

Analisis Penurunan Fondasi Dangkal Menggunakan Program Settle3D (Studi Kasus: SMA Eben Haezar Manado)

Natanael C. Kalendesang^{#1}, Jack H. Ticoh^{#2}, Roski R. I. Legrans^{#3}

[#]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus UNSRAT Kelurahan Bahu, Manado, Indonesia, 95115

¹natanaelkalendesang1@gmail.com; ²jack.ticoh@unsrat.ac.id; ³legransroski@unsrat.ac.id

Abstrak

Berdirinya sebuah konstruksi bangunan berkaitan erat dengan peran fondasi dalam memikul dan meneruskan beban struktur yang ada. Dalam hal ini, fondasi membutuhkan nilai daya dukung yang cukup untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur. Seiring dengan berjalannya waktu, konstruksi bangunan akan mengalami penurunan secara bertahap, sehingga penurunan fondasi yang terjadi perlu dihitung dan dipertimbangkan agar berada dalam batas aman. Nilai daya dukung fondasi serta penurunan yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain, parameter tanah di lokasi konstruksi, pembebanan struktur bahkan tahun rencana konstruksi bangunan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas daya dukung fondasi berdasarkan dimensi rencana, serta menghitung penurunan fondasi yang terjadi baik dengan menggunakan metode manual maupun menggunakan perangkat lunak Settle3D. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder. Metode yang digunakan dalam menganalisis daya dukung fondasi adalah metode Meyerhoff, metode Hansen dan metode Vesic. Dalam menganalisis penurunan fondasi digunakan metode Schmertmann, metode Poulos & Davis, serta metode Janbu. Jumlah fondasi yang dianalisis sebanyak 5 fondasi kolom lingkaran dan 15 fondasi kolom persegi. Analisis daya dukung fondasi menggunakan beban maksimum untuk setiap jenis kolom, yakni, beban kolom lingkaran sebesar 257,183 kN dan beban kolom persegi sebesar 1642,642 kN. Hasil analisis daya dukung fondasi metode Hansen memperoleh hasil terkecil, yakni sebesar 715,182 kN untuk kolom lingkaran dan 1768,148 kN untuk kolom persegi. Sehingga, dimensi fondasi rencana dapat dinyatakan mampu memikul beban struktur yang ada. Hasil analisis penurunan fondasi dikontrol dengan menggunakan ketentuan differential settlement, sehingga memperoleh kesimpulan bahwa setiap fondasi dinyatakan aman terhadap beda penurunan yang terjadi

Kata kunci – pembebanan, daya dukung, penurunan fondasi, Settle3D.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sekolah Menengah Atas (SMA) Eben Haezar Manado merupakan sekolah dibawah yayasan Eben Haezar. Sekolah ini terletak di Jl. 14 Februari Teling Atas 95. Dalam memenuhi kebutuhan yang ada, maka dibangunlah gedung baru SMA Eben Haezar Manado. Berdirinya konstruksi gedung ini tentunya tidak lepas dari peranan fondasi untuk meneruskan beban ke dalam tanah, serta kemampuan tanah dalam memikul beban yang ada.

Pembangunan konstruksi Gedung Sekolah Menengah Atas (SMA) Eben Haezar Manado menggunakan fondasi dangkal dengan jenis fondasi telapak (pad foundations). Fondasi telapak yang digunakan diharapkan dapat menopang beban struktur yang ada, serta penurunan yang akan terjadi berada pada besaran yang dapat ditoleransi.

Perhitungan daya dukung fondasi dangkal perlu dilakukan untuk mengetahui apakah dimensi penampang fondasi rencana telah mampu memikul beban yang terjadi, serta perhitungan penurunan fondasi dangkal perlu dilakukan untuk mencegah kegagalan struktur yang bisa terjadi akibat beda laju penurunan fondasi. Pengaruh daya dukung fondasi serta penurunan yang terjadi pada fondasi terhadap struktur sangat krusial karena berpotensi menyebabkan kerugian dalam segi ekonomi, material bahkan keselamatan pengguna struktur bangunan.

Dalam menganalisis besar penurunan yang terjadi tentunya akan menghasilkan nilai besaran yang berbeda, baik antara perangkat lunak ataupun perbedaan dengan perhitungan manual yang akan dilakukan. Oleh karena itu, hasil penurunan yang diperoleh dari perangkat lunak Settle3D serta perhitungan manual akan dibandingkan untuk menguji keakuratan perhitungan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah yang di angkat adalah kemampuan fondasi dalam memikul beban struktur serta seberapa besar penurunan fondasi telapak yang terjadi dengan

menggunakan perangkat lunak *Settle3D* dan perhitungan manual menggunakan metode penurunan elastis (Schmertmann's Method) pada konstruksi gedung Sekolah Menengah Atas (SMA) Eben Haezar Manado.

C. Batasan Penelitian

Batasan masalah untuk membatasi ruang lingkup penelitian, sebagai berikut :

- Data penelitian merupakan data hasil penyelidikan sondir di lokasi pada tahun 2015 dan data fondasi berdasarkan desain struktur gedung SMA Eben Haezar Manado.
- Data tanah yang ditinjau menggunakan data sondir (CPT).
- Dimensi fondasi yang akan digunakan berdasarkan rencana fondasi pada pekerjaan pembangunan gedung SMA Eben Haezar Manado.
- Fondasi yang akan di analisis merupakan fondasi dangkal jenis fondasi telapak.
- Data beban yang akan digunakan adalah beban struktur yang terjadi pada kolom, baik kolom lingkaran maupun kolom persegi.
- Perangkat lunak yang akan digunakan untuk menganalisis penurunan adalah *Settle3D*.
- Pengaruh gempa tidak diperhitungkan.

