



Evaluasi Kapasitas Fondasi Dangkal Terhadap Perubahan Desain Gedung Perkantoran Di Kabupaten Minahasa Tenggara

Yusril Ihsan^{#a}, Roski R. I. Legrans^{#b}, Jack H. Tico^{#c}

^{#a}Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^ayusrilihsan021@student.unsrat.ac.id, ^blegransroski@unsrat.ac.id, ^cjack.tico@unsrat.ac.id

Abstrak

Perubahan desain pada Gedung Perkantoran di Kabupaten Minahasa Tenggara mengakibatkan peningkatan beban struktur yang harus dipikul oleh fondasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi daya dukung dan penurunan fondasi dangkal akibat perubahan desain tersebut. Data tanah yang digunakan berupa data sekunder hasil uji Cone Penetration Test (CPT) yang diperoleh dari Dinas PUPR Kabupaten Minahasa Tenggara. Analisis daya dukung dilakukan dengan pendekatan teoritis menggunakan metode Meyerhof (1963), Vesic (1973, 1975), dan Hansen (1970). Hasil perhitungan menunjukkan daya dukung ultimit masing-masing sebesar 1452,38 kN, 1558,12 kN, dan 1450,32 kN. Beban izin yang diperoleh lebih besar dibandingkan beban struktur, yaitu 1089,28 kN > 1028,94 kN (Meyerhof), 1168,59 kN > 1028,94 kN (Vesic), dan 1085,88 kN > 1028,94 kN (Hansen). Analisis penurunan fondasi menggunakan perangkat lunak Settle3D menunjukkan bahwa setelah dimensi fondasi diperbesar, penurunan maksimum mencapai 115,93 mm. Beberapa fondasi masih mengalami penurunan diferensial melebihi batas L/300, sehingga kondisi ini belum memenuhi kriteria keamanan. Sebagai alternatif perkuatan, direkomendasikan penggunaan mini pile tiang kelompok untuk mengurangi risiko penurunan diferensial dengan meneruskan beban ke lapisan tanah keras. Hasil analisis menunjukkan penurunan maksimum pada mini pile dengan panjang 3,7 m, 2,9 m, dan 2,5 m masing-masing sebesar 16,22 mm, 15,55 mm, dan 14,2 mm.

Kata kunci: daya dukung, fondasi dangkal, mini pile, penurunan diferensial, CPT

1. Pendahuluan

Indonesia mengalami perkembangan pesat dalam pembangunan infrastruktur, seiring dengan pertumbuhan ekonomi, peningkatan jumlah penduduk, serta meningkatnya kebutuhan akan sarana dan prasarana publik. Gedung perkantoran merupakan salah satu infrastruktur strategis yang berperan dalam menunjang kegiatan administrasi, birokrasi, layanan masyarakat, maupun aktivitas bisnis. Di Kabupaten Minahasa Tenggara, pembangunan gedung perkantoran terus meningkat, sejalan dengan misi pemerintah daerah untuk mewujudkan kabupaten cerdas melalui penyediaan sarana dan prasarana yang memadai.

Fondasi merupakan elemen dasar bangunan yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah. Keamanan dan kestabilan suatu gedung sangat bergantung pada kapasitas daya dukung fondasi (Bowles, 1997). Kegagalan fondasi sering menjadi penyebab utama keruntuhan bangunan, sehingga analisis terhadap daya dukung tanah dan desain fondasi menjadi aspek krusial dalam perencanaan struktur.

Fondasi dangkal merupakan tipe fondasi yang paling banyak digunakan di Indonesia, termasuk di Kabupaten Minahasa Tenggara. Selain relatif ekonomis dan mudah dikerjakan, fondasi dangkal sesuai untuk bangunan dengan beban sedang dan kondisi tanah yang cukup baik. Umumnya, fondasi dangkal digunakan pada bangunan dua hingga tiga lantai, termasuk gedung perkantoran.

Dalam praktiknya, tidak jarang bangunan mengalami perubahan desain setelah digunakan dalam jangka waktu tertentu. Gedung perkantoran, misalnya, dapat dialihfungsikan menjadi

apartemen, hotel, pusat komersial, atau mengalami penambahan lantai. Fenomena ini relevan untuk diteliti karena pemerintah daerah, khususnya Kabupaten Minahasa Tenggara, cenderung melakukan optimalisasi pemanfaatan aset gedung.

Salah satu gedung yang mengalami perubahan desain adalah Gedung Bagian Perencanaan dan Keuangan Sekretariat Daerah Kabupaten Minahasa Tenggara, yang direncanakan untuk penambahan lantai menjadi ruang pertemuan atau aula dengan kapasitas pengguna lebih besar. Kondisi ini menuntut evaluasi teknis terhadap kapasitas fondasi secara menyeluruh.

Penelitian ini berfokus pada evaluasi kapasitas dan penurunan fondasi akibat beban tambahan dari perubahan desain gedung. Analisis dilakukan untuk menentukan apakah fondasi eksisting masih aman digunakan atau diperlukan tindakan teknis berupa perkuatan fondasi.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian kuantitatif dengan pendekatan analisis deskriptif. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian menekankan pada pengolahan data numerik, seperti parameter tanah hasil uji CPT, dimensi fondasi, serta beban bangunan, yang kemudian dianalisis untuk menentukan kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan kapasitas fondasi terhadap beban struktur yang timbul akibat perubahan desain gedung. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran teknis mengenai kelayakan fondasi eksisting dalam menahan beban tambahan, sekaligus mengidentifikasi kebutuhan akan tindakan teknis perkuatan apabila fondasi tidak memenuhi kriteria keamanan.

