

PREDIKSI PENGEMBANGAN VOLUME TANAH DI KAWASAN PIER

Johanes Suwono

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

Dari hasil penyelidikan tanah yang menyeluruh di kawasan PIER telah diteliti apakah tanahnya termasuk ekspansif, serta berapa besar pengembangan dan tekanan yang diakibatkan olehnya. Ternyata tanah di kawasan ini mengembang akibat adanya defisiensi kadar-air. Tidak ada indikasi akan adanya mineral-mineral ekspansif. Besarnya tekanan akibat pengembangan ini diperoleh dari pengujian dalam alat oedometer, sedangkan besarnya pengembangan diperkirakan berdasarkan perbedaan kadar-air volumetrik. Dari perbedaan kadar-air volumetrik dapat diprediksi rata-rata besar pengembangan yang akan terjadi adalah sekitar 5 cm.

Kata kunci : tanah ekspansif, pengembangan, defisiensi kadar air.

ABSTRACT

A study on swelling behavior had been conducted on the soil within the PIER industrial estate. It appeared that the swelling was due to the moisture deficiency in the soil, and not because of the existence of expansive clay minerals. Swelling pressures were obtained from oedometer tests on undisturbed samples, whereas for the overall heave the moisture deficit method was applied. By this method, a heave of 5 cm in average could be expected when swelling occurs.

Keywords : expansive soil, heave, moisture deficiency

PENDAHULUAN

Pasuruan Industrial Estate Rembang, di Pasuruan merupakan kawasan industri yang sedang berkembang. Tanah di lokasi ini ditengarai mempunyai sifat mengembang yang disertai dengan tekanan pada struktur yang dibangun di atasnya. Perencana struktur perlu mengantisipasi hal ini, terutama dalam merencanakan lantai bangunan suatu gudang atau pabrik.

Sebuah penyelidikan tanah secara menyeluruh di kawasan industri ini telah dilakukan oleh Data Persada [1, 2]. Dari penyelidikan ini dipelajari sifat pengembangan tanah, berapa besar mumbulnya tanah (*heave*), berapa besar tekanan pengembangannya (*swell pressure*).

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 1999. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil vol. 1 no. 2 September 1999.

KONDISI TANAH

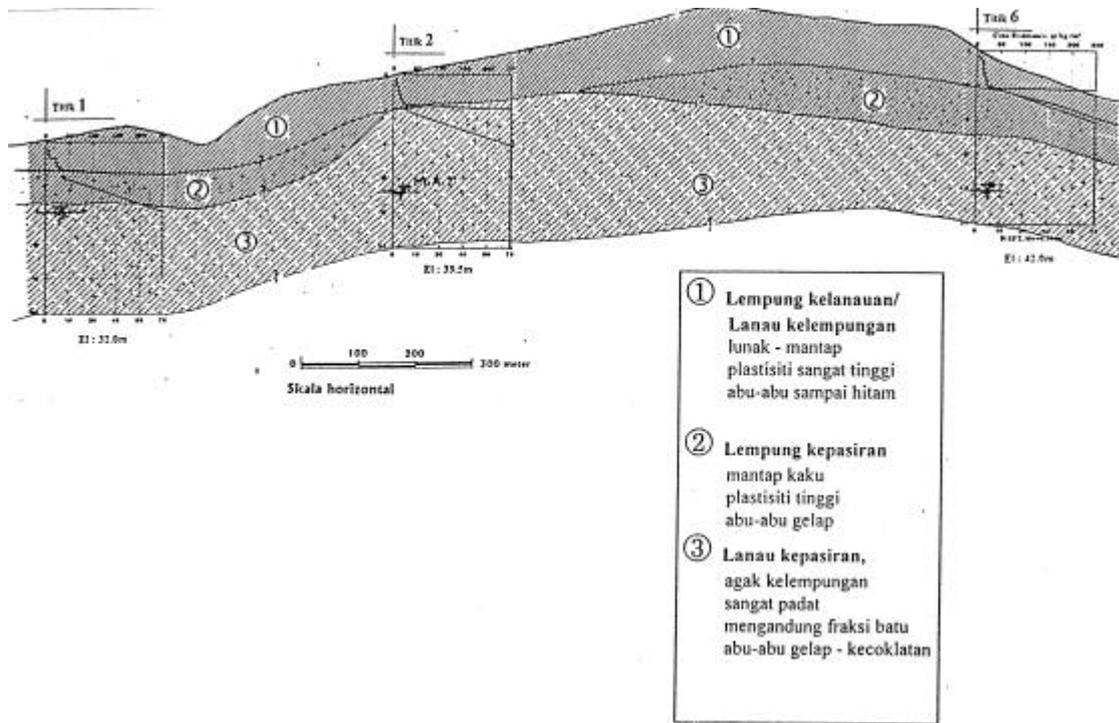
Kawasan industri ini menempati daerah perbukitan yang relatif kering pada saat kemarau, terutama pada lokasi yang lebih tinggi. Salah satu penampang tanah melalui kawasan PIER ini telah digambarkan dalam Gambar 1.

