

ANALISIS PENYEBAB KERUSAKAN RUMAH SEDERHANA YANG DIDIRIKAN DI ATAS TANAH LEMPUNG DI DAERAH KEROBOKAN

I G N Wardana¹ dan Suryanegara Dwipa RS²

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar

²Dosen Politeknik Negeri Bali,

Email : wardana888@yahoo.com

Abstrak: Studi ini menganalisis kerusakan bangunan berlantai satu yang didirikan di atas tanah lempung di daerah Kerobokan, Kabupaten Badung. Tujuan studi untuk analisis penyebab kerusakan pada bangunan, apakah akibat pengembangan atau penurunan. Metode yang digunakan dengan pengujian tegangan pengembangan pada alat oedometer dengan metode MSO (*Modified Swell Overburden*). Hasil studi menunjukkan bahwa tanah di lokasi studi memiliki nilai batas cair rata-rata sebesar 84,7% dan indeks plastisitas rata-rata sebesar 55%. Hasil pengujian dengan metode MSO menunjukkan bahwa pada kedalaman ini, σ_s yang terjadi adalah berkisar antara 0,37 – 4,80 kg/cm². Tegangan vertikal total σ_v pada kedalaman ini adalah sebesar 0,28 – 0,41 kg/cm². Sisa tegangan pengembangan pada kedalaman ini mengakibatkan terjadinya kenaikan permukaan tanah sebesar 0,004 – 0,143 m. Pada setiap kedalaman yang ditinjau, nilai σ_s selalu lebih besar dari nilai σ_v . Sehingga dapat disimpulkan bahwa kerusakan bangunan berlantai satu di daerah Kerobokan dan sekitarnya disebabkan oleh pengembangan tanah. Secara umum, pemecahan masalahnya adalah melawan tegangan pengembangan tersebut atau mengurangi pengembangannya. Salah satu metode untuk mengurangi pengembangannya adalah dengan mengurangi ketebalan lapisan lempungnya, atau dengan kata lain menambah kedalaman pondasi. Disarankan agar tanah di bawah pondasi digali sampai kedalaman 1,00 m. Untuk mengurangi kedalaman pondasi, galian pondasi ditimbun kembali dengan bahan timbunan yang tidak ekspansif sampai pada kedalaman dimana pondasi akan diletakkan.

Kata kunci : Kedalaman pondasi, tegangan pengembangan, Total tekanan vertikal

Abstract: This study analyses one storey building damage problem occurred on expansive clay at Kerobokan, Badung Regency. The study aims to determine whether swelling or consolidation that causes damage to the building. The method used is swelling test to the undisturbed sample to determine the swelling pressure (σ_s) on oedometer apparatus according to the MSO (*Modified Swell Overburden*) test method. The study found that the average Liquid Limit (LL) and Plasticity Index (PI) of the soil are 84.7% and 55% respectively. The test results showed that the swelling pressure σ_s of 0.37 – 4.80 kg/cm² occurred at any appropriate depth. The total vertical stress σ_v that could be mobilized at any appropriate depth was of 0.37 – 4.80 kg/cm². The difference between σ_s and σ_v cause heave of 0,004 – 0,143 m occurred at the bottom of the foundation. At any considered depth, the value of σ_s always greater than σ_v , so it is concluded that the building damage built at Kerobokan is due to soil swelling instead of the consolidation process. In general, it is suggested that the problem of soil swelling could be minimized by counter weighting the swelling pressure by loading as to increase the total vertical stress. It is also suggested to permanently replace the swelling soil layers to stopped swelling, in particular the most 1 m upper layer. This effort could be significantly decreased soil swelling.

Keywords: foundation depth, swelling pressure, total vertical stress

PENDAHULUAN

Pada tanah lempung (ekspansif), bangunan yang berada di atasnya, selain mengalami penurunan dapat pula terangkat ke atas karena beban yang bekerja tidak cukup besar untuk melawan tegangan pengembangan yang terjadi akibat mengembangnya tanah. Tanah di daerah Kerobokan adalah tanah ekspansif. Hal ini dibuktikan dari hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya. Penelitian oleh Arya (2006) menunjukkan bahwa tanah Kerobokan adalah tanah lempung yang memiliki potensi mengembang yang tinggi. Sementara itu, hasil penelitian yang dilakukan oleh Wiraga dan kawan-kawan (2007), memperlihatkan bahwa tanah di daerah Kerobokan dan sekitarnya mempunyai Indeks Plastisitas (PI) lebih dari 50% dan batas cair (LL) diatas 80%, sehingga dikategorikan sebagai tanah ekspansif yang memiliki potensi mengembang yang tinggi, sesuai dengan Das (1990), yang mengatakan bahwa tanah ekspansif mempunyai $IP > 15\%$ dan $LL > 80\%$.