2.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada pada Gedung Bagian Perencanaan dan Keuangan Sekretariat Daerah Kabupaten Minahasa Tenggara, yang terletak di Jl. Soekarno, Kelurahan Lowu Utara, Kecamatan Ratahan, Kabupaten Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara. Gedung ini dipilih sebagai objek penelitian karena mengalami perubahan desain berupa penambahan lantai yang berfungsi sebagai ruang pertemuan atau aula, sehingga menimbulkan peningkatan beban struktur yang harus dipikul oleh fondasi. Kondisi tersebut menjadikan lokasi ini relevan untuk dilakukan evaluasi teknis terhadap kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi, guna memastikan apakah fondasi eksisting masih memenuhi kriteria keamanan atau memerlukan tindakan perkuatan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.3 Metode Analisis Data

Dalam penelitian ini digunakan beberapa metode analisis data yang terstruktur untuk mengevaluasi kapasitas dan penurunan fondasi, yaitu sebagai berikut:

- Analisis beban struktur
Beban struktur gedung dihitung sesuai ketentuan SNI 1720:2020 berdasarkan fungsi bangunan. Perhitungan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems) untuk memperoleh besaran beban yang dipikul fondasi setelah perubahan desain.
- Analisis kapasitas fondasi
Daya dukung fondasi dangkal dianalisis menggunakan pendekatan teoritis dengan metode Meyerhof (1951, 1963), Hansen (1970), dan Vesic (1973, 1975). Ketiga metode ini dipilih karena secara luas digunakan dalam perencanaan geoteknik dan mampu memberikan variasi hasil yang dapat dibandingkan untuk memperoleh nilai kapasitas yang lebih representatif.
- Analisis penurunan fondasi
Penurunan fondasi dihitung menggunakan perangkat lunak Settle3D, dengan memperhatikan kondisi tanah dan dimensi fondasi setelah perubahan desain. Evaluasi penurunan diferensial dilakukan berdasarkan kriteria SNI 8460:2017, sehingga dapat ditentukan apakah fondasi masih memenuhi persyaratan batas deformasi yang diizinkan.

2.3.1 Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini berupa hasil pengujian Cone Penetration Test (CPT) atau sondir yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Minahasa Tenggara. Data CPT digunakan untuk mengetahui karakteristik dan kondisi lapisan tanah di lokasi penelitian, meliputi nilai tahanan konus (q_c), hambatan selimut (f_s), serta kedalaman lapisan tanah.

Melalui hasil uji CPT, parameter tanah diturunkan menggunakan korelasi empiris yang telah banyak digunakan dalam kajian geoteknik. Parameter tersebut menjadi dasar dalam analisis kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi.

Tabel 1. Parameter Tanah berdasarkan Korelasi terhadap Hasil Uji CPT

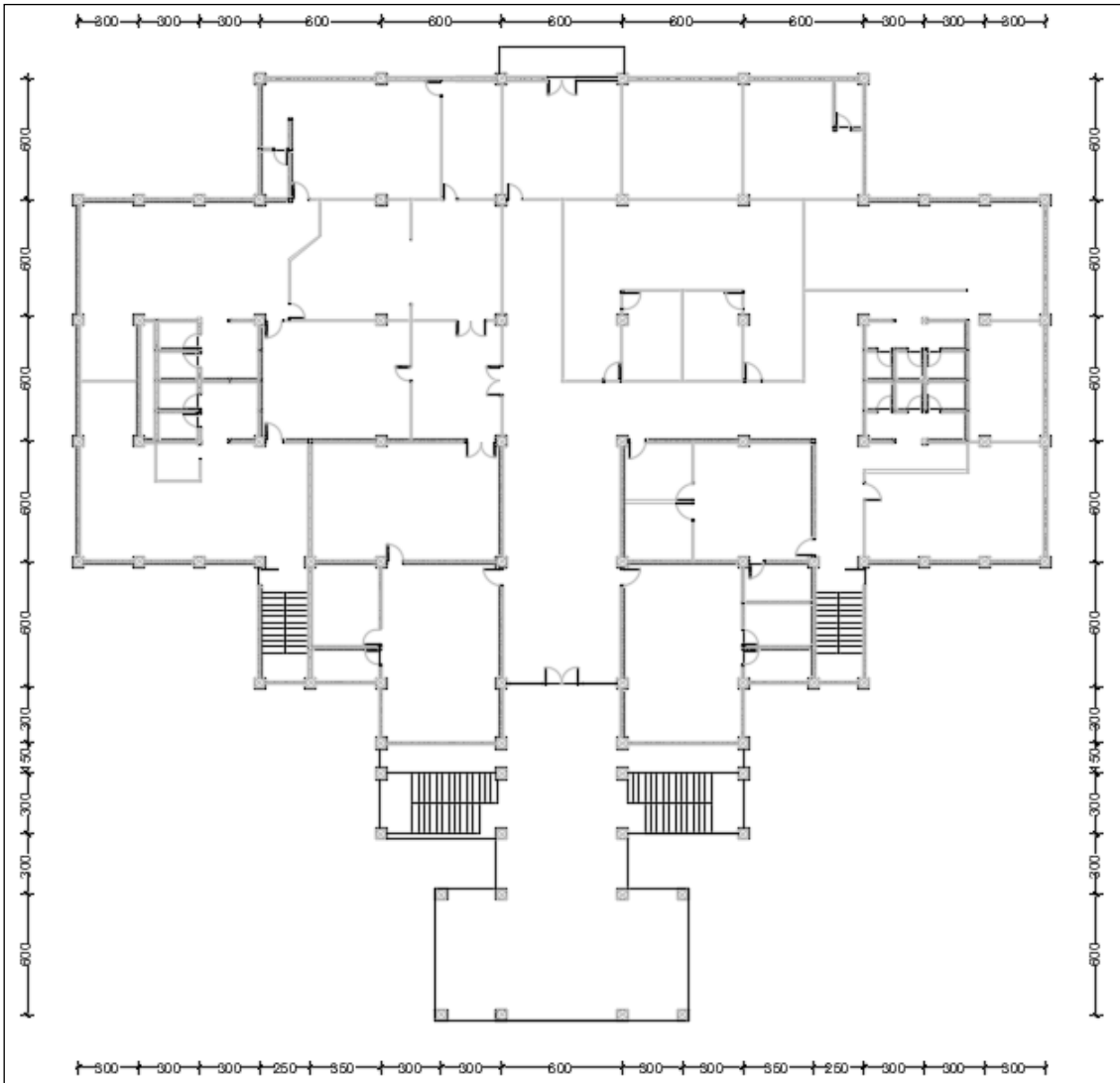
Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Soil Type	γ (kN/m^3)	c_u (kN/m^2)	c' (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)	E (kN/m^2)
0,8	0,8	Sand mixture : silty sand to sandy silt	16,1	0	0	35,91	6913,94
1,4	0,6	Clay - organic soil	15,13	15,4425	1,54	24,19	980,7
2	0,6	Silt mixture : clayey silt & silty clay	16,08	57,3954	5,74	32,12	3530,52
2,4	0,4	Clay : clay to silty clay	15,78	25,1538	2,52	27,72	1618,155
3,4	1	Sand mixture : silty sand to sandy silt	16,18	0	0	32,11	4530,834
5	1,6	Sands : clean sands to silty sands	17,75	0	0	40,07	33723,82