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Untuk menghitung daya dukung fondasi berdasarkan dimensi fondasi rencana.
- Menggunakan perangkat lunak *Settle3D* untuk :
 - Menghitung penurunan yang terjadi pada masing – masing fondasi
 - Menghitung penurunan diferensial pada struktur dan membandingkan besar penurunan tersebut dengan persyaratan penurunan dalam SNI 8460-2017 tentang “Persyaratan Perancangan Geoteknik”.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Untuk mengetahui kemampuan tanah dalam memikul beban struktur yang berada di atasnya.
- Untuk mengetahui besar penurunan fondasi telapak di proyek pembangunan gedung SMA Eben Haezar.
- Menambah pengetahuan dan wawasan dalam mengoperasikan perangkat lunak *Settle3D* untuk menghitung penurunan pada fondasi.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

II. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di SMA Eben Haezar Manado yang terletak di Jl. 14 Februari, Teling Atas 95, Kota Manado, Sulawesi Utara. Lokasi penelitian akan ditunjukkan pada Gambar 1. Prosedur penelitian yang dilakukan akan digambarkan pada Gambar 2.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Data Tanah

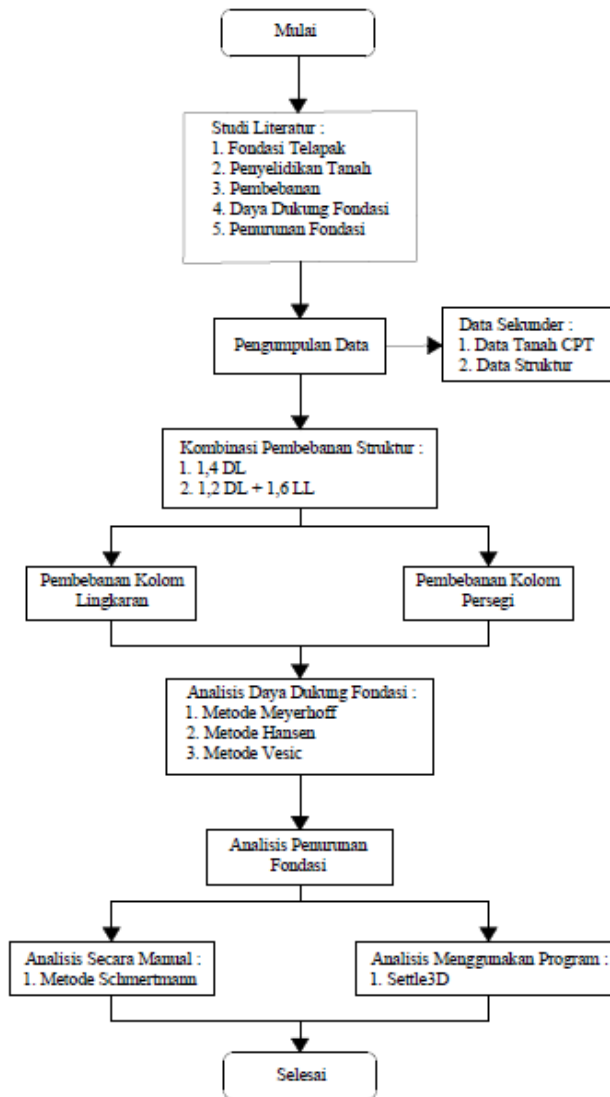
Data sekunder berupa data sondir di lokasi penelitian diolah dengan menggunakan persamaan dalam *CPT Data Interpretation Theory Manual – Rocscience 2022*. Hasil pengolahan data tersebut akan

menghasilkan nilai parameter – parameter tanah, dan klasifikasi tanah di lokasi penelitian yang akan ditampilkan pada Tabel.

B. Pembebanan Struktur

Berdasarkan data struktur yang diperoleh, dapat dilihat dimensi struktur serta denah bangunan SMA Eben Haezar Manado. Pembebanan struktur dihitung secara manual dengan menggunakan metode distribusi sebaran pelat dan menggunakan perangkat lunak ETABS sebagai bentuk kontrol.

Nilai pembebanan yang digunakan diambil dari SNI 1727:2020, yakni beban mati dan beban hidup. Setelah dilakukan analisis pembebanan hasil yang diperoleh secara manual dan ETABS dibandingkan satu sama lain. Hasil pembebanan akan ditampilkan pada Tabel 2. Hasil pada Tabel 2 menunjukkan nilai pembebanan struktur yang terjadi, dengan nilai maksimum pembebanan pada perangkat lunak ETABS dan dijadikan acuan beban pada penelitian ini.



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

C. Daya Dukung Fondasi

Nilai daya dukung fondasi akan di analisa dengan menggunakan metode Meyerhoff, metode Hansen dan metode Vesic. Alasan pemilihan tiga metode dalam menganalisis daya dukung fondasi adalah untuk mengetahui kemampuan daya dukung fondasi pada kondisi yang berbeda - beda. Dalam hal ini, metode yang digunakan masing – masing memiliki nilai

parameter yang bervariasi. Nilai daya dukung yang akan dianalisis menggunakan nilai pembebanan yang terbesar untuk jenis fondasi kolom persegi dan fondasi kolom lingkaran. Hasil analisis daya dukung akan di tampilkan pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5. Hasil analisis daya dukung fondasi diatas menyatakan bahwa dimensi fondasi rencana mampu memikul beban struktur.

D. Penurunan Fondasi

1. Analisis Penurunan Fondasi Manual

Dengan mempertimbangkan umur suatu struktur bangunan, nilai penurunan yang terjadi dapat dihitung. Penurunan fondasi yang terjadi dianalisis dengan menggunakan metode Schmertmann ($C_1 - C_2$), metode Schmertmann ($C_1 - C_3$), metode Poulos & Davis dan metode Janbu. Penggunaan keempat metode ini didasarkan pada parameter penurunan yang ditinjau sangat bervariasi, baik dalam hal modulus elastisitas yang digunakan ataupun nilai faktor pengaruh yang diperhitungkan. Tabel 6 merupakan hasil analisis penurunan fondasi dengan menggunakan metode tinjauan penelitian.