Beberapa jenis kerusakan yang dapat terjadi pada bangunan yang didirikan di atas tanah yang ekspansif diantaranya : dinding tembok rumah pecah dan kadangkadang merekah lebar, lantai rumah bergelombang dan mengalami retak-retak, jalan raya bergelombang yang diikuti oleh retak-retak, miringnya abutmen jembatan karena pergerakan tanah di belakangnya (Mochtar, 2000). Tanah ekspansif juga menimbulkan masalah di berbagai negara. Di Amerika Serikat masalah ini bahkan merupakan “problema 7 milyar dolar” yang merupakan kerugian yang diderita oleh negara ini setiap tahun akibat tanah ekspansif (Mochtar, 2004). Dari hasil pengamatan di daerah studi, ditemukan adanya pola kerusakan yang sama pada bangunan seperti : retak-retak vertikal, horisontal dan diagonal pada tembok bangunan, retak lantai dan peninggian permukaan lantai, jendela atau pintu yang susah dibuka karena kusennya mengalami distorsi. Beberapa bangunan bahkan mengalami retak struktural, sehingga memerlukan perbaikan berat atau bahkan harus di-

runtuhkan untuk kemudian dibangun kembali.

Penelitian ini dibatasi pada analisis pengaruh pengembangan terhadap stabilitas pondasi menerus bangunan rumah tinggal berlantai satu yang dibangun di daerah Kerobokan, Kabupaten Badung, Bali. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa yang manakah diantara penurunan dan pengembangan yang lebih berperan menyebabkan terjadinya kerusakan pada bangunan di daerah Kerobokan dan bagaimana cara mengatasinya, sehingga kerusakan bangunan akibat perilaku yang tidak menguntungkan dari tanah ekspansif ini dapat diminimalkan atau bahkan dihindari.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Sampel tanah (*undisturb*) untuk pengujian diambil dari beberapa tempat pada berbagai kedalaman. Setelah sampel didapatkan, selanjutnya dilakukan pengujian sifat fisik meliputi pengujian kadar air, batas-batas Atterberg, berat isi dan berat jenis. Hasil Pengujian batas-batas Atterberg di gambarkan pada bagan plastisitas Casagrande untuk mengidentifikasi jenis tanahnya. Hasil pengujian kadar air dipakai untuk menggambarkan profil kadar air pada berbagai kedalaman untuk menentukan kedalaman zone aktif.

Pengujian utama yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji tegangan pengembangan σ_s . Tujuannya adalah untuk mengetahui besarnya tegangan pengembangan dan kenaikan permukaan tanah δ_w pada kedalaman tertentu. Tegangan pengembangan ini selanjutnya dibandingkan dengan besarnya tegangan vertikal total σ_v yang diakibatkan oleh beban bangunan dan beban *overburden*, pada kedalaman pondasi tertentu. Jika $\sigma_s > \sigma_v$ maka dapat dipastikan bahwa kerusakan bangunan diakibatkan oleh tegangan pengembangan. Jika sebaliknya, maka kerusakan bangunan diakibatkan oleh proses penurunan.

Uji pengembangan dilakukan pada alat oedometer, dengan metode MSO (modified swell overburden). Pengujian dilakukan dengan cara merendam contoh ta-

nah yang diambil dari kedalaman tertentu dan dibiarkan mengembang sampai terjadi kondisi keseimbangan, yaitu tidak terjadi pengembangan lebih lanjut. Besar pengembangan yang terjadi dicatat sebagai $s_{w(i)}$ (dalam persen), yaitu besarnya pengembangan pada kedalaman h_i . Selanjutnya, beban ditambahkan secara bertahap sampai benda uji kembali ke kondisi awalnya, yaitu pada titik dimana regangan sama dengan nol. Dari pengujian ini diperoleh tegangan pengembangan σ_s pada kedalaman h_i dan grafik hubungan antara tegangan pengembangan σ_s dengan pengembangan $s_{w(i)}$. Berdasarkan grafik ini dapat dicari berapa besarnya pengembangan $\epsilon_{\omega i}$ untuk suatu nilai tegangan vertikal total pada lapisan tanah tersebut. Pengujian yang sama dilakukan terhadap contoh tanah yang diambil dari beberapa kedalaman yang berbeda.

