

PEMANFAATAN LAHAN BEKAS TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR DENGAN STABILISASI TANAH SECARA KIMIAWI

Satya Bodhinanda¹ dan Aniek Prihatiningsih²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
satya.325170035@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
aniekp@ft.untar.ac.id

Masuk: 11-02-2021, revisi: 05-02-2021, diterima untuk diterbitkan: 17-02-2021

ABSTRACT

Landfill soil (TPA) has great potential of utilization in construction purpose. Landfill soil has similar characteristic with clay soil that has high water content also contain organic and inorganic material caused by garbage heap. One of the problems in utilizing landfill soil was the low quality of the soil that cause big settlement for the structure. Settlement was an important aspect in performing a construction. Soil stabilization for the landfill soil needed to decrease amount of settlement. Structure model using one, two, three, four floor of load and calculate the settlement occur on the heaviest load location of the foundation. Foundation base was circle and using shallow foundation reconsidering shallow foundation effective for four floor loads. Chemical stabilization using 2 methods: Sodium Hydroxide 6% and Limestone 3-4,5%. Based on the calculation, found that Sodium Hydroxide is more effective in decreasing settlement occurred and able to decrease the settlement until 32,42% for the floor load. However, those methods can't fulfil the 15 cm settlement limit.

Keywords: landfill soil, shallow foundation, chemical stabilization, settlement

ABSTRAK

Tanah bekas tempat pembuangan akhir (TPA) memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam bidang konstruksi. Tanah bekas TPA umumnya memiliki karakteristik serupa dengan tanah lempung berkadar air serta memiliki material organik dan anorganik dari timbunan sampah. Salah satu masalah dalam memanfaatkan tanah bekas TPA adalah rendahnya kualitas tanah yang mengakibatkan penurunan besar pada struktur. Perbaikan pada tanah bekas TPA diperlukan untuk mengurangi besarnya penurunan yang terjadi. Penurunan merupakan aspek penting dalam suatu perancangan konstruksi, maka dari itu batasan pada penurunan ditetapkan untuk menghindari penurunan yang berlebihan yang dapat merusak struktur. Permodelan menggunakan beban struktur 1,2,3, dan 4 lantai dan dihitung penurunan yang terjadi pada fondasi dengan beban struktur terbesar. Penampang fondasi berbentuk lingkaran mempertimbangkan beban percobaan hingga 4 lantai cocok untuk fondasi dangkal. Stabilisasi tanah secara kimiawi menggunakan 2 metode yaitu Sodium Hidroksida 6% dan batu kapur 3-4,5%. Berdasarkan hasil perhitungan, didapati stabilisasi menggunakan Sodium Hidroksida lebih efektif dalam mengurangi penurunan tanah yang terjadi dan mampu mengurangi besarnya penurunan hingga 32,42% pada beban struktur 4 lantai. Namun, stabilisasi tanah menggunakan kedua metode belum dapat mencapai batas aman penurunan sebesar 15 cm.

Kata kunci: tanah bekas tempat pembuangan akhir, fondasi dangkal, stabilisasi kimiawi, penurunan

1. PENDAHULUAN

Tanah tempat pembuangan akhir (TPA) sering dianggap sebagai tanah berkualitas rendah dikarenakan kontaminasi air lindi akibat timbunan sampah dan kadar air tanah yang tinggi sehingga tidak cocok digunakan untuk tujuan konstruksi. Di Indonesia, jumlah kubikasi sampah seluruh Indonesia didistribusikan ke 120 TPA besar yang tersebar di seluruh negara. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia tahun 2020, 65 dari 120 TPA sudah tidak beroperasi dan dibiarkan terbengkalai begitu saja (KemenLHK.go.id, 2020).

Berbeda halnya dengan negara maju seperti Korea Selatan yang berhasil mengubah lahan bekas TPA seluas 272 hektar menjadi Stadion Piala Dunia 2002 dengan konsep *eco park* di sekitarnya (Yoo et al, 2014). Hal ini menunjukkan bahwa lahan luas yang terbengkalai di Indonesia juga seharusnya dapat dimanfaatkan dalam peruntukkan konstruksi.

Dalam menangani kualitas tanah yang rendah pada tanah *landfill* maka diperlukan pengukuran batas kemampuan tanah *landfill* dalam menangani beban di atasnya. Untuk mengetahui hal tersebut, pengujian akan menggunakan permodelan beban yang dimulai dengan beban struktur 1 lantai, meningkat secara berurutan hingga beban struktur 4 lantai. Fondasi yang digunakan untuk struktur bangunan tersebut adalah fondasi dangkal yang cocok pada model struktur dengan jumlah tingkat yang tidak banyak.

