARKAN N-SPT DENGAN PENDEKATAN ANALITIK DAN *SETTLE3D* (Peter Cristianson Tibo Naro, Danang Setiya Raharja)

memastikan tegangan maksimum (q_{maks}) lebih kecil dari daya dukung ultimit (q_u) dan tegangan minimum (q_{min}) bernilai lebih besar dari nol. Apabila kriteria ini belum terpenuhi, dilakukan pengulangan pada tahap analisis daya dukung fondasi dengan variasi dimensi yang berbeda. Setelah kontrol tegangan tanah memenuhi syarat, tahap berikutnya adalah analisis penurunan, yang meliputi penurunan konsolidasi, beda penurunan (*differential settlement*) dengan batas 1/300, serta kriteria penurunan izin sebesar kurang dari 5 cm. Analisis penurunan ini dilakukan lebih lanjut menggunakan perangkat lunak *Settle3D* untuk memperoleh hasil simulasi yang lebih representatif. Hasil analisis tersebut kemudian dibahas pada tahap hasil dan pembahasan, sebelum akhirnya ditarik kesimpulan sebagai penutup penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini diperoleh melalui metode pengumpulan berupa sekunder yang meliputi data properti tanah *Borlog* dan N-SPT, data laboratorium, korelasi parameter tanah menggunakan pendekatan, data sekunder pembebanan struktur bangunan Gedung 4 lantai dan gambar perencanaan.

2.3 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan perhitungan korelasi parameter tanah dan juga untuk daya dukung fondasi menggunakan metode Terzaghi dan Brinch Hansen serta Penurunan fondasi dihitung secara manual menggunakan bantuan *Software excel*. Perhitungan penurunan menggunakan bantuan perangkat lunak *Settle3D* melalui tahapan awal model sampai tahapan *rezult vizualitation* untuk melihat kontur penurunan fondasi dan kedalaman pada bagian menu *query point* dan *query line* serta beda penurunan.

2.4 Daya Dukung Fondasi

Terzaghi (1943) dalam *Das* (1995) menyatakan bahwa fondasi dangkal ditentukan berdasarkan :

$$D_f \leq B \quad (1)$$

dengan :

D_f = Kedalaman fondasi dangkal dari

permukaan tanah (m)

B = Lebar fondasi (m)

Perhitungan persamaan daya dukung ultimit

fondasi telapak Terzaghi dan Brinch Hansen :

$$q_u = cN_c \left(1 + 0,3 \frac{B}{L} \right) + P_0 N_\gamma + 0,5 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \left(1 - 0,2 \frac{B}{L} \right) \quad (2)$$

$$q_u = \frac{q_u}{b.l} = F_{cs} F_{cd} F_{ci} F_{c\delta} F_{c\beta}$$

$$c N_c + F_{qs} F_{qd} F_{qi} F_{q\delta} F_{q\beta}$$

$$P_0 N_q + F_{ys} F_{yd} F_{yi} F_{y\delta} F_{y\beta} 0,5 B \gamma N_\gamma \quad (3)$$

Persamaan perhitungan faktor keamanan daya dukung fondasi ($FS = 3$) :

$$FS_{\text{daya dukung}} = \frac{q_u}{q_{\text{kerja}}} \quad (4)$$

$$q_{\text{izin}} = \frac{q_u}{FS} \quad (5)$$

Adapun nilai korelasi faktor daya dukung fondasi telapak yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Korelasi Faktor Daya Dukung

<i>Angle</i>	<i>Terzaghi</i>	<i>Brinch Hansen</i>				
ϕ	Nc	Nq	Ny	Nc	Nq	Ny
0	5,70	1,00	0,00	5,10	1,00	0,00
2	6,30	1,22	0,18	5,63	1,20	0,01
4	6,97	1,49	0,38	6,19	1,43	0,05
5	7,34	1,64	0,50	6,49	1,57	0,07
6	7,73	1,81	0,62	6,81	1,72	0,11
8	8,60	2,21	0,91	7,53	2,06	0,22
10	9,60	2,69	1,21	8,34	2,47	0,39
12	10,76	3,29	1,70	9,28	2,97	0,63
14	12,11	4,02	2,23	10,37	3,59	0,97
15	12,96	4,45	2,50	10,98	3,94	1,18
16	13,68	4,92	2,94	11,63	4,34	1,43
18	15,52	6,04	3,87	13,10	5,26	2,08
20	17,69	7,44	4,97	14,83	6,40	2,95
22	20,27	9,19	6,61	16,88	7,82	4,13
24	23,36	11,40	8,58	19,32	9,60	5,75
26	27,09	14,21	11,35	22,25	11,85	7,94
28	31,61	17,81	15,15	25,80	14,72	10,94
30	37,16	22,46	19,73	30,14	18,40	15,07

(Sumber : Rizki, 2024)

2.5 Penurunan Fondasi

Tanah lempung yang memiliki nilai permeabilitas rendah, sehingga proses disipasi air pori berlangsung jauh lebih lambat dibandingkan tanah berpasir. Konsekuensinya, penurunan akibat konsolidasi pada tanah lempung dapat berlangsung dalam jangka waktu yang relatif lama setelah pembebanan mulai diterapkan pada lapisan tanah tersebut. Adapun persamaan penurunan konsolidasi :

$$Sc = \frac{H_o.Cc}{1+e_0} \times \log\left(\frac{\sigma' + \Delta\sigma}{\sigma'}\right) \quad (6)$$

Berdasarkan hasil jenis penurunan tersebut dihitung menggunakan persamaan penurunan total :

$$St = Sc \quad (7)$$

Besarnya penurunan total serta penurunan izin ditetapkan dengan mempertimbangkan toleransi struktur maupun bangunan di sekitarnya yang perlu ditinjau berdasarkan kondisi masing-masing kasus dengan memperhatikan aspek integritas, stabilitas, serta fungsi dari struktur yang berada di atasnya (SNI 8460:2017).