Besarnya kadar-air alami rata-rata di bawah batas plastis tanahnya. Muka air tanah rata-rata pada kedalaman 14 m dari permukaan tanah setempat. Secara visual tanahnya adalah lempung kaku berwarna gelap, namun menurut batas-batas konsistensinya (Atterberg limits), tanah ini termasuk lanau berplastisitas sangat tinggi. Hal ini dinyatakan dalam *plasticity chart* di Gambar 2.

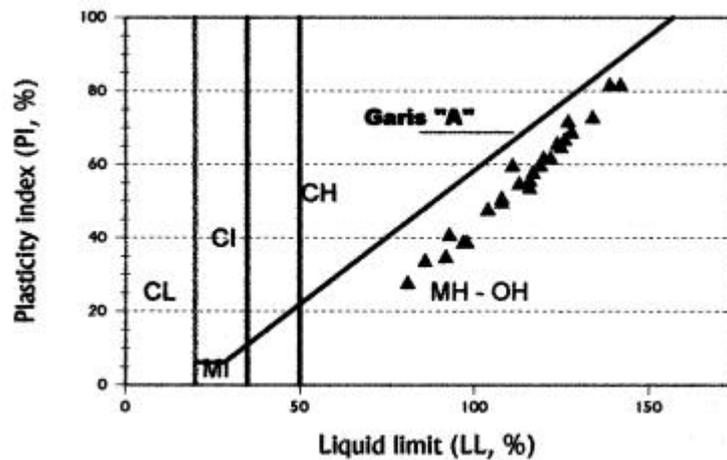
Plot dari batas cair tanah, LL dengan index plastisitas PI, ternyata berada di bawah 'garis A'. Dari sini disimpulkan bahwa tanah sama sekali tidak mengandung mineral ekspansif, seperti montmorillonite [3].

Kadar-air dari tanah ini rata-rata semua berada di bawah batas plastisnya, PL, (lihat Tabel 1) sehingga dapat dipastikan tanah mengalami defisit kadar-air.

Kadar-air yang didapat juga lebih rendah dari 40% nilai batas cair LL, maupun batas plastis $PL+2\%$, sehingga menurut Driscoll[4] tanah ini termasuk ekspansif. Dalam pengujian dengan oedometer, ternyata tanah ini memang mengembang.