2. Analisis Penurunan Fondasi *Settle3D*

Settle3D merupakan perangkat lunak yang mampu menganalisis penurunan fondasi, yang digunakan pada perhitungan penurunan dalam penelitian ini. Metode empiris yang digunakan dalam *Settle3D* adalah metode Schmertmann. Sehingga hasil analisis dapat digunakan untuk dibandingkan dengan nilai penurunan fondasi metode manual. Tabel 7 berikut menyajikan hasil penurunan manual dan *Settle3D*, dengan menggunakan umur rencana 1 tahun pada metode Schmertmann.

Pada Tabel 8 memuat perbandingan penurunan fondasi *Settle3D* dan metode manual Schmertmann ($C_1 - C_2$) secara lengkap.

3. Hubungan Beban dan Penurunan

Analisis penurunan yang dilakukan menggunakan dimensi fondasi rencana yang sudah ada, sehingga penurunan yang terjadi akan dipengaruhi oleh besar beban yang dipikul. Berikut merupakan hubungan beban dan penurunan yang akan dinyatakan dengan kurva pada Gambar 3 untuk fondasi lingkaran dan Gambar 4 untuk fondasi persegi.

4. Differential Settlement

Beban yang bervariasi masing – masing fondasi menyebabkan nilai penurunan yang bervariasi pula. Hal ini dapat menjadi pemicu kegagalan struktur

apabila beda penurunan yang terjadi tidak sesuai dengan ketentuan yang ada. Kontrol untuk beda penurunan (*differential settlement*) yang akan digunakan berdasarkan SNI 8460:2017 mengenai “Persyaratan Perancangan Geoteknik” dimana nilai beda penurunan harus ditentukan dengan seksama, serta memenuhi nilai kemampulayanan struktur yaitu 1/300. Sesuai dengan nilai penurunan yang telah diperoleh sebelumnya, pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9 akan ditampilkan kontrol beda penurunan untuk setiap tahun rencana bangunan.

E. Potensi Likuifaksi

Likuifaksi merupakan salah satu peristiwa geoteknik akibat tanah yang kehilangan kekuatan dan kekakuan akibat tegangan, seperti getaran yang disebabkan oleh gempa bumi. Indonesia sendiri sebagai negara rawan menjadi salah satu negara yang berpotensi besar dalam mengalami likuifaksi. Potensi terjadinya likuifaksi pada jenis tanah pasir dipengaruhi oleh faktor seismik, yaitu magnitudo gempa, percepatan seismik permukaan tanah dan jarak epicenter gempa.

Berdasarkan kajian pada penelitian ini, lokasi penelitian dapat dikatakan memiliki potensi yang besar akan terjadinya peristiwa likuifaksi. Beberapa faktor yang mempengaruhi peristiwa likuifaksi di lokasi penelitian adalah sebagai berikut.

- Meninjau dari lokasi penempatan fondasi dimana berada pada lapisan tanah terakhir, yakni lapisan tanah dengan klasifikasi Sands - clean sand to silty sand, yang merupakan lapisan tanah yang tidak stabil.
- Potensi gempa di kota Manado yang terbilang tinggi sehingga dapat menyebabkan likuifaksi akibat getaran gempa pada tanah di lokasi konstruksi.
- Beban struktur yang besar yakni gedung 3 lantai dengan menggunakan fondasi dangkal jenis fondasi telapak sehingga rentan terhadap terjadinya likuifaksi.

TABEL 1
Data Tanah & Klasifikasi Tanah CPT

Depth To	γ	γ_{ave}	Soil Description	ϕ'	ϕ_{ave}	c'	S_{uave}	E	E
m	kN/m ³	kN/m ³	(based on SBT chart)	°	°	kN/m ²	kN/m ²	kPa	kPa
0.00	0	0		0	0	0	0	0	0
0.20	0	0		0	0	0	0	0	0
0.40	18.28	18.41	Clay - silty clay to clay	30.96	30.95	6.25	7.96	2451.66	3677.49
0.60	18.54			30.94		9.66		4903.33	
0.80	18.70	18.70	Silt mixtures - clayey silt to	30.93	30.93	12.47	12.47	7354.99	7354.99
1.00	18.54	18.54	Clay - silty clay to clay	29.27	29.27	7.38	7.38	4903.33	4903.33
1.20	18.70	19.04	Silt mixtures - clayey silt to silty clay	29.70	29.74	10.30	11.68	7354.99	8989.43
1.40	18.81			29.95		12.85		9806.65	
1.60	19.60			29.56		11.88		9806.65	
1.80	18.89	18.93	Sand mixtures - silty sand to sandy silt	29.77	29.85	14.21	15.29	12258.31	13484.14
2.00	18.96			29.92		16.36		14709.98	
2.20	19.16	19.27	Sands - clean sand to silty sand	30.89	31.34	26.50	34.29	24516.63	33506.05
2.40	19.26			31.28		33.00		31871.61	
2.60	19.38			31.85		43.36		44129.93	

Sumber : Hasil Analisis

TABEL 2
Pembebanan Struktur

NO	Kolom	MANUAL		ETABS		KONTROL	
		Comb. 1	Comb. 2	Comb. 1	Comb. 2	Comb. 1	Comb. 2
		1.4 DL	1.2 DL + 1.6 LL	1.4 DL	1.2 DL + 1.6 LL	1.4 DL	1.2 DL + 1.6 LL
1	KL 1	116.183	155.297	117.582	166.353	1.190	6.646
2	KL 2	166.800	237.370	173.284	256.196	3.742	7.348
3	KL 3	166.800	237.370	171.836	254.362	2.931	6.680
4	KL 4	166.800	237.370	172.828	257.183	3.488	7.704
5	KL 5	123.310	185.518	130.962	190.463	5.843	2.596
6	K 1	765.913	940.022	818.686	968.589	6.446	2.949
7	K 2	1337.916	1615.964	1315.555	1642.642	1.671	1.624
8	K 3	1249.423	1585.737	1294.220	1616.167	3.461	1.883
9	K 4	1295.187	1605.706	1301.098	1626.663	0.454	1.288
10	K 5	771.443	924.476	777.534	927.835	0.783	0.362
11	K 6	787.213	945.229	804.620	976.799	2.163	3.232
12	K 7	1127.782	1531.799	1130.856	1535.819	0.272	0.262
13	K 8	1095.804	1456.262	1101.362	1497.856	0.505	2.777
14	K 9	1085.397	1471.614	1104.672	1506.647	1.745	2.325
15	K 10	720.395	880.180	723.650	886.168	0.450	0.676
16	K 11	656.964	721.282	691.295	735.373	4.966	1.916
17	K 12	1039.576	1200.257	1092.568	1221.694	4.850	1.755
18	K 13	1022.920	1197.329	1072.847	1198.947	4.654	0.135
19	K 14	1010.693	1165.614	1077.454	1204.695	6.196	3.244
20	K 15	630.987	683.289	646.236	686.920	2.360	0.529