2.3.2 Denah Gedung

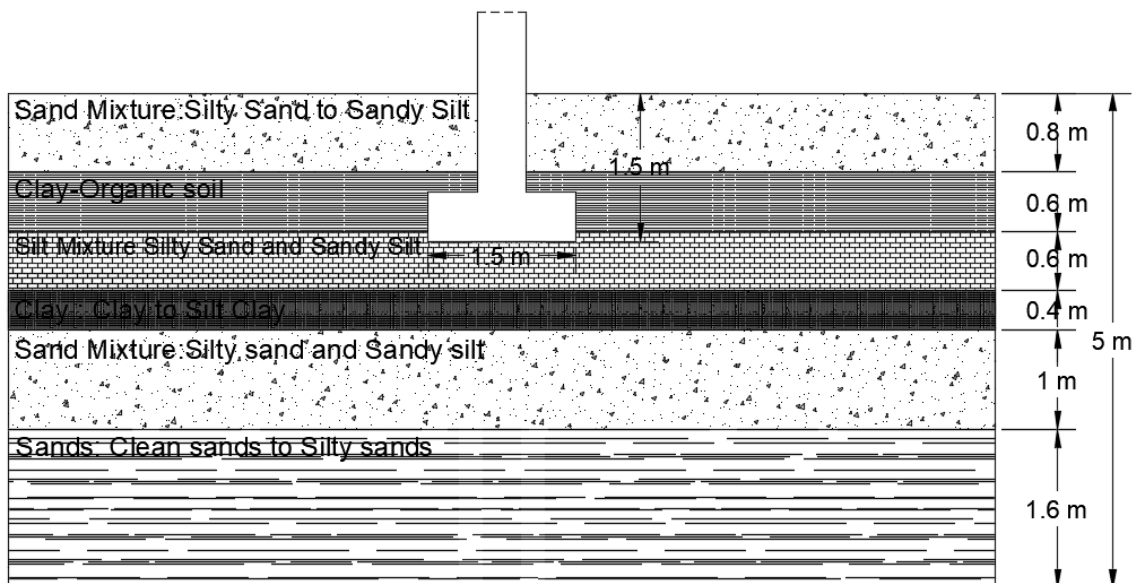
Objek penelitian berupa Gedung Bagian Perencanaan dan Keuangan Sekretariat Daerah Kabupaten Minahasa Tenggara yang berlokasi di Jl. Soekarno, Lowu Utara, Kecamatan Ratahan. Gedung ini direncanakan mengalami perubahan desain berupa penambahan lantai untuk difungsikan sebagai ruang pertemuan atau aula.

Denah gedung digunakan sebagai acuan dalam analisis beban struktur dan distribusi beban ke fondasi. Informasi denah mencakup:

- Konfigurasi ruang: tata letak ruang administrasi, keuangan, serta area yang akan dimodifikasi menjadi ruang pertemuan.
- Dimensi bangunan: panjang, lebar, dan jumlah lantai eksisting yang menjadi dasar perhitungan beban.
- Posisi fondasi: lokasi titik-titik fondasi yang menyalurkan beban ke tanah.
- Arah sumbu bangunan: orientasi struktur terhadap arah X dan Y, penting untuk analisis gaya geser dan distribusi beban gempa.



Gambar 2. Denah Gedung



Gambar 3. Lapisan Tanah di Lokasi Konstruksi berdasarkan Hasil Uji CPT

2.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini disusun secara sistematis untuk mengevaluasi kapasitas dan penurunan fondasi akibat perubahan desain gedung perkantoran di Kabupaten Minahasa Tenggara. Proses penelitian dimulai dengan perumusan masalah, yaitu mengidentifikasi isu peningkatan beban struktur akibat penambahan lantai bangunan. Selanjutnya dilakukan studi literatur guna memperoleh landasan teoritis mengenai daya dukung fondasi dangkal, penurunan tanah, serta metode perkuatan yang relevan.

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data sekunder berupa hasil uji CPT dan gambar denah gedung. Data ini menjadi input utama dalam pemodelan dan analisis beban struktur menggunakan perangkat lunak ETABS. Beban struktur yang diperoleh kemudian digunakan dalam analisis kapasitas fondasi dangkal dengan metode Meyerhof (1951, 1963), Hansen (1970), dan Vesic (1973, 1975).

Hasil analisis kapasitas dibandingkan dengan beban desain. Apabila beban izin (P_{all}) lebih kecil dari beban desain (P_{design}), maka dilakukan perbesaran dimensi fondasi. Jika $P_{all} > P_{design}$, maka dilanjutkan dengan analisis penurunan fondasi menggunakan perangkat lunak Settle3D.

Tahap berikutnya adalah evaluasi penurunan diferensial berdasarkan kriteria SNI 8460:2017. Apabila penurunan diferensial melebihi batas $L/300$, maka dilakukan perbesaran dimensi fondasi atau alternatif perkuatan. Jika penurunan diferensial memenuhi kriteria, maka penelitian dilanjutkan ke tahap hasil dan kesimpulan.

2.5 Perkuatan Fondasi

Perkuatan fondasi dilakukan apabila hasil analisis menunjukkan bahwa daya dukung fondasi dangkal maupun penurunan diferensial berada dalam kondisi tidak aman. Strategi perkuatan yang dipilih dalam penelitian ini adalah penggunaan mini pile tiang kelompok, karena metode ini terbukti efektif dalam meningkatkan kapasitas daya dukung sekaligus mengurangi penurunan tanah secara signifikan.