Stabilisasi tanah secara kimiawi menjadi salah satu metode perbaikan yang dapat meningkatkan parameter tanah tanpa harus merombak struktur lapisan tanah. Pencampuran senyawa kimia ke dalam tanah menjadi salah satu keuntungan karena tidak memerlukan upaya yang besar terhadap lapisan tanah. Metode pencampuran Sodium Hidroksida dan batu kapur dipilih sebagai metode stabilisasi kimia terhadap tanah *landfill*. Dalam penelitian, efek penurunan akibat adanya pembusukkan sampah diabaikan karena tidak dapat diperkirakan dengan pasti, dan memerlukan analisis komposisi tanah tersendiri mengenai hal tersebut.

Dengan mempertimbangkan latar belakang di atas, maka dihasilkan rumusan-rumusan masalah sebagai berikut:

1. Menghitung penurunan yang terjadi pada tanah asli dan penurunan yang terjadi setelah stabilisasi dengan Sodium Hidroksida maupun batu kapur
2. Membandingkan hasil penurunan sebelum dan sesudah stabilisasi dan menganalisis kemungkinan konstruksi di atas tanah *landfill*

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka dapat disimpulkan bahwa tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui besarnya penurunan yang terjadi pada tanah asli dan pada tanah terstabilisasi
2. Untuk mengetahui kemungkinan konstruksi di atas tanah *landfill* sebelum dan sesudah stabilisasi

Perbaikan Tanah

Perbaikan adalah stabilisasi tanah yang dilakukan untuk memperbaiki dan mempertahankan kemampuan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, menggunakan bahan *additive* (kimiawi), pencampuran tanah (*re-gradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis maupun dinamis ke tanah (fisik).

Stabilisasi kimia dilakukan dengan menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya, yang bertujuan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis lebih baik dari sebelumnya. Metode perbaikan tanah dengan bahan kimia dapat menggunakan larutan kimia atau bubuk kimia (*powder*), yang dicampurkan ke tanah yang akan diperbaiki, dengan beberapa metode pencampuran yang disesuaikan kondisi bahan stabilizer maupun kondisi tanahnya (Singh, 2019).

Berdasarkan jurnal penelitian “Stabilization of Soils Using Sodium Hydroxide” tahun 2017, penambahan NaOH pada tanah signifikan pada *range* 5-10 % NaOH. Output yang dihasilkan bervariasi mulai dari 16% hingga 110% peningkatan nilai S_u tanah. Pengurangan kadar air yang dihasilkan maksimum sebesar 13,562 % pada tanah clay lunak (Hussain, 2017). Penelitian lain menunjukkan bahwa penambahan kadar NaOH di atas kadar 10% menunjukkan adanya penurunan parameter kekuatan tanah (Gunarso, 2017).

Berdasarkan jurnal penelitian “An Experimental Study of Soil Stabilisation Using Sodium Hydroxide Additive” tahun 2012, variasi penambahan NaOH pada clay sebesar 2, 4, 6, 8, 10% menunjukkan kadar optimum penambahan pada NaOH 6%. Pengurangan maksimum kadar air pada NaOH 6 % dicapai sebesar 14%. Peningkatan S_u dicapai pada *range* 20% - 108% (Kumar, 2012).

Berdasarkan jurnal “The Effect of Quicklime Stabilization on Soil Properties” menggunakan sampel *brownish clay* dan *yellowish silty clay* dengan variasi 2-8 % batu kapur menunjukkan bahwa variasi campuran batu kapur pada 3-4,5% optimum mengurangi *water content* pada tanah. Pengurangan *water content* bervariasi pada *range* 10,8%-18,1% pada dari kadar air mula – mula. Peningkatan nilai S_u tanah bervariasi pada prosentasi 46,98 % - 59,95% (Tatiana dan Ernst, 2016).

Sementara pada jurnal “Impact of Soil Stabilization with Lime” penambahan batu kapur dilakukan dengan variasi 2, 4, 6% pada silt dan clay menunjukkan peningkatan optimum pada 4% dengan pengurangan kadar air hingga 20% dan peningkatan S_u hingga 55% dari parameter tanah mula – mula.

Fondasi dangkal

Fondasi dangkal adalah fondasi yang umumnya diletakkan pada kedalaman yang dekat dengan permukaan tanah. Fondasi dangkal cenderung digunakan untuk konstruksi bangunan non-gedung, rumah sederhana atau pada kondisi tanah keras yang berada dekat dengan permukaan tanah (Septiadi, 2020). Pengkategorian yang sering dipakai untuk fondasi dangkal ialah fondasi yang kedalam fondasinya (D_f) berbanding dengan lebar fondasi (B) lebih kecil daripada 4.