Adapun persamaannya :

$$S_{total} < S_{ijin} \quad (8)$$

Untuk penurunan ijin bangunan bertingkat yang diizinkan adalah 5 cm.

2.6 Settle3D

Langkah-langkah dalam menganalisis penurunan fondasi telapak pada program *Settle 3D*:

- Menginput Program unit ,Pemilihan satuan (*unit settings*) menggunakan sistem metrik (SI). Menetapkan judul, model, dan elemen pada kotak dialog, kemudian menuliskan perintah yang akan digunakan.
- Menentukan dimensi model (*model dimension*) dari kasus yang akan dipelajari, yaitu panjang dan lebar area analisis (area domain tanah), kedalaman total lapisan tanah, jarak margin dari ujung fondasi ke tepi domain. Pengaturan ini berguna agar model dapat menangkap distribusi tegangan penurunan dengan baik.
- Pemilihan menggunakan metode analisis dari studi kasus penurunan konsolidasi untuk menilai total penurunan fondasi telapak.
- Selanjutnya melakukan analisis waktu konsolidasi. Pengguna perlu mengatur lama waktu simulasi (misal : 1 tahun, 10 tahun), jumlah langkah waktu dan format waktu. Pengaturan ini menentukan mensimulasikan aliran air pori dan konsolidasi lapisan tanah lempung secara bertahap.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum

Objek penelitian ini adalah gedung 4 lantai yang berfungsi sebagai fasilitas perkuliahan, dengan

EVALUASI DAYA DUKUNG DAN *SETTLEMENT* FONDASI TELAPAK BERDASARKAN N-SPT DENGAN PENDEKATAN ANALITIK DAN *SETTLE3D* (Peter Cristianson Tibo Naro, Danang Setiya Raharja)

struktur bawah berupa fondasi telapak berukuran $1,8 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}$. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi keamanan fondasi terhadap beban struktur, baik dari aspek daya dukung maupun penurunan. Parameter tanah diperoleh melalui korelasi data lapangan, sedangkan beban struktur mengacu pada data proyek yang tersedia, dengan ketentuan pembebanan berdasarkan SNI 2847:2019 dan keamanan struktur mengacu pada SNI 8460:2017. Hasil klasifikasi menunjukkan jenis tanah tergolong lempung. Selanjutnya, daya dukung

fondasi telapak dihitung menggunakan metode Terzaghi dan Brinch Hansen dengan mempertimbangkan variasi dimensi fondasi dan faktor keamanan, sedangkan penurunan fondasi dianalisis baik secara manual maupun menggunakan perangkat lunak *Settle3D*.

3.2 Korelasi Parameter Tanah

Korelasi parameter tanah digunakan untuk menghitung daya dukung fondasi, mengingat adanya keterbatasan pada data hasil pengujian *Borlog* yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Korelasi Parameter Tanah

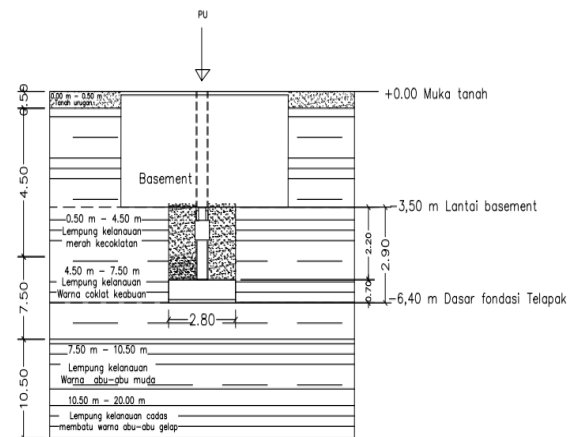
No	Kedalaman (m)	N-SPT	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kPa)	E (kN/m ²)	ν
1.	0.00 – 0.50	7	15	24	5	2800	0,45
2.	0.50 – 4.50	10	16	24	6	4000	0,43
3.	4.50 – 7.50	19	17	24	8	7600	0,38
4.	7.50 – 10.50	53	17	26	10	21200	0,32
5.	10.50 – 20.00	60	18	26	10	24000	0,30

(Sumber : Korelasi parameter N-SPT)