Sumber : Hasil Analisis

TABEL 3
Daya Dukung Metode Meyerhoff

Fondasi Kolom	Design			q_{ult}	q_{all}	P_{all}	Vertical Load	Control
	Depth of Foundation (D_f)	Width (B)	Length (L)					
	m	m	m					
Lingkaran	2	0.7	0.7	5498.628	1832.876	898.109	257.183	OK!!
Persegi	2	1.1	1.1	4726.075	1575.358	1906.184	1642.642	OK!!

Sumber : Hasil Analisis

TABEL 4
Daya Dukung Metode Hansen

Fondasi Kolom	Design			q_{ult}	q_{all}	P_{all}	Vertical Load	Control
	Depth of Foundation (D_f)	Width (B)	Length (L)					
	m	m	m					
Lingkaran	2	0.7	0.7	4378.668	1459.556	715.182	257.183	OK!!
Persegi	2	1.1	1.1	4245.033	1415.011	1712.163	1642.642	OK!!

Sumber : Hasil Analisis

TABEL 5
Daya Dukung Metode Hansen

Fondasi Kolom	Design			q_{ult}	q_{all}	P_{all}	Vertical Load	Control
	Depth of Foundation (D_f)	Width (B)	Length (L)					
	m	m	m					
Lingkaran	2	0.7	0.7	4500.446	1500.149	735.073	257.183	OK!!
Persegi	2	1.1	1.1	4383.837	1461.279	1768.148	1642.642	OK!!

Sumber : Hasil Analisis

TABEL 6
Penurunan Fondasi Manual

Pondasi	Tahun	Penurunan (mm)			
		Schmertmann C1 - C2	Schmertmann C1 - C3	Poulos	Janbu
KL 1	1	4.52	5.79	7.59	4.78
	3	4.88	6.25		
	5	5.05	6.47		
	10	5.28	6.76		
	15	5.41	6.93		
KL 2	1	7.40	10.33	11.32	7.12
	3	7.99	11.15		
	5	8.26	11.53		
	10	8.63	12.05		
	15	8.85	12.35		
KL 3	1	7.34	10.23	11.25	7.07
	3	7.92	11.04		
	5	8.19	11.42		
	10	8.56	11.94		
	15	8.78	12.24		
KL 4	1	7.43	10.38	11.36	7.15
	3	8.02	11.21		
	5	8.29	11.59		
	10	8.67	12.11		
	15	8.89	12.42		
KL 5	1	5.30	6.96	8.59	5.41
	3	5.72	7.51		
	5	5.91	7.77		
	10	6.18	8.12		
	15	6.33	8.32		
K 1	1	18.46	27.79	26.67	17.15
	3	19.93	30.00		
	5	20.61	31.03		
	10	21.54	32.42		
	15	22.08	33.24		
K 2	1	32.18	55.16	44.47	28.60
	3	34.74	59.55		
	5	35.93	61.59		
	10	37.54	64.35		
	15	38.49	65.97		
K 3	1	31.64	54.01	43.78	28.15
	3	34.15	58.30		
	5	35.32	60.30		
	10	36.91	63.01		
	15	37.84	64.59		
K 4	1	31.85	54.46	44.05	28.33
	3	34.39	58.80		
	5	35.56	60.81		
	10	37.16	63.54		
	15	38.10	65.14		
K 5	1	17.63	26.28	25.59	16.46
	3	19.03	28.37		
	5	19.69	29.35		
	10	20.57	30.66		
	15	21.09	31.44		
K 6	1	18.63	28.10	26.88	17.29
	3	20.11	30.33		
	5	20.80	31.37		
	10	21.73	32.78		
	15	22.28	33.61		
K 7	1	30.00	50.55	41.65	26.79
	3	32.39	54.56		
	5	33.50	56.43		
	10	35.00	58.97		
	15	35.89	60.45		
K 8	1	29.23	48.93	40.65	26.14
	3	31.56	52.82		
	5	32.64	54.63		
	10	34.10	57.08		
	15	34.96	58.52		
K 9	1	29.41	49.30	40.88	26.29
	3	31.75	53.22		
	5	32.84	55.05		
	10	34.31	57.52		
	15	35.18	58.97		
K 10	1	16.78	24.76	24.49	15.75
	3	18.12	26.73		
	5	18.74	27.64		
	10	19.58	28.89		
	15	20.07	29.61		
K 11	1	13.72	19.42	20.51	13.19
	3	14.81	20.96		
	5	15.31	21.68		
	10	16.00	22.65		
	15	16.40	23.22		
K 12	1	23.61	37.56	33.35	21.45
	3	25.49	40.55		
	5	26.36	41.93		
	10	27.55	43.82		
	15	28.24	44.92		
K 13	1	23.15	36.65	32.75	21.06
	3	24.99	39.57		
	5	25.85	40.92		
	10	27.01	42.76		
	15	27.69	43.84		
K 14	1	23.27	36.88	32.91	21.16
	3	25.12	39.82		
	5	25.98	41.18		
	10	27.14	43.03		
	15	27.83	44.11		
K 15	1	12.73	17.76	19.23	12.36
	3	13.74	19.17		
	5	14.21	19.83		
	10	14.85	20.72		
	15	15.22	21.24		