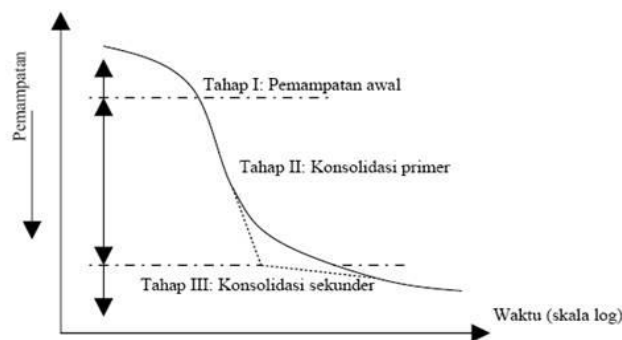
Pada fondasi dangkal berpenampang lingkaran, daya dukung fondasi dapat dihitung dengan pendekatan Terzaghi (1943), yaitu:

$$q_{ult} = 1,3 c'N_c + qN_q + 0,3 \gamma N_\gamma \quad (1)$$

dengan q_{ult} = daya dukung fondasi, c' = kohesi, q = tegangan tanah, N_c = faktor kohesi, N_q = faktor beban tambahan, dan N_γ = faktor berat jenis tanah.

Penurunan (*settlement*)

Pada umumnya, penurunan yang terjadi yang diperhatikan adalah penurunan langsung dan penurunan konsolidasi primer, hal ini diakibatkan konsolidasi sekunder sulit diperkirakan karena membutuhkan jangka waktu yang sangat lama untuk terjadi dan cenderung kecil (Das, 2010). Pada gambar 1, terlihat bahwa tahap III merupakan konsolidasi sekunder yang terjadi dalam waktu yang cenderung lebih lama dibanding tahap I dan II, maka dari itu konsolidasi sekunder sering diabaikan. Akan tetapi, pada penelitian ini, seluruh penurunan dihitung dikarenakan penurunan konsolidasi sekunder pada tanah *landfill* diperkirakan cukup besar akibat kualitas tanah yang buruk.



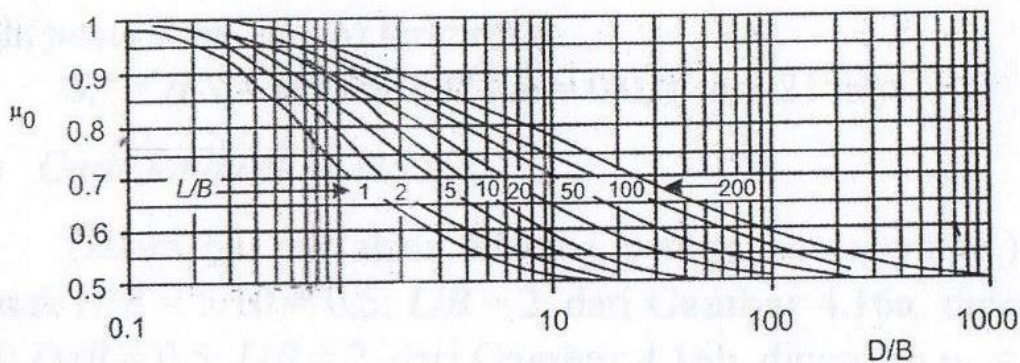
Gambar 1. Grafik perbandingan penurunan tanah terhadap waktu

Penurunan langsung pada tanah *landfill* dapat dihitung menggunakan pendekatan dari persamaan Janbu, Bjerrum, dan Kjaernsli (1956) dengan persamaan:

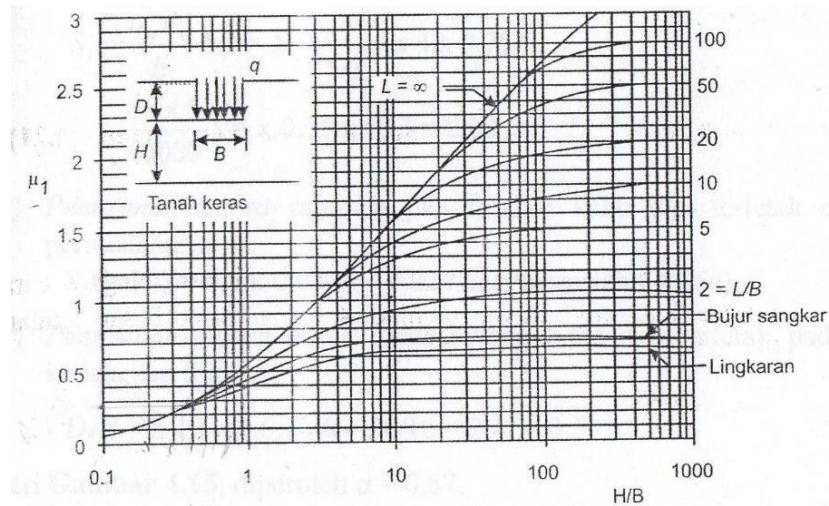
$$S_i = \mu_0 \mu_1 \frac{q_n B}{E} \quad (2)$$

dengan S_i = penurunan langsung, μ_0 = faktor koreksi kedalaman, μ_1 = faktor koreksi ketebalan lapisan(H) , q_n = tekanan fondasi netto, dan E = modulus elastisitas.

Nilai μ_0 didapat dengan korelasi grafik pada gambar 2, sedangkan nilai μ_1 didapat melalui korelasi grafik pada gambar 3.