3.3 Data Fondasi Telapak

Fondasi telapak pada gedung 4 lantai terletak di bawah *basement*, mengacu pada gambar potongan elevasi dengan dasar *basement* pada elevasi -3,5 m dari permukaan tanah (elevasi +0,00) dan dasar fondasi pada elevasi -6,40 m. Dengan demikian, kedalaman fondasi yang dihitung dari selisih dasar *Basement* terhadap dasar fondasi diperoleh sebesar 2,9 m. Penentuan parameter tanah pada kedalaman dasar fondasi (-6,4 m) mengacu pada hasil korelasi data lapisan N-SPT sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil korelasi Ditunjukkan pada **Gambar 2**. Diperoleh parameter tanah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 D_f &= 2,9 \text{ meter} \\
 \gamma &= 17 \text{ kN/m}^3 \\
 B_x &= 2,8 \text{ m} \\
 B_y &= 2,8 \text{ m} \\
 \phi &= 24^\circ \text{ (Tabel korelasi)} \\
 c &= 8 \text{ kPa} \\
 h &= 0,70 \text{ m} \\
 \text{Kolom} &= 0,50 \times 0,50 \\
 P_u \text{ total} &= 2221,99 + W_f + W_t \\
 M_{ux} &= 27,739 \text{ kN} \\
 M_{uy} &= 12,699 \text{ kN} \\
 W_x \text{ dan } W_y &= 3,656 \text{ m}^3 \\
 Z &= 2,2 \text{ m} \\
 q &= h \times \gamma_c + z \times \gamma \\
 &= (0,7 \times 24) + (2,2 \times 17) \\
 &= 54,2 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 2. Kedalaman Fondasi Telapak
(Sumber : *Autocad*)

Berikut analisis perhitungan daya dukung menggunakan metode *Brinch Hansen* :

$$\begin{aligned}
 q_u &= \frac{q_u}{b.l} = F_{cs} F_{cd} F_{ci} F_{c\delta} F_{c\beta} c N_c + F_{qs} \\
 &F_{qd} F_{qi} F_{q\delta} F_{q\beta} P_0 N_q + F_{ys} F_{yd} F_{yi} F_{y\delta} F_{y\beta} \\
 &0,5 B \gamma N_\gamma
 \end{aligned}$$

Ambil parameter didasar fondasi (D_f) = 2,9 m

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 17 \text{ kN/m}^3 \\
 \phi' &= 24^\circ \\
 c &= 8 \text{ kPa} \\
 B &= 2,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Faktor daya dukung :

$$\begin{aligned}
 N_c &= 19,32 \\
 N_q &= 9,6 \\
 N_\gamma &= 5,75
 \end{aligned}$$

- a. Faktor bentuk (F_{cs} , F_{qs} , F_{ys}) :
 Untuk fondasi persegi $B = L = 1$

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L} \right) \times \left(\frac{N_q}{N_c} \right)$$

$$= 1 + 1 \times \left(\frac{9,60}{19,32} \right)$$

$$= 1,497 = F_{cs} = 1,3$$

$$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \times \tan \phi'$$

$$= 1 + 1 \times 0,4452 = 1,445 = F_{qs} = 1,2$$

$$F_{ys} = 1 - 0,4 \frac{B}{L}$$

$$= 1 - 0,4$$

$$= 0,6 = F_{ys} = 0,8$$
 $B/L = 1$ (umum diperoleh dari literatur geoteknik terzaghi/bowles (1997) dan Das (2010))
- b. Faktor kedalaman (F_{cd} , F_{qd} , F_{yd}) :
 $Df/B = 2,9 / 2,8$
 $= 1,04 \leq 1$
 Hitung :