Untuk dapat menghitung kenaikan permukaan tanah total δ_w akibat pengembangan ini, maka tanah di bawah pondasi dibagi menjadi beberapa lapisan, dengan prosedur yang mirip untuk perhitungan penurunan. Lapisan tanah ini dibuat tipis pada lapisan tepat di bawah pondasi dan semakin ke bawah semakin tebal. Batas bawah dari lapisan terakhir merupakan batas dari zone aktif.

Kenaikan permukaan tanah total akibat pengembangan dicari dengan persamaan :

$$\delta_w = \sum \alpha_i H_i \epsilon_{\omega i} \dots\dots\dots 1$$

dimana δ_w = kenaikan permukaan tanah;
 α_i = koefisien pembasahan pada lapisan ke-i; H_i = tebal lapisan ke-i dan $\epsilon_{\omega i}$ = pengembangan pada lapisan ke-i pada tegangan sebesar σ_v .

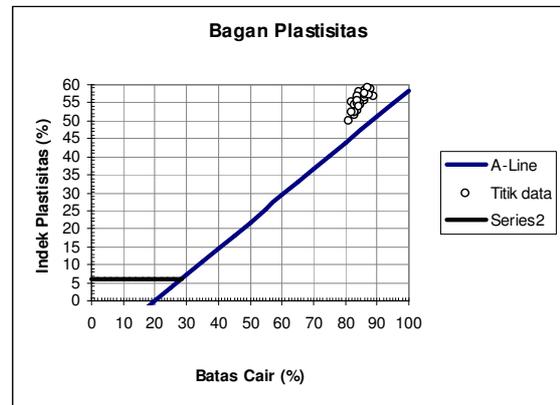
Koefisien pembasahan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\alpha = \frac{S - S_o}{1 - S_o} \dots\dots\dots 2$$

dimana α_i = koefisien pembasahan pada lapisan ke-i; S = derajat kejenuhan setelah pembasahan; S_o = derajat kejenuhan awal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian batas-batas Atterberg menunjukkan bahwa tanah di lokasi studi memiliki nilai LL rata-rata sebesar 84,7% dan PI rata-rata sebesar 55%. Hasil pengujian diperlihatkan pada Tabel 1. Menurut Das (1990), tanah ini dikategorikan sebagai tanah lempung yang memiliki potensi pengembangan yang tinggi. Jika data ini dipetakan pada bagan plastisitas Casagrande, maka tanah ini termasuk dalam jenis CL seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Jenis tanah berdasarkan nilai PI dan LL

Tabel 1: Hasil Pengujian Batas-batas Atterberg

No. Bor	Kedalaman (m)	PL	LL	PI	%	
					%	%
B1	0.50	-	1.00	31.0	81.0	50.0
	1.00	-	1.50	29.9	84.0	54.1
	1.50	-	2.00	31.3	84.0	52.7
	2.00	-	3.00	31.6	83.0	51.4
B2	0.50	-	1.00	30.4	86.0	55.6
	1.00	-	1.50	29.1	88.0	58.9
	1.50	-	2.00	28.4	89.0	60.7
B3	0.50	-	2.75	32.2	89.0	56.8
	1.00	-	1.00	27.6	84.0	56.4
	1.50	-	1.50	26.9	82.0	55.1
B4	0.50	-	1.00	30.7	83.0	52.3
	1.00	-	1.50	29.3	84.0	54.7
	1.50	-	2.00	28.7	83.0	54.3
B5	0.50	-	1.00	29.4	85.0	55.6
	1.00	-	1.50	30.5	85.0	54.5
	1.50	-	2.00	29.4	85.0	55.6
	2.00	-	3.00	29.8	86.0	56.2

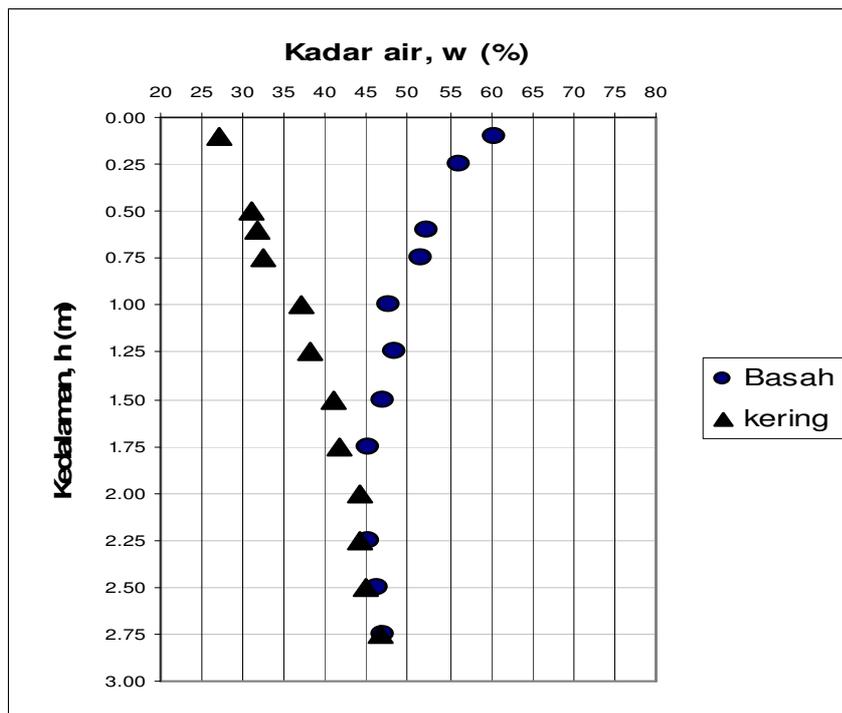
B6	0.50	-	1.00	30.7	83.0	52.3
	1.00	-	1.50	28.4	84.0	55.6
	1.50	-	2.00	29.3	84.0	54.7
	2.00	-	2.50	27.6	86.0	58.4
Rata-rata				84.7	55.0	