Gambar 2. Grafik hubungan μ_0 dengan H/B (Sumber: Janbu,1956 dalam Das, 2014)



Gambar 3. Grafik hubungan μ_1 dengan D/B (Sumber: Janbu, 1956 dalam Das, 2014)

Konsolidasi primer terjadi bergantung pada kondisi tanah, pada keadaan Normal Consolidated di mana $P_o' < P_c'$, besar konsolidasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_c = \frac{C_c H_s}{1+e_0} \log \frac{P_o' + \sigma_{max}}{P_o'} \quad (3)$$

dengan S_c = konsolidasi primer, C_c = indeks pemampatan, H = tebal lapisan, P_o' = tekanan *overburden* efektif, σ_{max} = tegangan maksimum beban.

Pada keadaan Overconsolidated, konsolidasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_c = \frac{C_s H_s}{1+e_0} \log \frac{P_c'}{P_o'} + \frac{C_c H_c}{1+e_0} \log \frac{P_o' + \sigma_{max}}{P_c'}, \quad (P_o' < P_c' < P_o' + \sigma_{max}) \quad (4)$$

$$S_c = \frac{C_s H_s}{1+e_0} \log \frac{P_o' + \sigma_{max}}{P_c'}, \quad (P_o' < P_c' < P_o' + \sigma_{max}) \quad (5)$$

dengan C_s = indeks pengembangan dan P_c' = tekanan pra konsolidasi.

Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan konsolidasi primer dapat diperkirakan dengan persamaan:

$$t_p = \frac{T_v H_{dr}^2}{C_v} \quad (6)$$

dengan t_p = waktu konsolidasi primer untuk mencapai penurunan p %, T_v = faktor waktu, H_{dr} = lapisan terkonsolidasi, C_v = koefisien konsolidasi

Nilai faktor waktu yang digunakan pada derajat konsolidasi dalam p % didapat dari korelasi menggunakan tabel 1.

Tabel 1. Korelasi derajat konsolidasi dengan faktor waktu (T_v)

Derajat Konsolidasi	Faktor Waktu
U%	(T_v)
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	-

Konsolidasi sekunder adalah penurunan tanah yang terjadi setelah penurunan tanah primer selesai. Konsolidasi sekunder terjadi ketika tekanan air pori hilang seluruhnya dan terjadi pemampatan pada butir-butir tanah yang bersifat plastis. Besarnya konsolidasi primer bergantung pada waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan konsolidasi primer, umur rencana bangunan, dan koefisien konsolidasi sekunder (C_a). Berdasarkan Mesri (1973), korelasi nilai C_a dapat berkisar pada 0,0005-0,001, di mana $C_a \approx 0,0001$ *water content* dalam persen (Das, 2014).

Besarnya konsolidasi sekunder dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_s = C_a' H_c \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \quad (7)$$

Dengan S_s = konsolidasi sekunder, C_a' = koefisien konsolidasi sekunder efektif, t_2 = waktu rencana konsolidasi sekunder, t_1 = waktu konsolidasi primer.

2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data

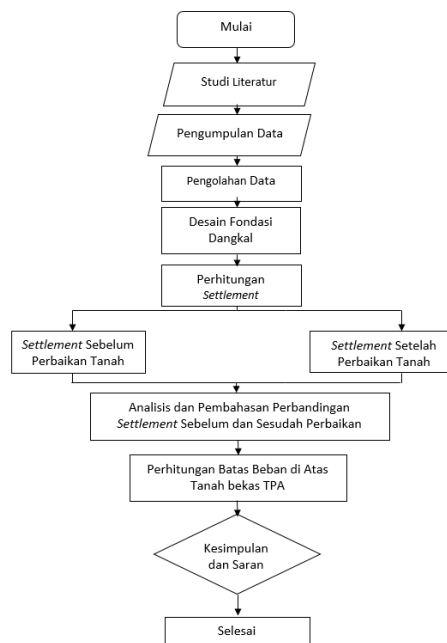
Pada kajian ini, data yang digunakan berasal dari hasil pengujian data sebuah penelitian tentang profil tanah *landfill* di Bandung. Data yang diperoleh berupa data uji N-SPT tanah, data sondir dan data tes sampel tanah di laboratorium. Data yang digunakan adalah profil tanah yang berkedalaman hingga 20 meter di bawah permukaan tanah.

Pengolahan data

Pada tahapan pengolahan data, data yang terkumpul dilakukan korelasi untuk membuat *summary* data tanah untuk mempermudah perhitungan. Data – data yang belum lengkap didapatkan dengan melakukan pendekatan berdasarkan studi literatur yang ada. Perhitungan beban struktur dilakukan dalam *software* dan dipilih titik fondasi dengan kombinasi beban vertikal, horizontal dan momen terbesar. Pengolahan data selanjutnya menghitung besar penurunan langsung, konsolidasi primer, dan sekunder yang terjadi pada tanah asli. Perbandingan data dilakukan terhadap penurunan yang terjadi pada tanah asli dan tanah yang telah di stabilisasi menggunakan Sodium Hidroksida dan batu kapur. Efisiensi pengurangan penurunan tanah dihitung dengan membandingkan pengurangan penurunan yang terjadi dengan penurunan tanah asli, dan disajikan dalam persentase.

Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan korelasi yang dilakukan, *summary* data tanah yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan tabel 2 dan 3.

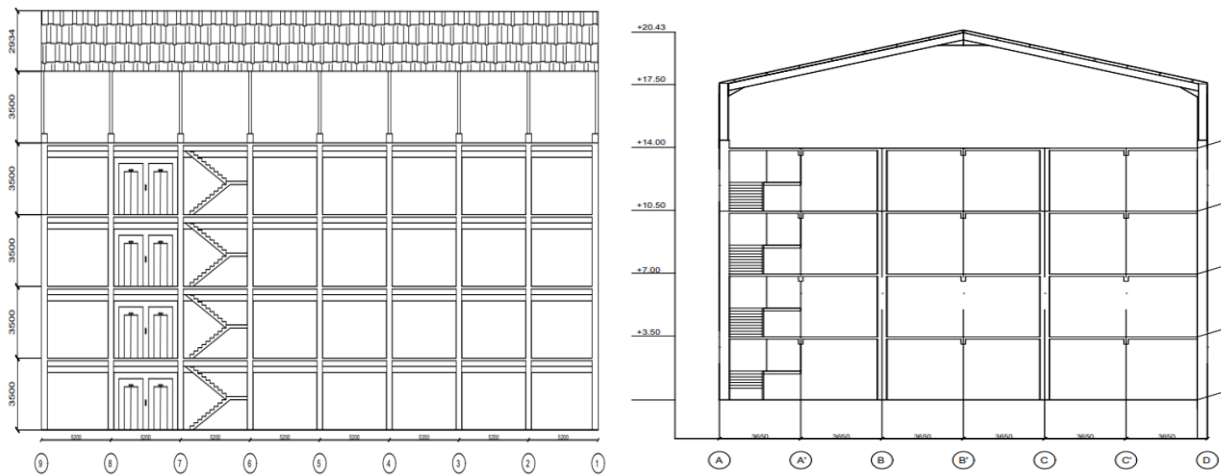
Tabel 2. *Summary* data tanah (1)

<i>Elevasi</i>		<i>Tipe</i>	G_s	γ (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	w (%)
0	2	<i>Clay</i>	2,65	19	16	18,5	24
2	4	<i>Sandy silt</i>	2,65	19	16	18,5	24
4	5	<i>Sandy clay</i>	2,65	19	16	18,5	24
5	6	<i>Sandy clay</i>	2,65	19	16	18,5	24
6	8	<i>Sandy silt</i>	2,65	19	16	18,5	24
8	10	<i>Clay</i>	2,65	19	16	18,5	24
10	12	<i>Clay</i>	2,67	19	17	20	20
12	15	<i>Clay</i>	2,67	19	17	20	20
15	18	<i>Clay</i>	2,67	20	17	20	20
18	20	<i>Clay</i>	2,67	20	17	20	20

Tabel 3. *Summary* data tanah (2)

<i>Elevasi</i> (m)	<i>e</i>	<i>C</i> (kg/m ²)	<i>C_c</i>	<i>C_s</i>	Φ'	<i>S_u</i> (KPa)	<i>OCR</i>	<i>Pc'</i>	<i>E</i> (MPa)	<i>c'</i> (KPa)	<i>C_v</i> (m ² /thn)	
0	2	0,7	0,6	0,3	0,095	32	25	8	160	8	2,5	6
2	4	0,7	0,6	0,3	0,095	32	25	3,6	160	8	2,5	6
4	5	0,7	0,6	0,3	0,095	32	25	2,4	160	8	2,5	6
5	6	0,65	0,6	0,4	0,095	27	25	2,4	160	8	5,5	3
6	8	0,65	0,6	0,4	0,095	27	25	2,4	160	8	5,5	3
8	10	0,65	0,6	0,4	0,095	27	40	2,4	240	12	5,5	3
10	12	0,6	1,35	0,2	0,095	30	40	2,4	240	12	8	6
12	15	0,6	1,35	0,2	0,095	30	55	2	280	24	8	6
15	18	0,6	1,35	0,15	0,095	30	55	2	280	24	13,5	6
18	20	0,6	1,35	0,15	0,095	30	100	3	560	24	20	6

Data beban rencana dengan draft struktur seperti pada gambar 5. Beban rencana menggunakan beban tipikal pada tiap lantai, mulai dari lantai 1 hingga lantai 4 beserta dengan atap. Beban atap menggunakan atap yang terbuat dari baja ringan. Pada permodelan beban dilakukan secara berurutan mulai dari beban 1 lantai, 2 lantai, 3 lantai, hingga 4 lantai yang diaplikasikan di *software*.