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \times \frac{Df}{B}$$

$$= 1 + 2 \times 0,4452 \times (1 - \sin 24^\circ)^2 \times 1,04$$

$$= 1 + 2 \times 0,4452 \times (1 - 0,4067)^2 \times 1,04$$

$$= 1 + 2 \times 0,4452 \times (0,5933)^2 \times 1,04$$

$$= 1 + 2 \times 0,4452 \times 0,3520 \times 1,04$$

$$= 1 + 0,325$$

$$= 1,325$$

$$F_{cd} = F_{qd} \cdot \frac{(1 - F_{qd})}{(N_c \times \tan \phi')}$$

$$= 1,325 \cdot \frac{(1 - 1,325)}{(19,32 \times 0,4452)}$$

$$= 1,362$$
 $F_{yd} \text{ (hansen selalu } = 1 \text{)}$
- c. P_o (tegangan overburden)
 $P_o = \gamma \times Df$
 $= 17 \times 2,9$
 $= 49,3 \text{ kPa}$
- Komponen kohesi :
 $F_{cs} \times F_{cd} \times c \times N_c$
 $= 1,3 \times 1,362 \times 8 \times 19,32$
 $= 273,66 \text{ kPa}$
 - Komponen overburden :
 $F_{qs} \times F_{qd} \times P_o \times N_q$
 $= 1,2 \times 1,325 \times 49,3 \times 9,60$
 $= 752,52 \text{ kPa}$
 - Komponen berat tanah :
 $F_{ys} \times F_{yd} \times 0,5 \times B \times \gamma \times N_\gamma$
 $= 0,8 \times 1,0 \times 0,5 \times 2,8 \times 17 \times 5,75$
 $= 109,48 \text{ kPa}$
- Total daya dukung limit :
 $q_u = 273,66 + 752,52 + 109,48$
- $= 1135,66 \text{ kPa}$
 Daya dukung ijin :
 $SF = 3$ (Faktor keamanan berdasarkan SNI 8460 : 2017)
 $q_{ijin} = \frac{q_u}{SF}$
 $= \frac{1135,66}{3}$
 $= 378,55 \text{ kPa}$
 Total beban terpusat :
 $P_u \text{ total} = P_u + W_f + W_t$
 $= 2221,99 + 131,712 + 293,2$
 $= 2646,902 \text{ kN}$
 Kapasitas total fondasi :
 $A = 2,8 \times 2,8$
 $= 7,84 \text{ m}^2$
 Daya dukung ultimit total :
 $q_{ult} = q_u \times A$
 $= 1135,66 \times 7,84$
 $= 8903,57 \text{ kN}$
 Daya dukung ijin :
 $q_{ijin} = q \times A$
 $= 378,55 \times 7,84$
 $= 2967,86 \text{ kN}$
 Cek terhadap beban :
 $P_u \text{ total} = 2646,902 \text{ kN}$
 Hasil $P_u \text{ total} = 2646,902 < q_{ijin} 2967,86 \text{ kN}$ (Ok)
 Faktor keamanan :
 $F_s = \frac{q_u}{q_u \text{ kerja}} = \frac{1135,66}{337,6} = 3,36 > 3$ (Aman)
 $q_u = 1135,66$
 $q \text{ kerja} = \frac{P}{A} = \frac{2646,902}{7,84} = 337,6 \text{ kPa}$
 Kontrol tegangan yang terjadi pada fondasi :
 $q_{max} = \frac{P_u \text{ total}}{A} + \frac{M_{u_x}}{W_x} + \frac{M_{u_y}}{W_y} + q$
 $= \frac{2646,902}{7,84} + \frac{27,739}{3,6586} + \frac{12,699}{3,6586} + 54,2$
 $= 402,86 \text{ kN/m}^2$
 $q_{max} = 402,86 \text{ kN/m}^2 < q_u = 1135,66$ (OK)
 $q_{min} = \frac{P_u \text{ total}}{A} - \frac{M_{u_x}}{W_x} - \frac{M_{u_y}}{W_y} + q$
 $= \frac{2646,902}{7,84} - \frac{27,739}{3,6586} - \frac{12,699}{3,6586} + 54,2$
 $= 380,76 \text{ kN/m}^2$
 $q_{min} = 380,76 \text{ kN/m}^2 > 0$ (OK)
 Sebelumnya periksa variasi dimensi fondasi memenuhi syarat kapasitas daya dukung dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Hasil Periksa Desain Variasi Dimensi Fondasi

Metode	Variasi periksa desain dimensi Fondasi Telapak BxL (m)		
	1,8 m x 1,8 m	2,6 m x 2,6 m	2,8 m x 2,8 m
<i>Terzaghi</i>			
$P_u \text{ total (kN)}$	2359,96 kN	2583,65 kN	2646,902 kN
$q_{ijin} \text{ (kN)}$	982,78 kN	2155,67 kN	2530,56 kN

EVALUASI DAYA DUKUNG DAN *SETTLEMENT* FONDASI TELAPAK BERDASARKAN N-SPT DENGAN PENDEKATAN ANALITIK DAN *SETTLE3D*
(Peter Cristianson Tibo Naro, Danang Setiya Raharja)

Brinch Hansen			
Pu total (kN)	2359,96 kN	2583,65 kN	2646,902 kN
q ijin (kN)	1337,47 kN	2027,49 kN	2967,86 kN

(Sumber : Hasil Analisis)

Tabel 4. Hasil Periksa FS = 3

Metode	Dimensi fondasi telapak	syarat
	2,8 m x 2,8 m	Fs = 3
<i>Terzaghi</i>	2,86 < 3	Tidak aman
<i>Brinch Hansen</i>	3,36 > 3	Aman

(Sumber : Hasil Analisis)

3.4 Penurunan Fondasi Telapak

Dengan beban merata (po)

$$= 0,024$$

$$q_0 = \frac{P_u \text{ total}}{A}$$

$$q_0 = \frac{2646,902}{7,84}$$

$$q_0 = 336,9 \text{ kPa}$$

Angka pori awal (e₀)

$$\begin{aligned} \text{➤ Lapisan 1} \\ e_0 &= \frac{2,486 \times 9,81}{15} - 1 \\ &= 0,63 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Lapisan 2} \\ e_0 &= \frac{2,486 \times 9,81}{16} - 1 \\ &= 0,52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Lapisan 3} \\ e_0 &= \frac{2,548 \times 9,81}{17} - 1 \\ &= 0,47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Lapisan 4} \\ e_0 &= \frac{2,611 \times 9,81}{17} - 1 \\ &= 0,50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Lapisan 5} \\ e_0 &= \frac{2,486 \times 9,81}{18} - 1 \\ &= 0,35 \end{aligned}$$