Sumber : Hasil Analisis

TABEL 7
Penurunan Fondasi Manual & Settle3D

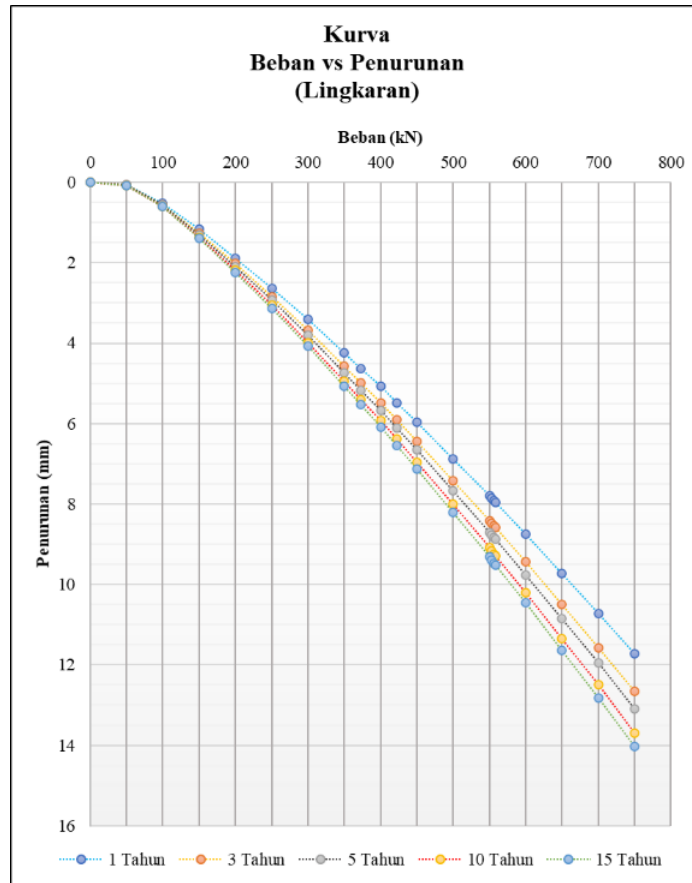
Pondasi	Penurunan Fondasi Metode					MAX
	Schmertmann C1 - C2	Schmertmann C1 - C3	Poulos	Janbu	Settle3D	
KL 1	4.52	5.79	7.59	4.78	4.63	Poulos
KL 2	7.40	10.33	11.32	7.12	7.92	Poulos
KL 3	7.34	10.23	11.25	7.07	7.85	Poulos
KL 4	7.43	10.38	11.36	7.15	7.96	Poulos
KL 5	5.30	6.96	8.59	5.41	5.48	Poulos
K 1	18.46	27.79	26.67	17.15	19.07	C3
K 2	32.18	55.16	44.47	28.60	33.29	C3
K 3	31.64	54.01	43.78	28.15	32.61	C3
K 4	31.85	54.46	44.05	28.33	32.88	C3
K 5	17.63	26.28	25.59	16.46	18.07	C3
K 6	18.63	28.10	26.88	17.29	19.27	C3
K 7	30.00	50.55	41.65	26.79	30.57	C3
K 8	29.23	48.93	40.65	26.14	29.62	C3
K 9	29.41	49.30	40.88	26.29	29.84	C3
K 10	16.78	24.76	24.49	15.75	17.07	C3
K 11	13.72	19.42	20.51	13.19	13.53	Poulos
K 12	23.61	37.56	33.35	21.45	22.92	C3
K 13	23.15	36.65	32.75	21.06	22.38	C3
K 14	23.27	36.88	32.91	21.16	22.52	C3
K 15	12.73	17.76	19.23	12.36	12.43	Poulos

Sumber : Hasil Analisis

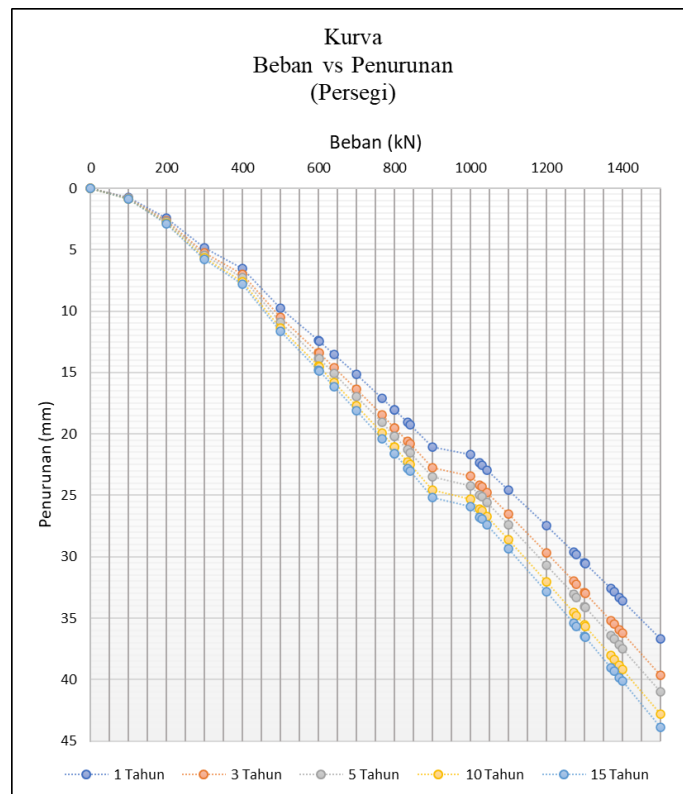
TABEL 8
Perbandingan Penurunan Manual dan *Settle3D*