Tabel 2: Kadar air pada berbagai kedalaman pada titik Bor 1

Kedalaman (m)	Kadar air (%)	
	basah	kering
0.10	60.34	27.24
0.25	56.32	
0.50		31.13
0.60	52.45	31.72
0.75	51.64	32.36
1.00	47.62	37.15
1.25	48.23	38.21
1.40		
1.50	46.86	41.05
1.60		
1.75	45.12	41.83
2.00		44.19
2.25	45.30	44.17
2.50	46.19	45.00
2.75	46.88	46.53

Kedalaman zone aktif ditentukan dengan cara membuat grafik profil kadar air berdasarkan kedalaman, untuk kondisi kering dan kondisi basah. Kedalaman zone aktif berkisar antara 1,5 – 3 meter dengan ketebalan lapisan lempung berkisar antara 2 – 5 meter.

Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian kadar air pada berbagai kedalaman pada titik Bor 1. Profil kadar air terhadap kedalaman untuk lubang Bor 1, diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Profil Kadar air terhadap Kedalaman pada Titik Bor 1

Profil kadar air juga dapat dipakai untuk menentukan derajat kejenuhan (SR) tanah pada berbagai kedalaman, baik pada saat musim kering maupun pada saat musim hujan. Pada saat musim kering, nilai SR meningkat dengan bertambahnya kedalaman, sampai mencapai suatu nilai yang konstan pada kedalaman tertentu.

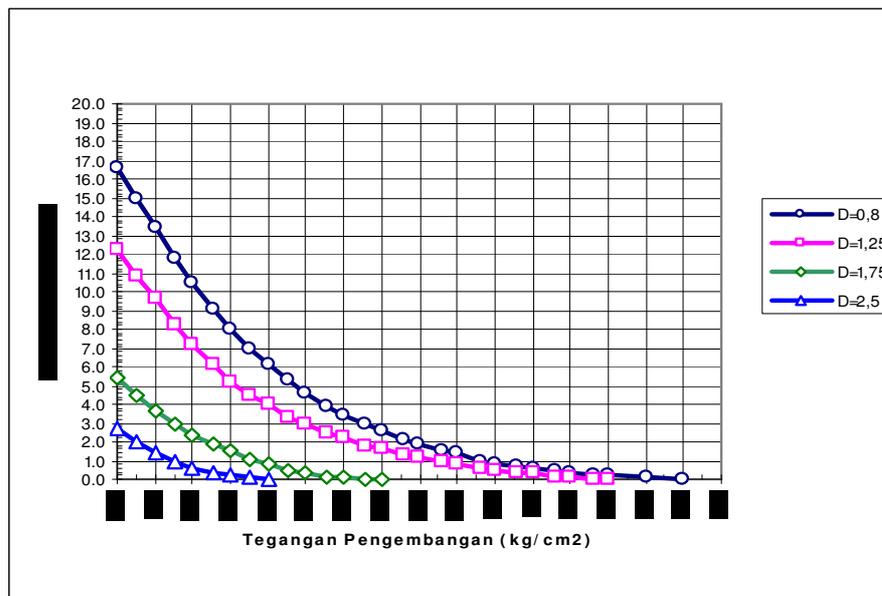
Pada saat musim hujan, nilai SR berkurang dengan bertambahnya kedalaman, kemudian bertambah sampai mencapai nilai yang konstan pada kedalaman tertentu. Nilai SR selanjutnya akan dipakai untuk menentukan nilai koefisien pembasahan pada perhitungan *heave*.