Cc :

$$\begin{aligned} \text{➤ Lapisan 1 :} \\ C_c &= 0,30 (e_0 - 0,27) \\ &= 0,30 (0,63 - 0,27) \\ &= 0,108 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Lapisan 2 :} \\ C_c &= 0,30 (e_0 - 0,27) \\ &= 0,30 (0,52 - 0,27) \\ &= 0,075 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Lapisan 3 :} \\ C_c &= 0,30 (e_0 - 0,27) \\ &= 0,30 (0,47 - 0,27) \\ &= 0,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Lapisan 4 :} \\ C_c &= 0,30 (e_0 - 0,27) \\ &= 0,30 (0,50 - 0,27) \\ &= 0,069 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Lapisan 5 :} \\ C_c &= 0,30 (e_0 - 0,27) \\ &= 0,30 (0,35 - 0,27) \end{aligned}$$

Lapisan Tanah (H) diambil di dasar fondasi :

$$H_2 = 1,1 \quad \gamma_2 = 17$$

$$H_3 = 3 \quad \gamma_3 = 17$$

$$H_4 = 9,5 \quad \gamma_4 = 18$$

Tegangan efektif awal :

$$\begin{aligned} \sigma' &= H_1 \times \gamma_1 + H_2 \times \gamma_2 + H_3 \times \gamma_3 + \frac{H_4}{2} \times \gamma_4 \\ &= 4,5 \times 16 + 3 \times 17 + 3 \times 17 + \frac{9,5}{2} \times 18 \\ &= 259,5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tegangan efektif lapisan :

$$\Delta \sigma' = \frac{q_0 \times B^2}{(B+Z)^2}$$

➤ Lapisan 2 :

$$\begin{aligned} \Delta \sigma'^2 &= \frac{336,9 \times 2,8^2}{(2,8 + 1,1)^2} \\ &= 173,6 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

➤ Lapisan tengah 3 :

$$\begin{aligned} \Delta \sigma'^3 &= \frac{336,9 \times 2,8^2}{(2,8 + 3)^2} \\ &= 78,51 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

➤ Lapisan bawah 4 :

$$\begin{aligned} \Delta \sigma'^4 &= \frac{336,9 \times 2,8^2}{(2,8 + 9,5)^2} \\ &= 17,45 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga Penurunan konsolidasi setiap lapisan :

➤ Lapisan 2 :

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{H_0 \cdot C_c}{1 + e_0} \times \log \left(\frac{\sigma_0' + \Delta \sigma'}{\sigma_0'} \right) \\ &= \frac{1,1 \times 0,075}{1 + 0,52} \times \log \left(\frac{259,5 + 173,6}{259,5} \right) \\ &= 0,01207 \text{ m} = 1,2 \text{ cm} \end{aligned}$$

➤ Lapisan tengah 3 :

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{H_0 \cdot C_c}{1 + e_0} \times \log \left(\frac{\sigma_0' + \Delta \sigma'}{\sigma_0'} \right) \\ &= \frac{3 \times 0,06}{1 + 0,47} \times \log \left(\frac{259,5 + 78,51}{259,5} \right) \\ &= 0,014 \text{ m} = 1,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

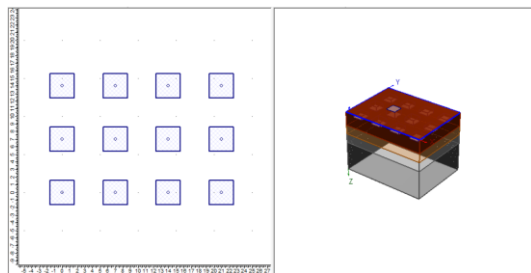
➤ Lapisan bawah :

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{H_0 \cdot C_c}{1 + e_0} \times \log \left(\frac{\sigma_0' + \Delta \sigma'}{\sigma_0'} \right) \\ &= \frac{9,5 \times 0,024}{1 + 0,35} \times \log \left(\frac{259,5 + 17,45}{259,5} \right) \\ &= 0,0047 \text{ m} = 0,48 \text{ cm} \end{aligned}$$

Total setiap lapisan = 3,08 cm
 Penurunan Total = 3,08 cm
 Kriteria penurunan izin = 5 cm
 Penurunan total hasil perhitungan manual 3,08 cm. Merujuk pada SNI 8460:2017, batas penurunan yang diizinkan untuk bangunan bertingkat ditetapkan sebesar 5 cm, sehingga memenuhi persyaratan.

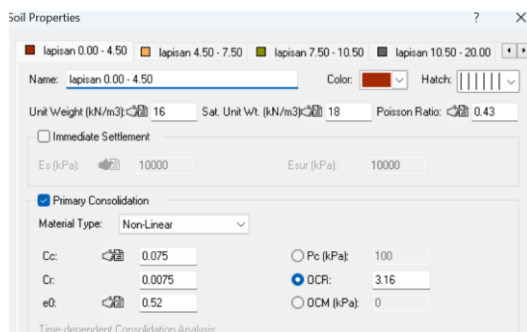
3.5 Analisis Penurunan Program *Settle3D*

Analisis penurunan manual fondasi Teapak menggunakan program *Settle3D*. Tahap pertama membuat pemodelan tampilan *plan view 2D* letak sesuai gambar luas bangunan 14 m x 21 m. m dan jarak *grid* 7 meter antara fondasi. Dan menginput beban P_u total ($P_u + W_f + W_t$) yang bekerja pada setiap fondasi dibagi luas fondasi 7,84 m² dibagian menu *load*. untuk kedalaman fondasi mengikuti elevasi dasar fondasi berada kedalaman 6,4 m di bagian menu *load*. Hasil pemodelan dapat dilihat pada **Gambar 3**.