Pondasi	Tahun	Penurunan (mm)		Kontrol (%)	Selisih	Pondasi	Tahun	Penurunan (mm)		Kontrol (%)	Selisih
		Manual	Settle3D					Manual	Settle3D		
KL 1	1	4.52	4.63	2.27	0.11	K 6	1	18.63	19.27	3.33	0.64
	3	4.88	4.99	2.11	0.11		3	20.11	20.8	3.32	0.69
	5	5.05	5.17	2.28	0.12		5	20.80	21.51	3.31	0.71
	10	5.28	5.4	2.24	0.12		10	21.73	22.48	3.32	0.75
	15	5.41	5.53	2.13	0.12		15	22.28	23.05	3.34	0.77
KL 2	1	7.40	7.92	6.59	0.52	K 7	1	30.00	30.57	1.85	0.57
	3	7.99	8.55	6.59	0.56		3	32.39	33.01	1.88	0.62
	5	8.26	8.84	6.56	0.58		5	33.50	34.14	1.88	0.64
	10	8.63	9.24	6.59	0.61		10	35.00	35.67	1.87	0.67
	15	8.85	9.47	6.57	0.62		15	35.89	36.57	1.87	0.68
KL 3	1	7.34	7.85	6.51	0.51	K 8	1	29.23	29.62	1.31	0.39
	3	7.92	8.47	6.46	0.55		3	31.56	31.98	1.33	0.42
	5	8.19	8.76	6.46	0.57		5	32.64	33.07	1.31	0.43
	10	8.56	9.16	6.52	0.60		10	34.10	34.56	1.32	0.46
	15	8.78	9.39	6.52	0.61		15	34.96	35.43	1.32	0.47
KL 4	1	7.43	7.96	6.66	0.53	K 9	1	29.41	29.84	1.44	0.43
	3	8.02	8.59	6.63	0.57		3	31.75	32.21	1.43	0.46
	5	8.29	8.88	6.59	0.59		5	32.84	33.32	1.45	0.48
	10	8.67	9.28	6.60	0.61		10	34.31	34.82	1.46	0.51
	15	8.89	9.52	6.66	0.63		15	35.18	35.69	1.44	0.51
KL 5	1	5.30	5.48	3.36	0.18	K 10	1	16.78	17.07	1.67	0.29
	3	5.72	5.91	3.26	0.19		3	18.12	18.42	1.63	0.30
	5	5.91	6.11	3.23	0.20		5	18.74	19.05	1.63	0.31
	10	6.18	6.39	3.31	0.21		10	19.58	19.91	1.65	0.33
	15	6.33	6.55	3.30	0.22		15	20.07	20.41	1.65	0.34
K 1	1	18.46	19.07	3.19	0.61	K 11	1	13.72	13.53	1.35	0.19
	3	19.93	20.58	3.16	0.65		3	14.81	14.61	1.33	0.20
	5	20.61	21.29	3.18	0.68		5	15.31	15.11	1.33	0.20
	10	21.54	22.25	3.20	0.71		10	16.00	15.79	1.32	0.21
	15	22.08	22.81	3.20	0.73		15	16.40	16.18	1.37	0.22
K 2	1	32.18	33.29	3.34	1.11	K 12	1	23.61	22.92	2.93	0.69
	3	34.74	35.94	3.35	1.20		3	25.49	24.74	2.94	0.75
	5	35.93	37.17	3.35	1.24		5	26.36	25.59	2.93	0.77
	10	37.54	38.84	3.35	1.30		10	27.55	26.74	2.93	0.81
	15	38.49	39.82	3.35	1.33		15	28.24	27.41	2.94	0.83
K 3	1	31.64	32.61	2.98	0.97	K 13	1	23.15	22.38	3.32	0.77
	3	34.15	35.21	3.00	1.06		3	24.99	24.16	3.32	0.83
	5	35.32	36.41	2.98	1.09		5	25.85	24.99	3.31	0.86
	10	36.91	38.05	2.99	1.14		10	27.01	26.11	3.32	0.90
	15	37.84	39.01	3.00	1.17		15	27.69	26.77	3.31	0.92
K 4	1	31.85	32.88	3.12	1.03	K 14	1	23.27	22.52	3.21	0.75
	3	34.39	35.5	3.14	1.11		3	25.12	24.31	3.21	0.81
	5	35.56	36.71	3.12	1.15		5	25.98	25.14	3.22	0.84
	10	37.16	38.36	3.12	1.20		10	27.14	26.27	3.22	0.87
	15	38.10	39.33	3.14	1.23		15	27.83	26.93	3.22	0.90
K 5	1	17.63	18.07	2.42	0.44	K 15	1	12.73	12.43	2.35	0.30
	3	19.03	19.51	2.44	0.48		3	13.74	13.42	2.34	0.32
	5	19.69	20.18	2.45	0.49		5	14.21	13.88	2.34	0.33
	10	20.57	21.08	2.42	0.51		10	14.85	14.51	2.30	0.34
	15	21.09	21.61	2.41	0.52		15	15.22	14.87	2.33	0.35