Tahapan perencanaan perkuatan adalah:

- Uji coba desain dilakukan untuk menentukan diameter tiang, kedalaman tertanam tiang, serta jarak antar tiang yang optimal.
- Mini pile tiang kelompok dipilih karena mampu meneruskan beban langsung ke lapisan tanah yang lebih keras, sehingga mengurangi risiko deformasi berlebih.
- Evaluasi kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil analisis daya dukung dan penurunan terhadap kriteria keamanan yang berlaku.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Pembebanan

Berdasarkan hasil pemodelan dan pembebanan menggunakan perangkat lunak ETABS, dengan mengacu pada denah gedung (Gambar 2) serta kombinasi pembebanan sesuai SNI 1727:2020, diperoleh besaran beban maksimum yang dipikul oleh satu fondasi. Dalam penelitian ini, beban yang digunakan untuk analisis adalah beban gravitasi, yang terdiri atas beban mati (dead load) dan beban hidup (live load) sesuai fungsi gedung.

Hasil analisis menunjukkan bahwa beban gravitasi maksimum yang diterima oleh satu fondasi menjadi dasar perhitungan kapasitas daya dukung fondasi dangkal serta penurunan fondasi. Nilai beban ini kemudian dibandingkan dengan kapasitas izin fondasi untuk menentukan apakah fondasi eksisting masih aman digunakan setelah perubahan desain gedung.

3.2 Analisis Daya Dukung Fondasi Dangkal

Analisis daya dukung fondasi dangkal dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tiga pendekatan teoritis, yaitu metode Meyerhof (1963), metode Vesic (1973–1975), dan metode Hansen (1970). Data tanah yang digunakan berasal dari hasil uji Cone Penetration Test (CPT) atau sondir sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, yang kemudian dikorelasikan untuk memperoleh parameter tanah seperti sudut geser dalam (ϕ'), kohesi tak terdrainase (c_u), dan berat isi tanah (γ). Tahapan analisis meliputi:

- Input data tanah hasil korelasi empiris dari uji CPT;
- Perhitungan faktor daya dukung (N_c , N_q , N_γ) sesuai metode yang digunakan;
- Evaluasi kapasitas ultimit dengan mempertimbangkan dimensi fondasi dan kedalaman pondasi;
- Penentuan kapasitas izin dengan menerapkan faktor keamanan sesuai standar.

Hasil analisis dari ketiga metode menunjukkan hasil yang konsisten, di mana $P_{all} > P_{desain}$ baik pada kondisi eksisting maupun rencana. Faktor keamanan (SF) pada kondisi eksisting relatif tinggi (>8), sedangkan pada kondisi rencana menurun menjadi sekitar 3, namun masih berada dalam batas aman sesuai standar perencanaan fondasi.

Hal ini menegaskan bahwa daya dukung fondasi dangkal masih mencukupi untuk menahan beban tambahan akibat perubahan desain gedung. Namun, meskipun kapasitas daya dukung aman, evaluasi lebih lanjut terhadap penurunan diferensial tetap diperlukan untuk memastikan kestabilan struktur secara keseluruhan.

Tabel 2. Hasil Analisis Pembebanan pada Kombinasi Beban Gravitasi

KOLOM	KOMBINASI BEBAN	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		KN	KN	KN	KN.m	KN.m	KN.m
Beban Satu Lantai							
11	1,4DL	-0,9342	1,5214	241,1409	-2,8488	-1,5678	0,0062
11	1,2DL + 1,6LL + 0,5Lr	-1,5378	2,477	347,8263	-4,6682	-2,5788	0,0086
11	1,2DL + 1,6Lr + LL	-1,2614	2,0372	294,901	-3,8333	-2,1157	0,0073
Beban Tiga Lantai							
11	1,4DL	-0,084	-0,0361	693,601	0,4246	0,0205	-0,002
11	1,2DL + 1,6LL + 0,5Lr	0,3097	-0,8807	1028,9418	2,0706	0,7731	-0,0057
11	1,2DL + 1,6Lr + LL	0,1055	-0,4365	911,1623	1,2499	0,4078	-0,0035

Tabel 3. Hasil Analisis Daya Dukung Fondasi

No	Metode	Bangunan	qult	Pall	Pdesain	q pressure	Kontrol	
			kN/m ²	kN	kN	kN/m ²	Pall > Pdesain	SF
1	Meyerhof (1963)	Eksisting	1452,38	1089,28	347,826	23,566	AMAN	8,15
		Rencana	1452,38	1089,28	1028,942	23,566	AMAN	3,02
2	Vesic (1973, 1975)	Eksisting	1558,12	1168,59	347,826	23,566	AMAN	8,74
		Rencana	1558,12	1168,59	1028,942	23,566	AMAN	3,24
3	Hansen (1970)	Eksisting	1450,32	1087,74	347,826	23,566	AMAN	8,14
		Rencana	1450,32	1087,74	1028,942	23,566	AMAN	3,01