Gambar 1 : Penampang tanah tipikal di PIER



Gambar 2. Plastisitas tanah

Tabel 1 : Ringkasan hasil uji laboratorium

Boring	Depth (m)	PL (%)	W (%)	LL (%)	γ_{dry} (t/m ³)	SP (kg/cm ²)	V (%) di bawah beban		
							0.25 kg/cm ²	0.50 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²
B1	0.50-0.75m	58	39.3	97	1.23	0.80	+5.39	+2.58	-1.62
	2.50-2.75m	51	37.9	111	1.29	1.12		+2.88	+0.21
B2	1.00-1.25m	59	38.5	98	1.24	0.80	+4.07	+1.80	-1.29
	3.00-3.25m	60	43.0	142	1.23	1.25		+4.09	+1.41
B3	1.50-1.75m	52	44.1	116	1.19	0.81	+2.36	+1.07	-0.66
	3.50-3.75m	61	47.3	134	1.17	0.85		+2.65	-1.19
B4	2.00-2.25m	59	41.6	126	1.21	1.00		+2.87	-0.04
	3.75-4.00m	57	48.3	139	1.19	0.96		+2.40	-0.23
B5	2.50-2.75m	58	43.2	120	1.25	1.18		+2.26	+0.61
	4.25-4.50m	59	43.9	128	1.17	0.42		-0.31	-2.29
B6	1.00-1.25m	52	40.8	93	1.26	0.74	+3.45	+1.29	-1.69
	3.50-3.75m	58	46.2	113	1.19	0.65		+0.64	-1.38
B7	0.50-0.75m	59	39.0	117	1.17	0.70	+3.21	+0.16	-1.47
	3.00-3.25m	60	42.7	125	1.24	1.00		+4.58	+0.02
B8	1.50-1.75m	56	38.4	104	1.27	1.20	+4.57	+2.48	+1.07
	3.00-3.25m	55	41.8	127	1.26	0.95		+2.46	-0.24
B9	1.00-1.40m	60	58.9	122	1.02	0.12	-0.41	-1.70	-3.59
	3.25-3.50m	60	46.1	116	1.23	1.00		+3.93	-0.04
B10	1.50-1.75m	57	44.7	92	1.20	0.47	+1.45	-0.50	-2.66
	2.75-3.00m	57	45.0	108	1.20	0.73		+0.70	-0.86
B11	1.75-2.00m	53	42.2	81	1.19	0.15	-0.16	-0.94	-2.08
	3.50-3.75m	59	46.4	119	1.20	0.86		+2.51	-0.94
B12	0.50-0.85m	52	42.5	86	1.24	0.39		-0.49	-2.20
	2.50-2.75m	58	45.7	108	1.16	0.57		+0.38	-2.15
B13	1.25-1.50m	58	42.1	124	1.23	0.84	+4.60	+1.96	-1.03
	3.50-3.75m	58	46.7	124	1.27	0.75		+1.31	-1.30

Notasi :

PL = plastic limit (batas plastis tanah); γ_{dry} = berat volume kering tanah, t/m³
 LL = liquid limit (batas cair tanah); SP = swelling pressure
 w = moisture content (kadar-air tanah); ΔV = perubahan volume, + menyatakan swell,- menyatakan compression

Besarnya *swelling* pressure, SP, dan perubahan volume, ΔV , didapat dari pengujian *swell* dalam alat oedometer. Alat ini yang sering dikenal untuk mengetahui sifat pemampatan tanah (konsolidasi) dapat dipakai pula untuk mengamati perubahan volume tanah satu arah akibat perubahan kadar-air.

PENGUJIAN SWELLING

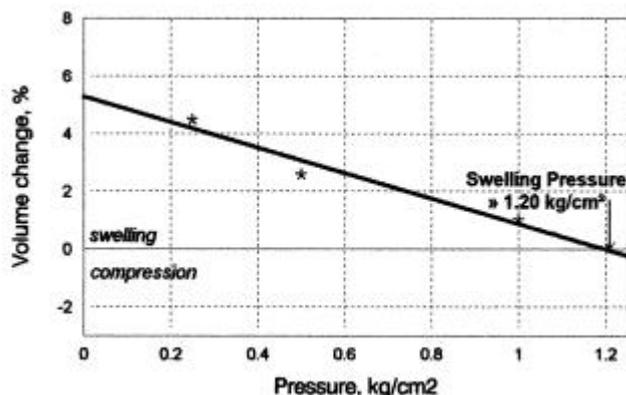
Pengujian dilakukan atas spesimen uji yang berukuran ϕ 69 mm - 19 mm, dibentuk langsung dari sampel *undisturbed* yang didapat dari pengeboran. Bagian atas dan bawah diberi plat batu pori untuk mengalirkan air.