Gambar 5. Tampak samping (kiri) dan tampak depan (kanan) dari struktur bangunan

Dari hasil input pada *software*, didapati beban maksimum fondasi pada tiap tipe beban, lalu diperhitungkan daya dukung fondasi untuk menahan beban serta desain fondasi sesuai dengan tabel 4.

Tabel 4. Beban maksimum pada berdasarkan tipe beban dan dimensi fondasi

Beban	V (kN)	H(kN)	M(kNm)	D _f (m)	B(m)
1 lantai + atap	423,383	87,987	92,1393	1	2
2 lantai + atap	755,828	69,2584	72,907	1	2
3 lantai + atap	1086,77	72,8874	76,8613	1	2,5
4 lantai + atap	1417,46	71,7236	75,6818	2	2.5

Perhitungan *settlement* dilakukan berdasarkan studi literatur yang ada, didapati penurunan total yang terjadi pada tanah asli terdapat pada tabel 5.

Tabel 5. Penurunan pada tanah asli

Beban	D(m)	B(m)	Si(cm)	Sc(cm)	Ss(cm)	Stotal(cm)
1 lantai + atap	1	2	7,3314	18,6944	3,4899	29,5157
2 lantai + atap	1	2	8,5001	20,7824	3,4899	32,7724
3 lantai + atap	1	2,5	9,1310	19,6324	3,4899	32,2533
4 lantai + atap	2	2,5	13,0788	22,7989	3,5608	39,4386

Dari tabel 5, didapati bahwa semua penurunan dengan variasi tipe beban lebih besar dari 15 cm, maka dilakukan stabilisasi menggunakan metode pencampuran Sodium Hidroksida maupun batu kapur. Pencampuran Sodium Hidroksida digunakan kadar 6% diambil variasi pengurangan kadar air sebesar 14 % dengan range peningkatan S_u sebesar 20%, 60%, dan 110%. Sedangkan, stabilisasi dengan batu kapur 3-4,5% diambil variasi peningkatan S_u sebesar 55% dengan range pengurangan kadar air sebesar 11% dan 18%.

Penurunan total pada tanah stabilisasi Sodium Hidroksida 6% ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Penurunan total pada tanah terstabilisasi sodium hidroksida 6%

Beban	Peningkatan Su	Si(cm)	Sc(cm)	Ss(cm)	Stotal (cm)
1 lantai + atap	20%	6,1095	16,3028	3,4899	24,7895
	60%	4,5821	15,1901	3,4899	23,2621
	110%	3,4911	15,1901	3,4899	22,1711
2 lantai + atap	20%	7,0834	18,1053	3,4899	28,6786
	60%	5,3125	16,6331	3,4899	25,4356
	110%	4,0477	16,4793	3,4899	24,0168
3 lantai + atap	20%	7,6092	17,2157	3,4899	28,3148
	60%	5,7069	16,2298	3,4899	25,4265
	110%	4,3481	16,2298	3,4899	24,0678
4 lantai + atap	20%	10,899	19,0003	3,5608	33,4602
	60%	8,1743	16,8616	3,5608	28,5967
	110%	6,228	16,8616	3,5608	26,6504

Penurunan total pada tanah stabilisasi batu kapur 3-4,5% ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Penurunan total pada tanah stabilisasi batu kapur 3-4,5%

Perbaikan	Beban	Si(cm)	Sc(cm)	Ss(cm)	Stotal (cm)
-11 % w	1 lantai + atap	4,73	15,72	3,49	23,94
	2 lantai + atap	5,484	17,505	3,49	26,478
	3 lantai + atap	5,891	16,796	3,49	26,177
	4 lantai + atap	8,4348	17,45	3,561	29,449
-18 % w	1 lantai + atap	4,73	14,484	3,49	22,703
	2 lantai + atap	5,484	16,128	3,49	25,102
	3 lantai + atap	5,891	15,475	3,49	24,856
	4 lantai + atap	8,438	16,077	3,561	28,076

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat dihitung besarnya pengurangan *settlement* yang terjadi setelah stabilisasi dilakukan seperti pada tabel 8 dan 9.

Tabel 8. Perbandingan penurunan tanah stabilisasi sodium hidroksida 6% (NaOH)

Beban	Tanah asli	Stotal (cm)					
		Perbaikan NaOH 6%					
		20% Su	% pengurangan <i>settlement</i>	60% Su	% pengurangan <i>settlement</i>	110% Su	% pengurangan <i>settlement</i>
1 lantai + atap	29,5157	24,7895	16,0126	23,2621	21,1873	22,1711	24,8836
2 lantai + atap	30,0953	28,6786	4,7073	25,4356	15,4831	24,0168	20,1974
3 lantai + atap	32,2533	28,3148	12,2112	25,4265	21,1660	24,0678	25,3789
4 lantai + atap	39,4386	33,4602	15,1588	28,5967	27,4905	26,6504	32,4255