Pondasi bangunan di lokasi studi mempunyai kedalaman rata-rata sebesar 0,5 m, sehingga penelitian difokuskan untuk mengetahui berapakah besar σ_s dan kenaikan permukaan tanah (δ_w) pada kedalaman ini. Pengujian pengembangan dengan metode MSO, menghasilkan pengembangan dan tegangan pengembangan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3. Pada Gambar 3 diperlihatkan hubungan antara pengembangan dan tegangan pengembangan pada titik Bor 1.

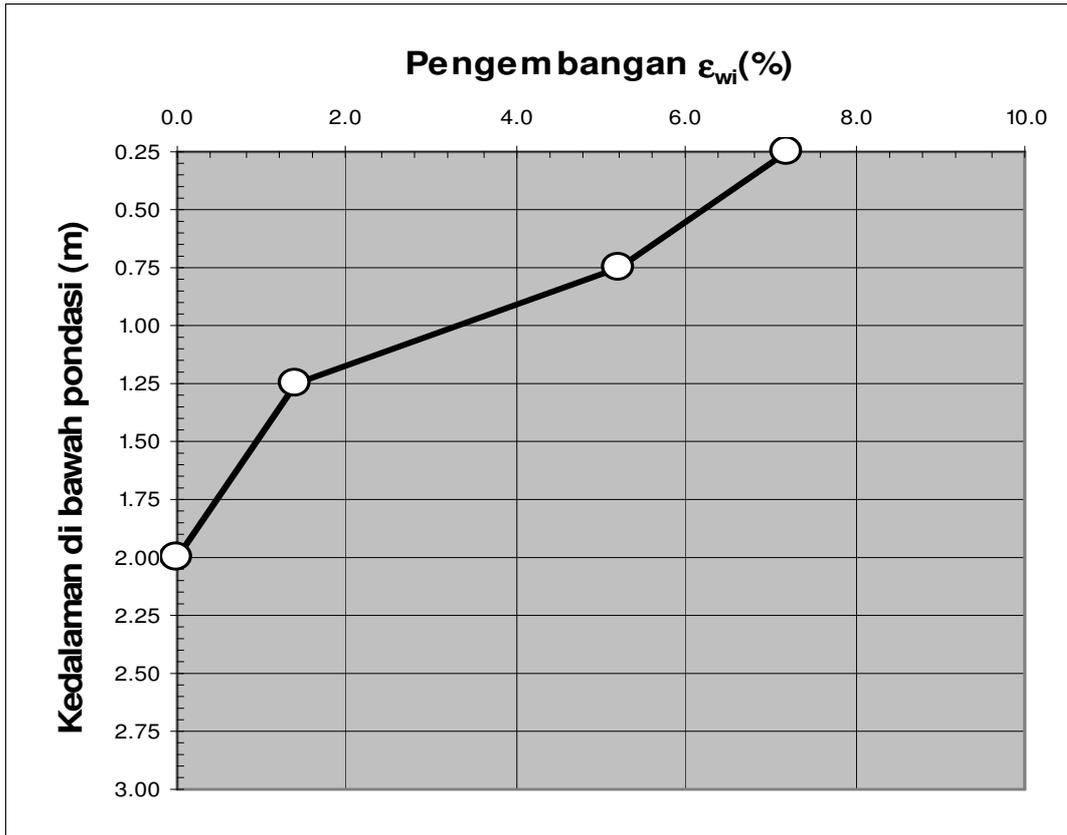
sesuaian dengan tegangan vertikal total pada masing-masing kedalaman. Selanjutnya dihitung besarnya kenaikan permukaan tanah dengan persamaan (1) yang hasilnya diperlihatkan pada Tabel 4. Dimana : H_i = tebal lapisan ke-i; z_f = jarak dasar pondasi ke tengah lapisan ke-i; σ_{vo} = beban overburden; $\Delta\sigma_{vs}$ = tambahan tegangan akibat beban pondasi; δ_{wi} = kenaikan permukaan tanah pada lapisan ke-i dan δ_w = akumulasi kenaikan permukaan tanah pada lapisan ke-i.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pengembangan

Titik Bor	D (m)	Swell (%)	ϵ_{wi} (%)	Titik Bor	D (m)	Swell (%)	ϵ_{wi} (%)
B1	0,8	16.6	7.2	B4	0,8	5.4	0.6
	1,25	12.2	5.2		1,25	4.0	0.5
	1,75	5.4	1.4		1,75	2.7	0.1
	2,50	2.7	0				
B2	0,8	20.2	16.0	B5	0,8	9.4	4.5
	1,25	16.1	11.5		1,25	8.1	4.0
	1,75	5.9	1.7		1,75	6.4	2.8
	2,50	2.4	0.0		2,50	2.9	0.0
B3	0,8	5.9	0.7	B6	0,8	8.6	5.0
	1,25	3.4	0.3		1,25	6.3	4.0
			1,75		4.8	2.5	
			2,25		2.2	0.2	