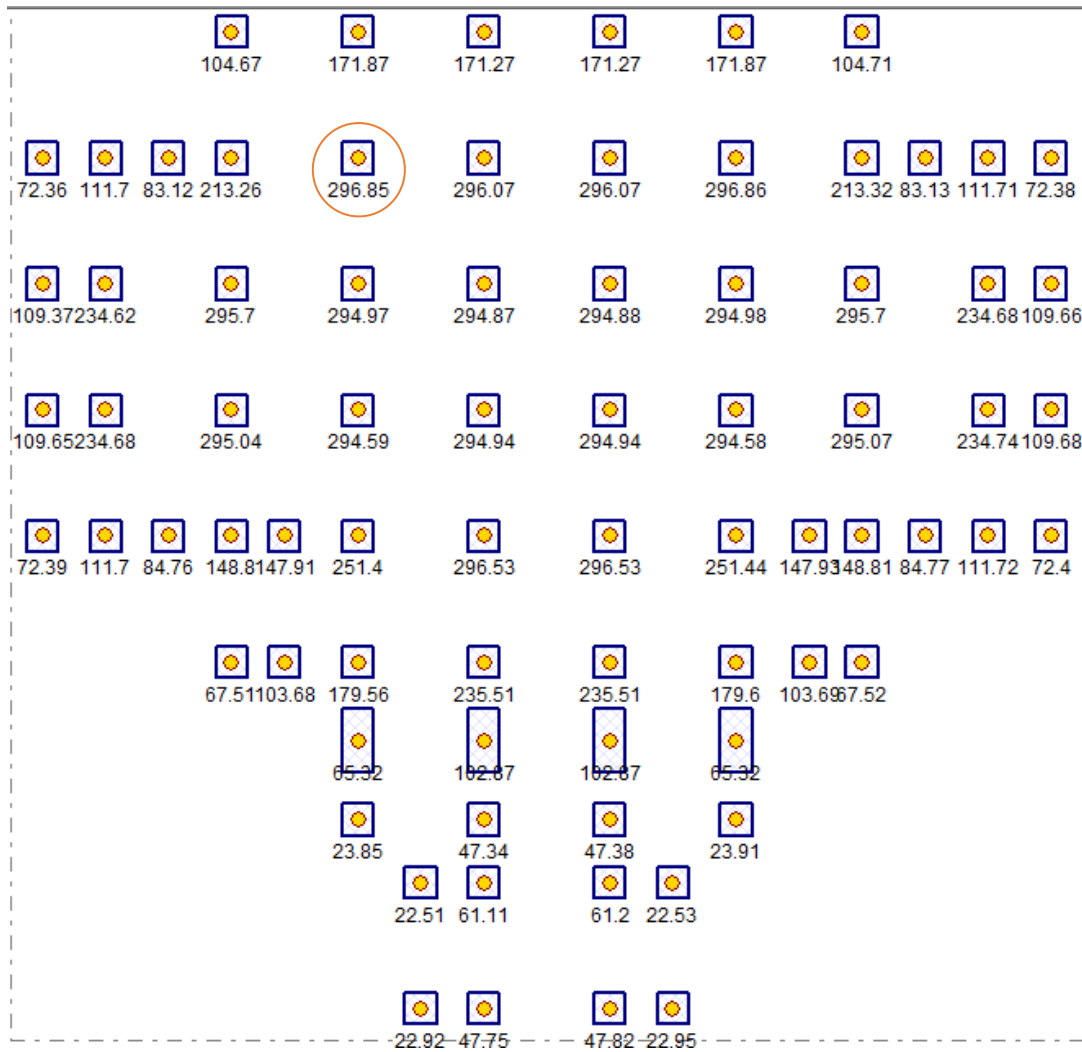
3.3 Analisis Penurunan Fondasi dengan Settle3D

Dengan memasukkan data beban struktur hasil analisis menggunakan perangkat lunak ETABS serta parameter tanah dari uji CPT (Tabel 1), dilakukan simulasi penurunan fondasi menggunakan perangkat lunak Settle3D. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi besarnya penurunan total maupun penurunan diferensial yang terjadi pada fondasi setelah perubahan desain gedung.

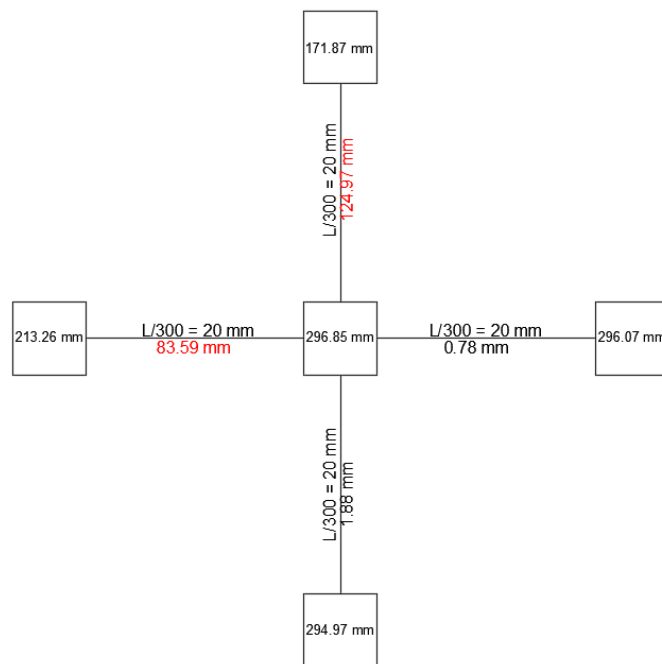
Simulasi penurunan fondasi menggunakan Settle3D menghasilkan distribusi penurunan yang bervariasi pada titik-titik fondasi. Nilai penurunan ditampilkan dalam bentuk grid dengan angka yang menunjukkan besarnya deformasi vertikal (dalam mm) pada setiap titik analisis. Hasil analisis adalah sebagai berikut:

- penurunan maksimum tercatat mencapai sekitar 296 mm pada beberapa titik pusat beban;
- penurunan sedang berada pada kisaran 100–180 mm, terutama di area transisi antara beban tinggi dan rendah;
- penurunan minimum tercatat sekitar 23–65 mm pada area tepi fondasi.

Berdasarkan hasil analisis penurunan menggunakan Settle3D (Gambar 5), terlihat bahwa setiap fondasi mengalami penurunan yang berbeda-beda sesuai dengan besarnya beban yang diterima. Distribusi penurunan ini menunjukkan adanya variasi deformasi vertikal antar titik fondasi, sehingga menimbulkan penurunan diferensial.