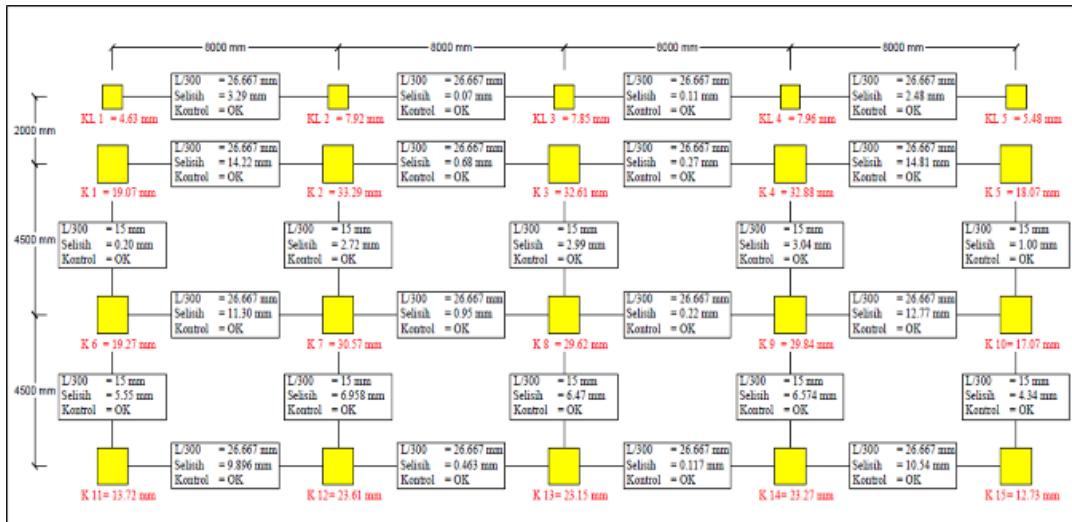
Sumber : Hasil Analisis



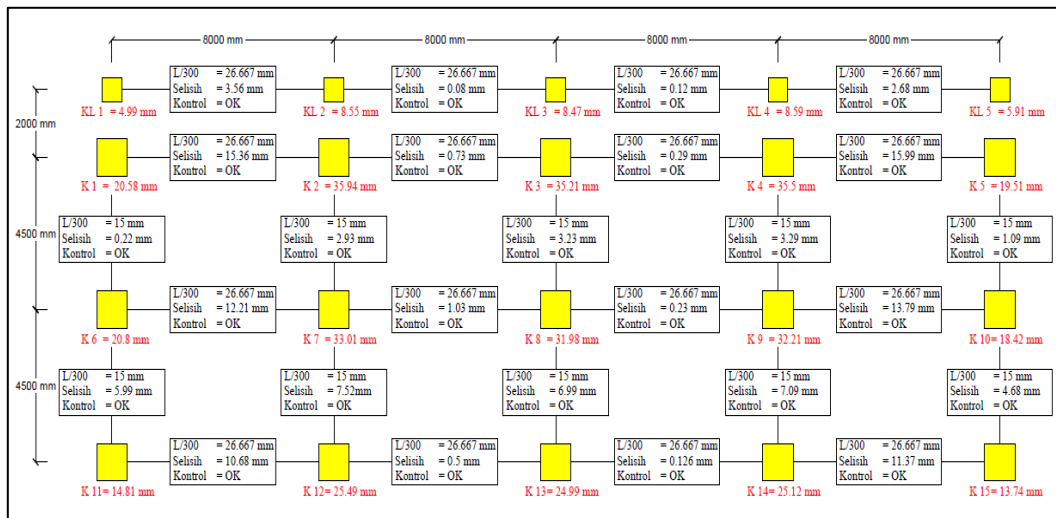
Gambar 3. Kurva Hubungan Beban dan Penurunan Fondasi Lingkaran
Sumber: Hasil Analisis



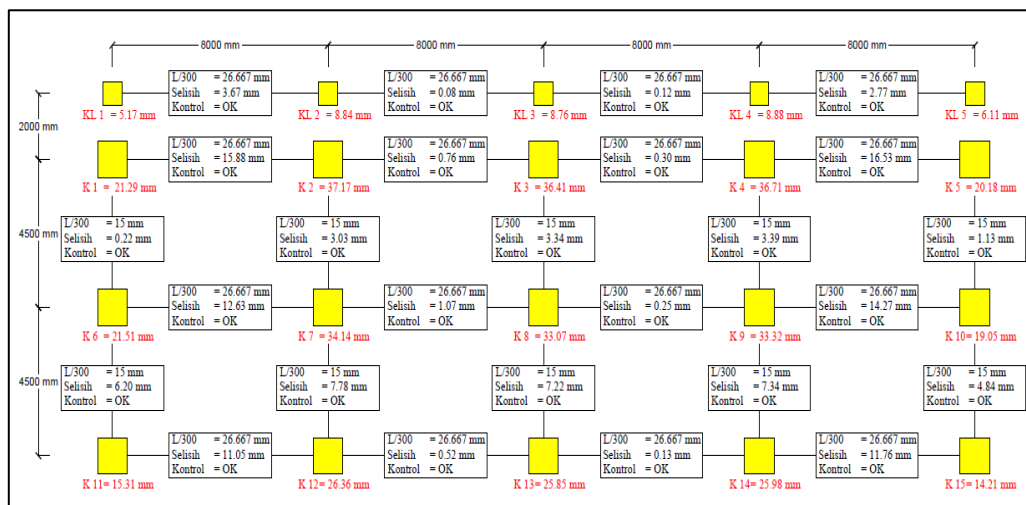
Gambar 4. Kurva Hubungan Beban dan Penurunan Fondasi Persegi
Sumber: Hasil Analisis



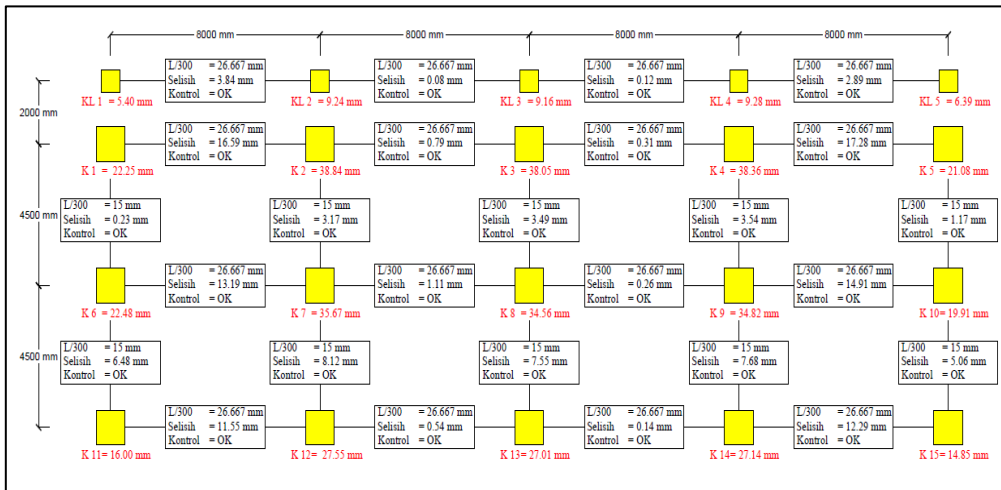
Gambar 5. Kontrol Beda Penurunan – 1 Tahun Rencana