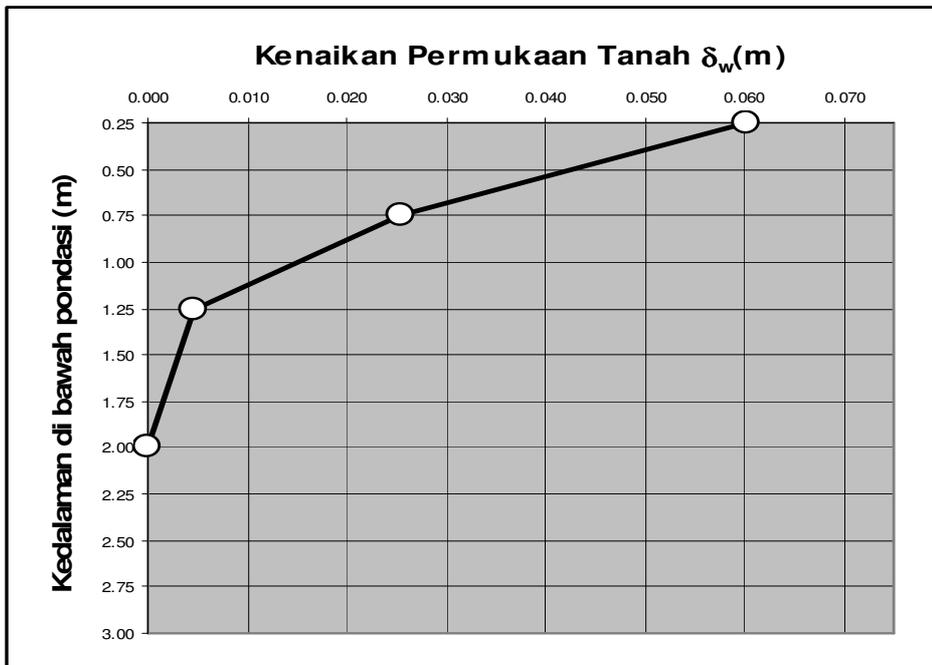


Gambar 3 : Hubungan Pengembangan dengan Tegangan Pengembangan pada Titik Bor 1



Gambar 4 : Hubungan Pengembangan dengan Kedalaman pada Titik Bor 1

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara ϵ_{wi} dengan kedalaman untuk titik bor 1 sedangkan hubungan antara δ_w dengan kedalaman ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 : Hubungan Kenaikan Permukaan Tanah dengan Kedalaman pada Titik Bor 1

Pada titik bor 1, pada kedalaman ditengah-tengah lapisan pertama di bawah pondasi, σ_s yang terjadi adalah sebesar $1,50 \text{ kg/cm}^2$. Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa, tegangan vertikal total σ_v pada kedalaman ini adalah sebesar $0,34 \text{ kg/cm}^2$. Jika nilai σ_v sebesar $0,34 \text{ kg/cm}^2$ diplot pada Gambar 3, maka akan menghasilkan nilai ϵ_{w1} sebesar $7,2\%$.

Selanjutnya, berdasarkan persamaan (1) kenaikan permukaan tanah (δ_{w1}) pada lapisan ini adalah sebesar $0,035 \text{ m}$. Dengan cara yang sama, nilai ϵ_{wi} untuk masing-masing lapisan dapat ditentukan dan selanjutnya, dapat dihitung nilai δ_{wi} pada masing-masing lapisan dan nilai akumulasi. Kenaikan permukaan tanah pada masing-masing lapisan ini terjadi karena nilai σ_s lebih besar dari nilai σ_v pada masing-masing lapisan. Ini berarti bahwa tegangan vertikal total pada masing-masing lapisan tidak cukup besar untuk melawan tegangan pengembangan yang terjadi pada masing-masing lapisan tersebut. Sisa σ_s inilah yang menyebabkan naiknya permukaan tanah.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4, pondasi yang diletakkan pada kedalaman $0,5 \text{ m}$ akan terangkat ke atas sebesar $0,060 \text{ m}$ akibat akumulasi dari kenaikan permukaan tanah pada masing-masing lapisan tanah dibawahnya. Hasil pengujian pengembangan dan perhitungan kenaikan permukaan tanah pada titik-titik