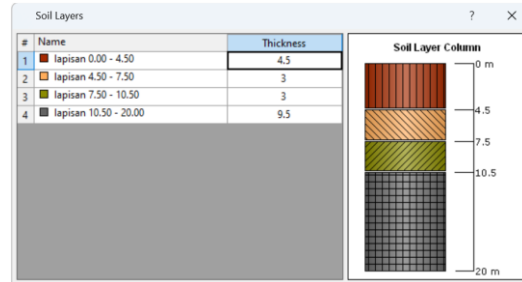


Gambar 3. *Plan View 2D* dan 3D
 (Sumber : Hasil Analisis)

Setelah pemodelan *plan view* terbentuk masukan material yang digunakan sesuai data lapisan tanah hasil korelasi parameter. Parameter yang di input dibagian menu *Soil properties* dan *Soil layers* yang dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

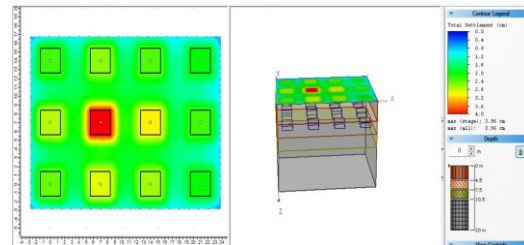


Gambar 4. *Soil Properties* Parameter Lapisan Tanah
 (Sumber : Hasil Analisis)

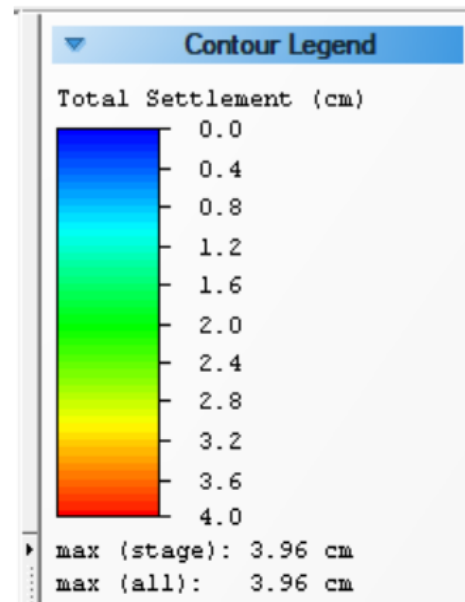


Gambar 5. *Soil Layers* Parameter Lapisan Tanah (Sumber : Hasil Analisis)

Setelah semua material di input, kemudian masuk ke menu *Field Point Grid* untuk menghitung hasil penurunan setiap titik fondasi dan di tampilkan dalam bentuk kontur penurunan dapat dilihat pada **Gambar 6**. Hasil total penurunan 3,96 cm < 5 cm yang dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 6. Visualisasi Kontur Penurunan
 (Sumber : Hasil Analisis)

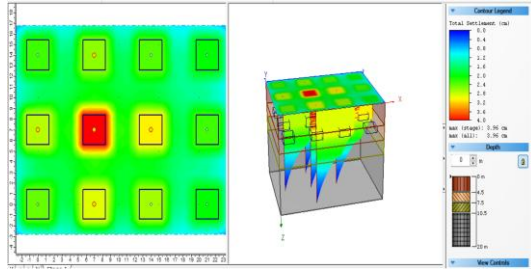


Gambar 7. Total Penurunan
 (Sumber : Hasil Analisis)

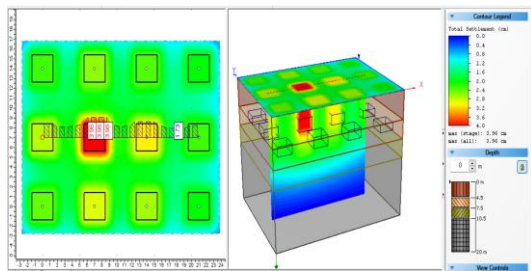
Kemudian dilakukan pengecekan perilaku jenis tanah secara lebih rinci, dilakukan pengamatan di setiap titik fondasi. Pengamatan ini

EVALUASI DAYA DUKUNG DAN *SETTLEMENT* FONDASI TELAPAK BERDASARKAN N-SPT DENGAN PENDEKATAN ANALITIK DAN *SETTLE3D* (Peter Cristianson Tibo Naro, Danang Setiya Raharja)

menggunakan *Point query* dan *Line query*. Yang dapat dilihat pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**.