Tabel 9. Perbandingan penurunan tanah stabilisasi batu kapur 3-4,5%

Beban	Stotal (cm)				
	Tanah asli	Batu Kapur 3-4,5%			
		- 11% w	% pengurangan <i>settlement</i>	-18% w	% pengurangan <i>settlement</i>
1 lantai + atap	29,5157	23,9398	18,8913	22,7034	23,0802
2 lantai + atap	30,0953	26,4784	12,0182	25,1016	16,5929
3 lantai + atap	32,2533	26,1768	18,8399	24,8558	22,9357
4 lantai + atap	39,4386	29,4486	25,3305	28,0761	28,8105

Hasil perbandingan

Pada stabilisasi menggunakan Sodium Hidroksida, penurunan total terkecil pada tiap jenis beban sebesar 22,1711 cm untuk beban 1 lantai, 24,0168 cm untuk beban 2 lantai, 24,0678 cm untuk beban 3 lantai, dan 26,6504 cm untuk beban 4 lantai. Persen pengurangan penurunan terkecil sebesar 4,7073 % dan terbesar sebesar 32,4255 %.

Pada stabilisasi menggunakan batu kapur 3-4,5%, penurunan total terkecil pada tiap jenis beban sebesar 22,7034 cm untuk beban 1 lantai, 25,1016 cm untuk beban 2 lantai, 24,8558 cm untuk beban 3 lantai, dan 28,0761 cm untuk beban 4 lantai. Persen pengurangan penurunan terkecil sebesar 12,0182% dan terbesar sebesar 28,8105%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis penurunan tanah yang terjadi pada fondasi dangkal dapat disimpulkan bahwa:

1. Persen pengurangan penurunan tanah dengan stabilisasi kimiawi metode NaOH maupun batu kapur meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diterapkan pada fondasi. Hal ini dapat dilihat pada hasil perbandingan di mana pengurangan maksimum sebesar 24,8836% pada beban 1 lantai, 20,19% pada beban 2 lantai, 25,3780 % pada beban 3 lantai, dan 32,4255% pada beban 4 lantai. Hal ini menunjukkan perbaikan tanah semakin efektif digunakan seiring dengan bertambahnya beban.
2. Perbaikan tanah menggunakan NaOH 6% dapat mencapai persen pengurangan penurunan tanah lebih besar dibandingkan perbaikan menggunakan batu kapur 3-4,5%. Hal ini terlihat dengan % pengurangan maksimum beban 1 lantai sebesar 24,8836% pada NaOH dan 23,0802 % pada batu kapur. Pada beban 2 lantai sebesar 20,1974% pada NaOH dan 16,5929% pada batu kapur. Pada beban 3 lantai sebesar 25,378 % pada NaOH dan 22,9357% pada batu kapur. Pada beban 4 lantai sebesar 32,4255% pada NaOH dan 28,8105% pada batu kapur. Dapat disimpulkan bahwa perbaikan tanah secara kimiawi menggunakan NaOH 6% lebih baik dari batu kapur 3-4,5% dalam meningkatkan kemampuan tanah menahan beban dan peningkatan karakteristik tanah.
3. Pada tanah *landfill* dengan kondisi asli memiliki kepadatan tanah yang sangat buruk, hal ini terlihat dengan penurunan tanah yang terjadi pada beban bangunan 1 lantai sebesar 29,5157 cm, 30,0953 cm pada beban 2 lantai, 32,2533 cm pada beban 3 lantai, dan 39,4386 cm pada beban 4 lantai. Hal ini menunjukkan bahwa tanah *landfill* tidak dapat digunakan untuk peruntukkan konstruksi tanpa dilakukannya perbaikan tanah terlebih dahulu. Pengujian dengan beban 1 lantai terkecil sekali pun tidak memenuhi persyaratan batas penurunan sebesar 15 cm pada fondasi.
4. Peningkatan kualitas tanah untuk memperkecil penurunan yang terjadi dengan stabilisasi tanah secara kimiawi menggunakan NaOH dan batu kapur belum dapat memenuhi persyaratan penurunan maksimum tanah standar yang ditetapkan sebesar 15 cm. Hal ini terlihat pada tabel 8 dan 9 di mana semua penurunan yang terjadi baik sebelum maupun sesudah perbaikan masih melampaui batas penurunan 15 cm. Hal ini disebabkan penurunan total pada tanah asli sangat jauh dari batas penurunan 15 cm, yaitu sebesar 29,5157 cm untuk penurunan yang paling mendekati batas persyaratan. Maka, diperlukan alternatif perbaikan yang lebih signifikan dalam memperbaiki kemampuan tanah menahan beban.
5. Pemilihan dimensi fondasi berperan penting dalam rangka mengurangi *settlement* yang terjadi pada tanah *landfill*. Pada penelitian digunakan diameter penampang terbesar adalah 2,5 m, apabila penampang diperbesar dapat mengecilkan penurunan tanah yang terjadi hingga memenuhi persyaratan

penurunan, akan tetapi hal ini menyebabkan *overstrength* pada desain fondasi di mana daya dukung fondasi jauh melampaui beban sehingga desain tidak efektif atau boros.