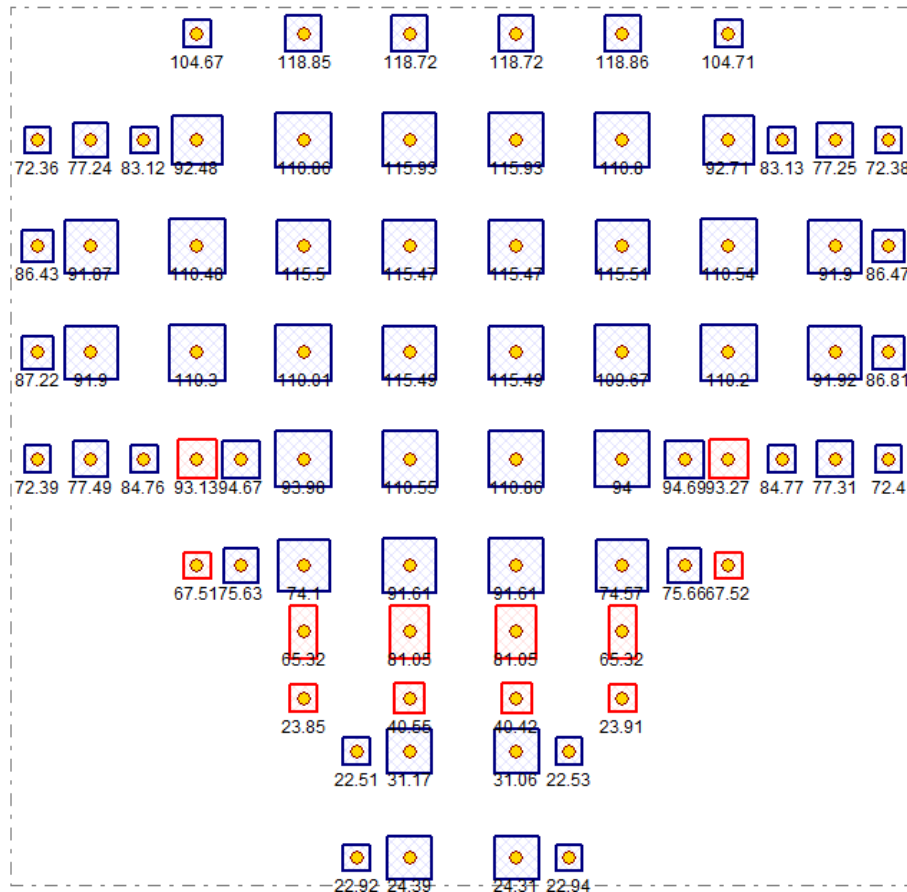


Gambar 4. Penurunan Fondasi berdasarkan Hasil Analisis menggunakan Settle3D



Gambar 5. Beda Penurunan terbesar antar Fondasi

Meskipun kapasitas daya dukung fondasi masih aman, penurunan diferensial yang melebihi batas menandakan bahwa fondasi eksisting tidak sepenuhnya memenuhi kriteria keamanan deformasi. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan evaluasi ulang dimensi fondasi, misalnya dengan memperbesar ukuran fondasi agar distribusi beban lebih merata dan penurunan dapat ditekan. Alternatif lain adalah penerapan perkuatan fondasi dengan mini pile, yang mampu menyalurkan beban ke lapisan tanah keras sehingga penurunan diferensial dapat diminimalkan.



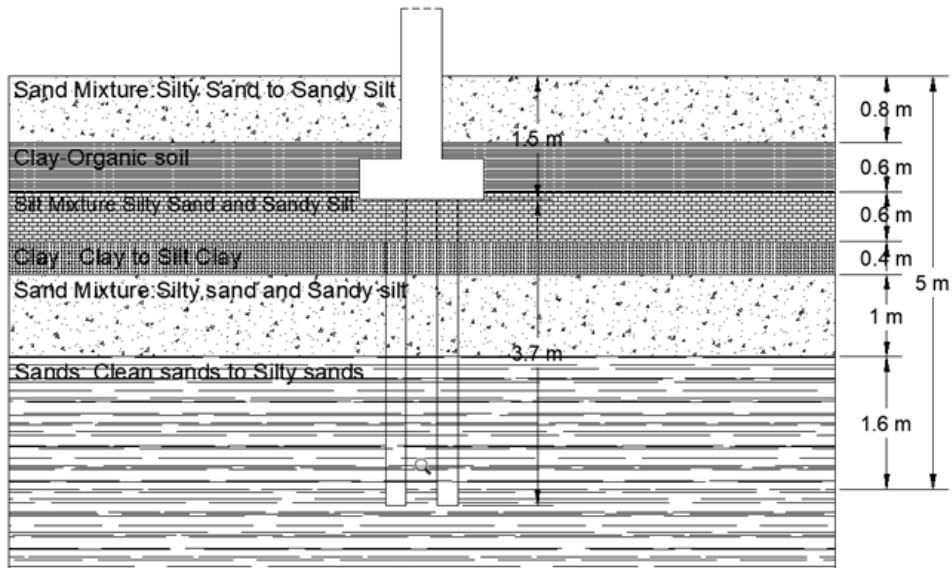
Gambar 6. Nilai Penurunan Fondasi dengan Dimensi Diperbesar

Berdasarkan hasil analisis penurunan pada Gambar 6, meskipun dimensi fondasi telah diperbesar, masih terdapat 12 fondasi yang mengalami beda penurunan lebih dari $L/300$. Kondisi ini menunjukkan bahwa perbesaran dimensi fondasi tidak sepenuhnya efektif dalam mengatasi masalah penurunan diferensial.