bor yang lainnya menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian dan perhitungan untuk titik bor 1. Pada semua lapisan tanah pada titik-titik bor ini terjadi kelebihan tegangan pengembangan, karena nilai σ_s lebih besar dari nilai σ_v . Kelebihan nilai σ_s ini mengakibatkan terjadinya kenaikan permukaan tanah antara $0,005 \text{ m}$ sampai $0,126 \text{ m}$. Pada semua lokasi pengambilan sampel, pengembangan terbesar terjadi pada sampel tanah yang diambil dari kedalaman $0,8 \text{ m}$. Dengan kata lain, lapisan tanah sampai kedalaman $0,8 \text{ m}$ memberikan kontribusi terbesar diantara lapisan tanah yang lain, terhadap kenaikan permukaan tanah.

Salah satu cara untuk mengurangi besarnya kenaikan permukaan tanah adalah dengan teknik perbaikan tanah dengan membuang lapisan tanah asli yang menyebabkan terjadinya pengembangan (Das, 1990). Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4, disarankan agar lapisan tanah sedalam 1 meter di bawah pondasi dibuang, sehingga dapat mengurangi kenaikan permukaan tanah. Pada kedalaman ini, akumulasi kenaikan permukaan tanah berkisar antara $0,002$ sampai $0,027 \text{ m}$, kecuali pada titik bor 2 yang mencapai $0,051 \text{ m}$. Untuk mengurangi ketinggian pondasi, galian pondasi ditimbun kembali dengan bahan timbunan yang tidak ekspansif sampai pada kedalaman dimana pondasi akan diletakkan.

Tabel 4 : Perhitungan Kenaikan Permukaan Tanah

Titik Bor	Kedalaman (m)	Hi (m)	zf (m)	γb (kg/m^3)	σ_{vo} (kg/m^2)	$\Delta\sigma_{vs}$ (kg/m^2)
B1	0.50 - 1.00	0.50	0.25	1,624	406	2,929
	1.00 - 1.50	0.50	0.75	1,696	1,272	1,553
	1.50 - 2.00	0.50	1.25	1,696	2,120	990
	2.00 - 3.00	1.00	2.00	1,702	3,404	633
B2	0.50 - 1.00	0.50	0.25	1,700	425	2,929
	1.00 - 1.50	0.50	0.75	1,700	1,275	1,553
	1.50 - 2.00	0.50	1.25	1,703	2,129	990
	2.00 - 2.75	0.75	1.88	1,703	3,193	674
B3	0.50 - 1.00	0.50	0.25	1,710	428	2,929
	1.00 - 1.50	0.50	0.75	1,718	1,289	1,553
B4	0.50 - 1.00	0.50	0.25	1,725	431	2,929
	1.00 - 1.50	0.50	0.75	1,732	1,299	1,553
	1.50 - 2.00	0.50	1.25	1,742	2,178	990
B5	0.50 - 1.00	0.50	0.25	1,728	432	2,929
	1.00 - 1.50	0.50	0.75	1,732	1,299	1,553

	1.50 - 2.00	0.50	1.25	1,743	2,179	990		
	2.00 - 3.00	1.00	2.00	1,746	3,492	633		
B6	0.50 - 1.00	0.50	0.25	1,698	425	2,929		
	1.00 - 1.50	0.50	0.75	1,705	1,279	1,553		
	1.50 - 2.00	0.50	1.25	1,705	2,131	990		
	2.00 - 2.50	0.50	1.75	1,721	3,012	720		

Titik	Kedalaman	σ_v	* ϵ_{wi}	So	S	α	δ_{wi}	δ_w
Bor	(m)	(kg/cm ²)	(%)	(%)	(%)		(m)	(m)
B1	0.50 - 1.00	0.33	7.20	73.3	99.1	0.97	0.035	0.060
	1.00 - 1.50	0.28	5.20	86.5	97.2	0.79	0.021	0.025
	1.50 - 2.00	0.31	1.40	90.4	96.9	0.68	0.005	0.005
	2.00 - 3.00	0.40	0.00	93.2	99.2	0.88	0.000	0.000
B2	0.50 - 1.00	0.34	16.00	86.9	99.1	0.93	0.074	0.126
	1.00 - 1.50	0.28	11.50	91.3	98.2	0.79	0.046	0.051
	1.50 - 2.00	0.31	1.70	92.9	97.8	0.69	0.006	0.006
	2.00 - 2.75	0.39	0.00	96.1	99.4	0.85	0.000	0.000
B3	0.50 - 1.00	0.34	0.70	86.5	99.2	0.94	0.003	0.005
	1.00 - 1.50	0.28	0.30	95.3	99.6	0.91	0.001	0.001
B4	0.50 - 1.00	0.34	0.60	85.5	99.2	0.94	0.003	0.005
	1.00 - 1.50	0.29	0.50	91.8	98.0	0.76	0.002	0.002
	1.50 - 2.00	0.32	0.05	98.1	99.8	0.89	0.000	0.000
B5	0.50 - 1.00	0.34	4.50	83.7	99.6	0.98	0.022	0.049
	1.00 - 1.50	0.29	4.00	86.9	98.2	0.86	0.017	0.027
	1.50 - 2.00	0.32	2.80	90.9	97.4	0.71	0.010	0.010
	2.00 - 3.00	0.41	0.00	96.1	99.8	0.95	0.000	0.000
B6	0.50 - 1.00	0.34	5.00	74.6	99.5	0.98	0.025	0.045
	1.00 - 1.50	0.28	4.00	80.3	96.0	0.80	0.016	0.021
	1.50 - 2.00	0.31	2.50	93.8	96.0	0.36	0.004	0.005
	2.00 - 2.50	0.37	0.20	99.6	99.8	0.55	0.001	0.001