Gambar 8. Kontur *Point Query*
(Sumber : Hasil Analisis)



Gambar 9. Kontur *Line Query*
(Sumber : Hasil Analisis)

Setelah pengecekan perilaku jenis tanah, kemudian *setting* analisis waktu penurunan konsolidasi di bagian menu *project settings* yang dibutuhkan tanah lempung untuk mengalami penurunan akibat beban diatasnya. Hasil yang dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Gambar 10**

Tabel 5. Waktu dan Total Penurunan

Jangka Waktu	Waktu (Hari)	Total Penurunan(cm)
	0	0
1 minggu	7	0,04
1 bulan	30	0,09
6 bulan	180	0,38
1 tahun	365	0,68
5 tahun	1825	1,16
10 tahun	3650	2,06
20 tahun	7300	3,14

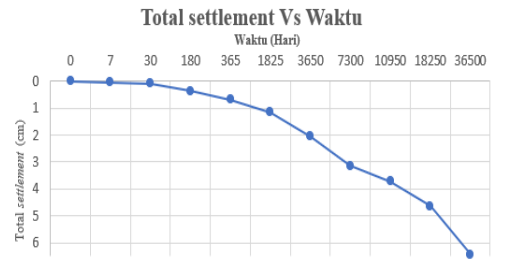
Tabel 6. Hasil *Differential Settlement*

Titik Tinjau	<i>Settlement</i> (cm)	δ (cm)	L (cm)	δ / L (cm)	Hasil (cm)	syarat
F6	3,92	1,12	700	1,12 / 700	0,0016	aman
F5	2,8					
F3	2,4	0,4	700	0,4 / 700	0,00057	aman
F4	2,08					
F6	3,92	0,88	700	0,88 / 700	0,00125	aman

30 tahun	10950	3,72
50 tahun	18250	4,64
100 tahun	36500	6,43

(Sumber : Hasil Analisis)

Mengacu **Tabel 5**, batas aman hingga tahun ke-50, namun pada tahun ke-100 telah melampaui batas izin yang ditetapkan.



Gambar 10. Total Penurunan Vs Waktu
(Sumber : Hasil Analisis)

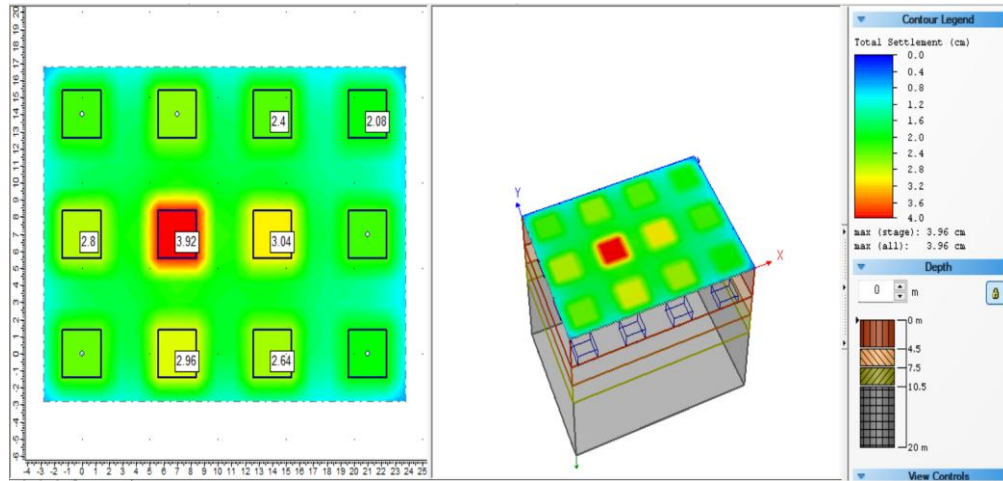
Mengacu **Gambar 10** menunjukkan hubungan antara total penurunan fondasi dan waktu selama 100 tahun (36.500 hari). Pada tahap awal (0–365 hari), penurunan masih kecil, di bawah 1 cm. Namun seiring waktu, penurunan terus meningkat secara progresif, mencapai sekitar 5,5–6 cm di akhir periode pengamatan. Bentuk kurva yang melengkung ke bawah menunjukkan laju penurunan yang semakin cepat, mengindikasikan proses konsolidasi tanah jangka panjang.

Setelah analisis waktu konsolidasi, kemudian periksa beda penurunan / *differential settlement* pada titik fondasi yang paling kritis dimana keamanan memenuhi $1/300 = 0,00333$ yang dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Mengacu **Tabel 6**, perhitungan rasio penurunan diferensial (δ/L) pada seluruh titik tinjau (F3–F11) menghasilkan nilai antara 0,00045 cm–0,0016 cm, yang seluruhnya memenuhi syarat batas aman terhadap penurunan diferensial struktur. Bagian titik tinjau fondasi dapat dilihat pada **Gambar 11**.

F7	3,04					
F10	2,96					
F11	2,64	0,32	700	0,32 / 700	0,00045	aman

(Sumber : Hasil Analisis)



Gambar 11. Titik Tinjau Fondasi Beda Penurunan
(Sumber : Hasil Analisis)

Mengacu **Gambar 11**, menunjukkan distribusi penurunan fondasi telapak hasil analisis menggunakan perangkat lunak *Settle3D*. Hasil analisis memperlihatkan bahwa besarnya penurunan pada setiap fondasi berbeda, dengan penurunan maksimum terjadi pada fondasi F6 sebesar 3,92 cm.