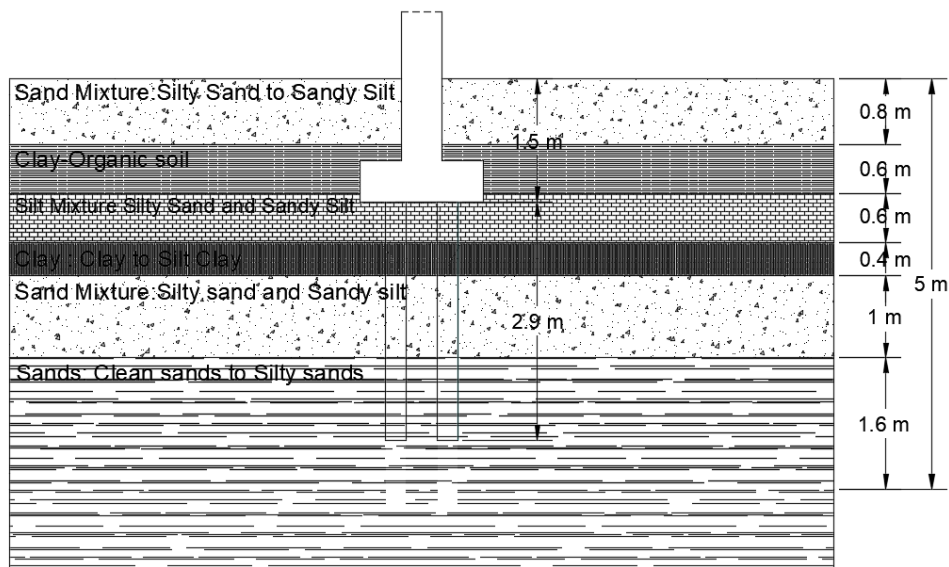
3.4 Analisis Mini Pile Tiang Kelompok

Berdasarkan hasil evaluasi daya dukung fondasi dangkal dan penurunan diferensial, diketahui bahwa fondasi eksisting tidak sepenuhnya memenuhi kriteria keamanan setelah perubahan desain gedung. Oleh karena itu, diperlukan perkuatan fondasi dengan metode mini pile tiang kelompok yang dipasang di bawah fondasi telapak. Mini pile berfungsi untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah yang lebih keras, sehingga mampu meningkatkan kapasitas daya dukung sekaligus mengurangi penurunan tanah. Metode ini dipilih karena efektif pada kondisi tanah dengan daya dukung rendah di lapisan atas, serta sesuai untuk bangunan bertingkat dengan beban tambahan. Tahapan perencanaan mini pile adalah sebagai berikut:

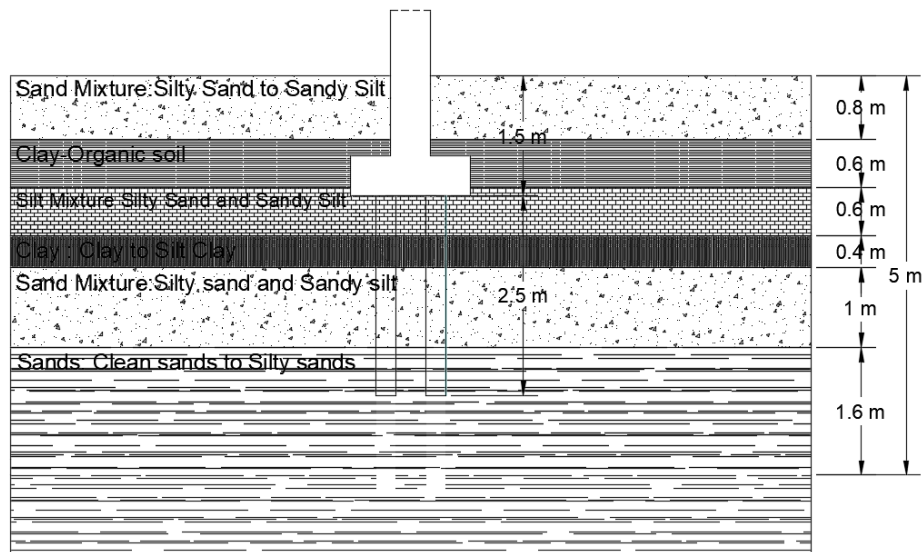
- uji coba desain dilakukan untuk menentukan parameter utama tiang.
- diameter tiang: 0,25 m.
- jarak antar tiang: $2,5D$ ($\approx 0,625$ m).
- kedalaman tertanam tiang: bervariasi sesuai beban yang dipikul masing-masing fondasi.
- analisis daya dukung tiang menggunakan metode Schmertmann dan Nottingham (1975).



Gambar 7. Mini Pile Tiang Kelompok dengan Panjang 3,7 m (untuk beban 800 kN – 1100 kN)



Gambar 8. Mini Pile Tiang Kelompok dengan Panjang 2,9 m (untuk beban 550 kN – 750 kN)

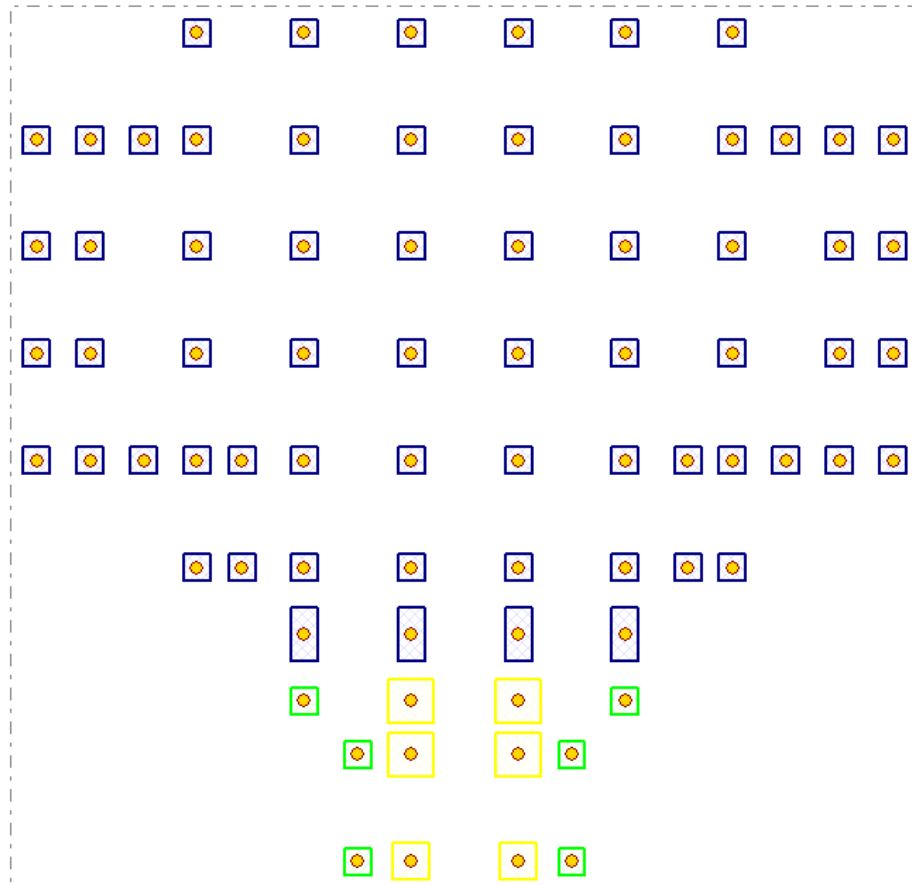


Gambar 9. Mini Pile Tiang Kelompok dengan Panjang 2,5 m (untuk beban 300 kN – 499 kN)