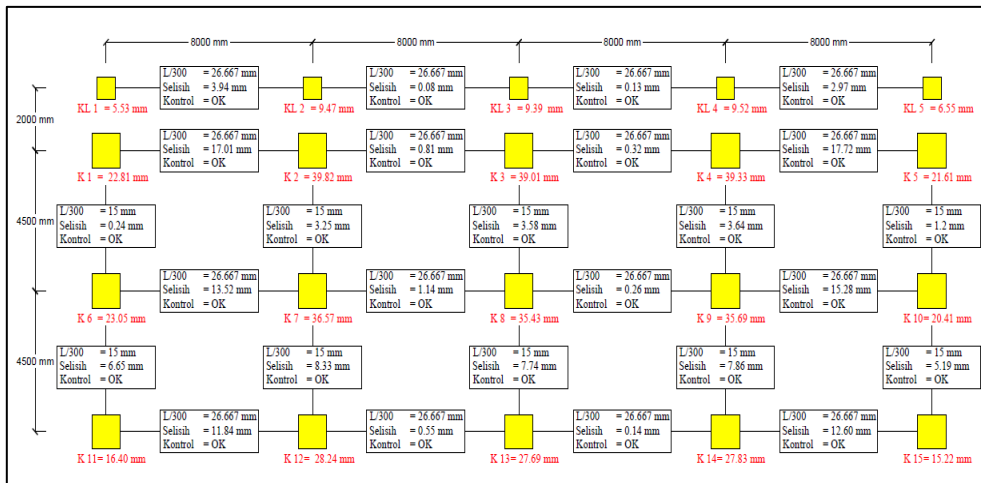
Gambar 6. Kontrol Beda Penurunan – 3 Tahun Rencana



Gambar 7. Kontrol Beda Penurunan – 5 Tahun Rencana



Gambar 8. Kontrol Beda Penurunan – 10 Tahun Rencana



Gambar 9. Kontrol Beda Penurunan – 15 Tahun Rencana

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penulisan skripsi dan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya dukung dimensi fondasi rencana mampu memikul beban struktur bangunan, yakni dengan nilai minimum pada metode Hansen sebesar 715,182 kN untuk fondasi kolom lingkaran dan 1712,163 kN untuk fondasi kolom persegi.
2. Analisis penurunan fondasi manual metode Schmertmann C1 – C2 dan metode Schmertmann C1 – C3 mendapatkan perbedaan hasil yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh nilai faktor pengaruh regangan yang digunakan masing – masing metode berbeda, yaitu grafik faktor pengaruh regangan dan persamaan faktor pengaruh regangan.
3. Perbandingan analisis penurunan fondasi manual metode Schmertmann C1 - C2 dan perangkat lunak

Settle3D memperoleh kontrol hasil $\leq 6,66\%$ dengan selisih penurunan maksimum 1,33 mm.

4. Kontrol beda penurunan (differential settlement) masih dalam batas aman sesuai ketentuan SNI 8460:2017.

B. Saran

1. Penurunan fondasi aktual yang terjadi dilapangan dapat dipantau dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan melakukan evaluasi penurunan struktur bangunan dengan menggunakan *settlement marker* yang dicatat setiap tahun rencana, yakni 1 tahun, 3 tahun, 5 tahun, 10 tahun dan 15 tahun.
2. Dalam melakukan analisis penurunan dapat menggunakan variasi metode lain, dikarenakan setiap metode memiliki pertimbangan masing – masing dalam parameter penurunan yang digunakan dalam analisis.
3. Penurunan yang terjadi pada struktur dapat dievaluasi juga melalui ketentuan yang diatur

dalam SNI 8460:2017, yakni dengan memperkirakan penurunan untuk menjamin stabilitas serta kemampuan struktur di atasnya.

4. Perlu dilakukan penelitian dan penyelidikan lanjutan terkait potensi likuifaksi di lokasi penelitian, dengan beberapa pertimbangan berdasarkan jenis tanah dan potensi rawan gempa di Manado.

KUTIPAN

- [1] Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design* (5th ed). McGraw-Hill.
- [2] Hardiyatmo, Christady. (2002). *Mekanika tanah II* (Edisi – 3). Gadjah Mada University Press.
- [3] Das, Braja M. (1995). *Mekanika Tanah* (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [4] Sosrodarsono, Suyono. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [5] ASTM D3441 – 98. *Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil*.
- [6] Kulhawy, F.H. (1990). *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*. 2-8 – 2-13.
- [7] Coduto, D.P., Kitch, W.A. and Yeung, M.R. (2016) *Foundation design: principles and practices*. Third edition. Boston: Pearson.
- [8] Das, B.M. (2009) *Shallow foundations bearing capacity and settlement*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.
- [9] 'Design Of Shallow Foundations Based On CPT - NCHRP 368 - Ch. 7.pdf' (no date).
- [10] El Khaled, O., Spyropoulos, E. and Alnaim, A. (2021) 'Validation of Correlation Factor between Esand QcUsing Load Tests', in. *The 6th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering*.
- [11] Gunaratne, M. (ed.) (2006) *The foundation engineering handbook*. Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis.
- [12] Mayne, P. (2006) 'In-situ test calibrations for evaluating soil parameters', in K. Phoon et al. (eds) *Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils*. Taylor & Francis.
- [13] 'PENURUNAN PONDASI DANGKAL' (no date), p. 33.
- [14] Robertson, P.K. (no date) 'Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering', p. 138.
- [15] Robertson, P.K. and Campanella, R.G. (1983) 'Interpretation of cone penetration tests. Part I: Sand', *Canadian Geotechnical Journal*, 20(4), pp. 718–733.
- [16] Ruiters, J. de (ed.) (1988) *Penetration testing, 1988: proceedings of the First International Symposium on Penetration Testing, ISOPT-1, Orlando, 20 - 24 March 1988*. Rotterdam: Balkema.