4. KESIMPULAN

Analisis daya dukung dan penurunan fondasi telapak gedung 4 lantai berdasarkan data N-SPT menunjukkan bahwa fondasi dengan dimensi 2,8 m × 2,8 m dan tebal 0,7 m pada kedalaman 2,9 m dinyatakan aman, menggunakan metode *Brinch Hansen* $SF = 3,36 > 3$ (OK). Dengan kedalaman 6,4 m mengacu pada elevasi gambar untuk penurunan total yang diperoleh sebesar 3,08 cm (manual) dan 3,96 cm (*Settle3D*), Merujuk pada SNI 8460:2017, batas penurunan yang diizinkan untuk bangunan bertingkat ditetapkan sebesar 5 cm.

Sementara nilai *differential settlement* berkisar 0,00045 cm – 0,0016 cm, memenuhi batas izin sehingga fondasi tidak berisiko menimbulkan retak struktur. Dengan demikian, dimensi fondasi tersebut memenuhi persyaratan teknis keamanan struktur bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

Defitri, H., Nanda, & Imani, R. (2023). Analisa daya dukung dan penurunan fondasi telapak pada proyek pembangunan Gedung Ria International Islamic

Boarding School, Solok. *Teknik Sipil ACE Conference*, 8(8), 620–628. Kalendesang, N. C., Ticoh, J. H., & Legrans, R. R. (2022). Analisis Penurunan Fondasi Dangkal Menggunakan Program *Settle3D* (Studi Kasus: SMA Eben Haezar Manado). *Tekno*, 20(nomor 82), 459–468. <https://ejournal.unsrat.ac.id/>

Ramanda, D. (2023). Analisis Perhitungan Daya Dukung Pondasi Telapak Dengan Perkuatan Cerucuk Pada Proyek Pembangunan Dockyard Kabupaten Barito Kuala Provinsi Kalimantan Selatan. Universitas Sangga Bandung.

Rizki, I. (2024). Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Struktur Bawah Pada Pembangunan Gedung Kuliah Uin Sjech M. Djamil Djambek Bukittinggi [Skripsi]. Universitas Muhammadiyah Sumatra Barat.

Yuliawan, E., & Rahayu, T. (2018). Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Berdasarkan Pengujian Spt Dan Cyclic Load Test. *Jurna Konstruksia*, volume 9(No 2), 1.

Kalogo, E., Bela, K. R., & Sianto, P. (2021). Analisis penurunan segera pada pondasi telapak berdasarkan nilai daya dukung Terzaghi, Mayerhof, Brinch Hansen, dan Vesic. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 8(1), 15–22. <https://doi.org/10.21063/jts.2021.v801.03>

Banda, P. K. K., & Raharja, D. S. (2025). Perkuatan lereng menggunakan dinding

EVALUASI DAYA DUKUNG DAN *SETTLEMENT* FONDASI TELAPAK BERDASARKAN N-SPT DENGAN PENDEKATAN ANALITIK DAN *SETTLE3D*
(Peter Cristianson Tibo Naro, Danang Setiya Raharja)

- penahan tanah tipe gravity wall di Sungai Manikin Kabupaten Kupang. *Axial: Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, 13(2), 211–219.
<https://doi.org/10.30742/axial.v13i2.4284>
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika tanah 1*. Gadjah Mada University Press.
- Sihaan, & Putra, F. I. (2022). Analisa Daya dukung dan Penurunan Tanah terhadap Pondasi Telapak di Riset MBKM. 1–36
- Muda, A. (2016). Analisis daya dukung tanah fondasi dangkal berdasarkan data laboratorium. *Jurnal INTEKNA*, 16(1), 1–6.
- Sari, U. C., Sholeh, M. N., Pratama, M. M. A., Aritonang, I. J., & Prasetya, F. D. (2021). Analisis kapasitas daya dukung pada ragam pondasi beton bulat menggunakan Standard Penetration Test (SPT). *Pondasi*, 26(1), 38–47.
<https://doi.org/10.30659/pondasi.v26i1.17461>
- Sarifah, F., Handiman, I., & Gusnadi, Z. (2023). Prinsip penentuan kapasitas dukung fondasi dangkal berdasarkan metode analitik rasional. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 4(2), 74–87.
<https://doi.org/10.37058/aks.v4i2.6534>
- Kristyanto, H., Purwoko, F., & Wijayanti, L. (2022). Perbandingan daya dukung dan penurunan tanah pada pondasi dangkal berdasarkan data SPT dan CPT. *CivETech: Civil Engineering and Technology Journal*, 4(2), 17–30.
- Jaelani, F. S., & Syafier, S. (2023). Perancangan program analisa daya dukung dan perencanaan fondasi telapak berdasarkan SNI 2847:2013. *Cerdika: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 3(12), 350–358.
- Asngari, H., Gandi, S., & Sarie, F. (2021). Perbandingan nilai daya dukung fondasi dangkal menurut metode Terzaghi dan Meyerhof. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 10(1), 17–21.
<https://doi.org/10.33084/mits.v10i1.2339>
- Isnaniati, & L, D. (2017). Studi komparatif daya dukung pondasi tiang dengan teori Meyerhoff terhadap teori L'Decourt berdasar hasil uji N-SPT di Surabaya Timur. *Agregat*, 2(2), 153–160.