* dibaca dari grafik Pengembangan - Tegangan Pengembangan

SIMPULAN

Tanah di daerah Kerobokan adalah tanah ekspansif yang termasuk kedalam kelompok CH dengan potensi pengembangan yang tinggi. Tegangan pengembangan pada berbagai kedalaman lebih besar dari tegangan vertikal total sehingga mengakibatkan terjadinya kenaikan permukaan tanah yang mendorong bangunan yang didirikan di atasnya. Untuk mengurangi pengembangan tanah ini, sebaiknya dilakukan perbaikan tanah di bawah pondasi sedalam 1 m. Untuk mengurangi ketinggian

pondasi, galian pondasi ditimbun kembali dengan bahan timbunan yang tidak ekspansif sampai pada kedalaman dimana pondasi akan diletakkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1983, "Foundation in Expansive Soils", Technical Manual No. 5-818-7, Head Quarters Department of The Army, Washington D.C.
- Anonim, 2004, "Various Aspects Of Expansive Soils Relevant To Geoen-

- neering Practice”, Advanced Engineering Geology & Geotechnics GE 441, Spring.
- Arya I.W., 2005 “Penentuan Sifat Mengembang (Swelling) Tanah Lempung Banjar Anyar Kerobokan”, Logic Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi, Vol. 5, No2, : 53-56
- Budhu, Muni, 2000, “Soil Mechanics and Foundation”, John Wiley & Sons, Inc., United States of America
- Coduto, 1994, “*Foundation Design Principles and Practices*”, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey
- Das, Braja M., 1990, “*Principles of Foundation Engineering*”, 2nd ed., PWS-KENT Publishing Company
- Day, R.W., 2001, “Soil Testing Manual : Procedures, Classification Data and Sampling Practice”, McGraw-Hill Inc., United States of America
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2003, “Mekanika Tanah II, Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2006, “Mekanika Tanah I, Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Holtz, Robert D., Kovacs William D., 1981, “*An Introduction to Geotechnical Engineering*”, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey
- Katti, R.K., Katti, A.R., 1994, “Behaviour of Saturated Expansive Soil and Control Methods”, A.A. Balkema Rotterdam
- Marshall B. Addison, 1996, “Living with Expansive Soils, a Guide to Foundation Maintenance”, University of Texas, Arlington
- Mochtar, Indrasurya B., 2000, Teknologi perbaikan tanah dan alternatif perencanaan pada tanah bermasalah (*problematic soil*), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS
- Muntohar, A. S., September 2006, “The Swelling Of Expansive Subgrade At Wates Purworejo Roadway, Sta. 8+127”, Dimensi Teknik Sipil Vol 8, No. 2, : 106 – 110.
- Pant, Rohit Raj, 2007, “ Evaluation Of Consolidation Parameters Of Cohesive Soils Using PCPT Method” (Thesis), Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Louisiana
- Rogers, J.D., Olhansky, R., Rogers, R.B., tt, “Damage to Foundation From Expansive Soils”, web.mst.edu/~rogersda/expansive_soils/DAMAGE%20TO%20FOUNDATIONS%20FROM%20EXPANSIVE%20SOILS.pdf
- Suwono, Johanes, 1999, “Prediksi Pengembangan Tanah di Kawasan PIER”, Dimensi Teknik Sipil Vol. 1 No. 2.
- Thomas, Pamela Jo, 1998, “Dissertation : Quantifying Properties and Variability of Expansive Soil in Selected Map Unit”, Faculty of the Virginia Polytechnic and State University, Blackburg Virginia