6. Stabilisasi kimiawi dengan NaOH 6% mengurangi penurunan total yang terjadi pada tanah *landfill*. Pada pengujian beban 1 lantai, pengurangan penurunan tanah didapati sebesar 16,0126 % - 24,8836% dari penurunan tanah asli, 4,7073 % - 20,1974 % pada beban 2 lantai, 12,2112 % - 25,3789 % pada beban 3 lantai, dan 12,2112 % - 25,3789 % pada beban 4 lantai.
7. Stabilisasi kimiawi dengan batu kapur 3-4,5% mengurangi penurunan total yang terjadi pada tanah *landfill*. Pada pengujian beban 1 lantai, pengurangan penurunan tanah didapati sebesar 18,8913 % - 23,0802 % dari penurunan tanah asli, 12,0812 % - 16,5929 % pada beban 2 lantai, 18,8399 % - 22,9357 % pada beban 3 lantai, dan 25,3305 % - 28,8105 % pada beban 4 lantai.
8. Perbaikan menggunakan NaOH 6% memiliki rentang variasi pengurangan *settlement* yang lebih lebar dibandingkan perbaikan menggunakan batu kapur 3-4,5%. Hal ini dapat dilihat dari tabel 8 dan 9 di mana perbaikan NaOH 6% menghasilkan pengurangan sebesar 16,0126 – 24,8836% pada uji beban lantai 1 yang memiliki range sebesar 8% pada variasi perbaikan, sedangkan batu kapur 3-4,5% menghasilkan pengurangan sebesar 18,8913 – 23,0802 % yang memiliki range sebesar 4,2 % pada variasi perbaikannya. Hal ini juga berlaku pada pengujian dengan beban lantai lebih besar.

Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan, penulis memberikan beberapa saran untuk melengkapi kekurangan – kekurangan yang ada untuk penelitian ke depannya, yaitu:

1. Diperlukannya analisis penurunan menggunakan *software* sebagai pembanding analisis, dikarenakan banyaknya parameter yang dapat terpengaruh akibat adanya perubahan suatu parameter tertentu yang dapat dilakukan lebih teliti dengan *software*.
2. Agar mendekati kondisi nyata mengenai tanah *landfill* diperlukannya pencocokan analisis material – material yang terkandung di dalam tanah *landfill* yang diuji dengan laju dekomposisi material serta ketebalan lapisan material yang ada di lapisan tanah *landfill*. Hal ini dikarenakan lapisan material yang terdekomposisi dapat menambah besarnya penurunan fondasi yang terjadi.
3. Diperlukannya alternatif perbaikan tanah yang lebih signifikan dalam meningkatkan parameter kemampuan tanah menahan beban.
4. Diperlukannya penelitian mengenai pengaruh bentuk penampang fondasi dangkal yang lebih efisien dalam mengurangi penurunan yang terjadi pada tanah *landfill*.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M. Principle of Foundation Seventh editon. Canada: Thomson Canada Limited, 2010.
- Das, Braja M., Khaled. *Principles of Geotechnical Engineering. (8th edition)*. United States of America. *Global Engineering*, 2014.
- Gunarso, Andreas, dan Rizqi Nupriyanto. “Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Campuran Larutan NaOH 7,5%.” *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 6, no. 2, 2017, pp. 238–45.
- Hussain, Saddam. “Stabilization of Expansive Soil Using Sodium Hydroxide.” *International Interdisciplinary Conference on Science Technology Engineering Management*, 2017, pp. 432–39.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (TPA) Sampah - Data Alam - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2020. 26 November 2020. <dataalam.menlhk.go.id>.
- Kumar, Mukesh, Singh, J. P, & Mishra, M. K. An Experimental Study of Soil Stabilisation Using Sodium Hydroxide Additive. 2012: 1–5.
- Septiadi, Kevin dan Aniek Prihatiningsih. “Studi Manfaat Daya Dukung Belled Pile Dan Multi-Belled Pile.” *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 3, no. 4, 2020, p. 1113, doi:10.24912/jmts.v3i4.8394.
- Singh, Gurbaksh dan Ritu Goyal. “Analysis of Heavy Metals Concentration in Landfill Soil.” *International Journal of Engineering Research And*, vol. V8, no. 12, 2019, pp. 9–10, doi:10.17577/ijertv8is120019.
- Tatiana dan Ernest. “The Effect of Quicklime Stabilization on Soil Properties”. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 10. 2016, pp. 444-451.
- Yoo, Kee-Young, Won-ju K., Kyu-yi K., *Nanjido Eco Park Restoration from Waste Dumping site*. Seoul. *Seoul Metropolitan Government*, 2014.