Dari hasil analisis, tidak semua fondasi memerlukan perkuatan berupa mini pile tiang kelompok. Beberapa fondasi cukup dilakukan perubahan dimensi, bahkan ada yang tidak mengalami perubahan sama sekali. Hal ini disebabkan oleh adanya fondasi yang hanya memikul beban relatif kecil dibandingkan fondasi lainnya, sehingga penurunan yang terjadi masih dalam batas aman. Hasil analisis penurunan adalah sebagai berikut:

- mini pile 3,7 m → penurunan maksimum sebesar 16,22 mm.
- mini pile 2,9 m → penurunan maksimum sebesar 15,55 mm.
- mini pile 2,5 m → penurunan maksimum sebesar 14,20 mm.

Nilai penurunan tersebut berada jauh di bawah batas toleransi $L/300$, sehingga kondisi fondasi setelah perkuatan dapat dinyatakan AMAN.



Gambar 10. Konfigurasi Fondasi setelah Evaluasi Kapasitas

Pada Gambar 10, hasil evaluasi menunjukkan bahwa perlakuan terhadap fondasi berbeda-beda sesuai dengan beban yang dipikul dan kondisi penurunan yang terjadi:

- Fondasi berwarna biru → menggunakan mini pile tiang kelompok. Fondasi ini memikul beban besar sehingga memerlukan perkuatan untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah keras dan menekan penurunan diferensial.
- Fondasi berwarna kuning → mengalami perubahan ukuran menjadi $2,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ dan $2,1 \text{ m} \times 2,1 \text{ m}$. Perbesaran dimensi dilakukan agar distribusi beban lebih merata dan penurunan tetap dalam batas aman.
- Fondasi berwarna hijau → tetap pada ukuran asli yaitu $1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$. Fondasi ini memikul beban kecil sehingga tidak memerlukan perubahan dimensi maupun perkuatan tambahan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi kapasitas fondasi dangkal terhadap perubahan desain gedung perkantoran di Kabupaten Minahasa Tenggara, dapat disimpulkan:

- Daya dukung fondasi hasil perhitungan dengan metode Meyerhof (1951, 1963), Vesic (1973, 1975), dan Hansen (1970) masing-masing adalah 1452,38 kN, 1558,12 kN, dan 1450,32 kN.

Metode Vesic memberikan nilai terbesar karena mempertimbangkan kontribusi berat volume tanah lebih tinggi.

- Beban maksimum fondasi setelah perubahan desain adalah 1028,94 kN, sedangkan beban izin dari ketiga metode berada di kisaran 1087–1168 kN. Secara kapasitas, fondasi masih aman, namun aspek kinerja layanan perlu diperhatikan untuk mencegah kerusakan elemen struktural maupun non-struktural.
- Analisis penurunan menunjukkan penurunan maksimum 296,85 mm dan minimum 22,92 mm, dengan banyak fondasi mengalami penurunan diferensial lebih dari $L/300$. Perbesaran dimensi fondasi hingga 3,1 m × 3,1 m menurunkan penurunan menjadi 110,85 mm, tetapi masih terdapat 12 fondasi yang tidak memenuhi batas toleransi.
- Perkuatan dengan mini pile direkomendasikan sebagai solusi teknis untuk meningkatkan daya dukung dan mengurangi penurunan diferensial. Namun, pelaksanaannya harus mempertimbangkan kondisi bangunan yang sudah berdiri, risiko gangguan terhadap struktur, serta aspek biaya yang relatif lebih tinggi dibandingkan metode perkuatan lainnya.

Referensi

- Baban, T. M. (2016). *Shallow foundations: Discussions and problem solving*. Wiley Blackwell.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 – Perencanaan pondasi dangkal untuk bangunan gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 – Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 – Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lainnya*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460 :2017 – Persyaratan Perencanaan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Das, B. M. (2009). *Shallow foundations: Bearing capacity and settlement* (2nd ed.). CRC Press.
- Das, B. M. (2010). *Principles of foundation engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- Das, B. M. (2015). *Principles of foundation engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- Fitriyana, A., Nuklirullah, M., & Dwina, D. O. (2022). Analisis kapasitas daya dukung pondasi akibat rencana alih fungsi gedung rektorat menjadi gedung perpustakaan Universitas Jambi. *Jurnal Talenta Sipil*, 5(1), 126–133.
- Gobel, F., Roski, R. I., Legrans, R. I., & Ticoh, J. H. (2024). Analisis daya dukung fondasi tiang bor kelompok pada pekerjaan transmisi line 150 kV. *TEKNO – eJournal Unsrat*.
- Gunawan, R. (1991). *Pengantar teknik fondasi*. Kanisius.
- Hakam, A. (2008). *Rekayasa pondasi*. CV. Bintang Grafika.
- Hardiyatmo, H. C. (2011). *Analisis dan perancangan fondasi*. Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik fondasi I*. Gadjah Mada University Press.
- 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(82), 459-469.
- Mulyono, T. (2022). *Fondasi dangkal: Data dan perancangan*. Detak Pustaka.
- Pamungkas, A., & Harianti, E. (2013). *Desain pondasi tahan gempa: Sesuai SNI 03-1726-2002 & SNI 03-2847-2002*. Andi.
- Panguriseng, D., & Sariman, S. (2022). *Rekayasa pondasi dangkal*. Tohar Media.
- Ulfa Jusi. (2015). Analisa kuat dukung pondasi bored pile berdasarkan data pengujian lapangan (cone dan N-standard penetration test). *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 1(2), Oktober.