Untuk satu macam sampel, beban diberikan sebesar 0,25 kg/cm²; 0,5 kg/cm²; dan 1 kg/cm² dan kemudian direndam. Akibat naiknya kadar-air

dalam tanah, maka tanah mulai mengembang, dan besarnya pengembangan ini diamati secara berkala. Hasil uji disajikan dalam curve hubungan perubahan volume tanah (dinyatakan dengan perubahan dial) terhadap waktu.

Swelling pressure SP, ditentukan sebagai tekanan dimana tak terjadi perubahan volume ΔV pada tanah sewaktu tanah direndam. Pada tiap-tiap pembebanan dapat dihitung perubahan volume ΔV yang terbesar. Dengan menggambarkan hubungan beban dan perubahan volume ini, yang bersifat linier, dapatlah ditentukan SP sebagai tekanan atau beban pada $\Delta V = 0$. Gambar 3 menjelaskan penentuan SP ini.

Besarnya SP dan ΔV dalam penelitian ini telah diringkaskan dalam Tabel 1 di atas.



Gambar 3. Menentukan besarnya swelling pressure dari pengujian oedometer

Selama pengujian oedometer ini diamati tanah setebal rata-rata 19mm ini mulai tidak mengembang lagi setelah rendaman mencapai 3 hari. Kondisi di lapangan tentunya akan berbeda dengan kondisi ideal di laboratorium ini. Di lapangan, rendaman selama 3 hari tak akan dapat menjenuhkan seluruh lapisan tanah yang tebalnya mencapai 6m.

Lapisan tanah di bawahnya dapat dikatakan tak bisa mengembang, karena terdiri dari butir-butir yang kasar atau karena berat *overburden*-nya telah melampaui besarnya SP.

Peningkatan kadar-air hanya dimungkinkan akibat resapan air dari atas. Muka air tanah ditaksir hanya akan berfluktuasi setinggi 2 m sehingga tak akan mencapai ke lapisan-lapisan atas yang expansif. Zone kapiler juga tak akan mencapai lapisan atas mengingat muka air tanah rada pada lapisan yang berbutir lebih kasar. Dari gambar penampang tanah di Gambar 1 jelas terlihat bahwa elevasi rata-rata muka air tanah berada pada +26 m, yaitu pada lapisan lanau kepasiran.

MENGHITUNG BESARNYA KEMBANG - SUSUT

Pengujian dengan oedometer memberikan parameter m_v , koefisien perubahan volume yang besarnya adalah $[\Delta e / \Delta \sigma_v' (1 + e_0)]$. Perubahan pada tebal lapisan, Δd , ditentukan dari :

$$\Delta d = m_v \cdot \Delta \sigma_v' \cdot d \tag{1}$$

dimana d = tebal lapisan, dan $\Delta \sigma_v'$ = perubahan tegangan efektif. Dengan cara ini pula besar pengembangan permukaan tanah (*heave*) akibat perubahan kadar-air dapat dihitung, mengingat perubahan tegangan efektif adalah juga perubahan

tegangan air pori di setiap lapisan. Besarnya *heave* di permukaan adalah :

$$\Sigma \Delta d = \Sigma m_v \cdot \Delta \sigma_v' \cdot d \tag{2}$$

Besarnya $\Delta \sigma_v'$ dapat ditentukan dari perbedaan SP dengan *effective overburden pressure* pada kedalaman lapisan yang sama.

Metode defisit kadar-air (moisture deficit method) [5]

Cara yang lebih mudah dan sederhana adalah dengan menghitung perbedaan kadar-air antara kondisi awal dengan kondisi akhir dimana telah tercapai keseimbangan.. Untuk sesuatu lapisan kadar-air awal w_0 dapat ditentukan, dan kadar-air keseimbangan w_1 diukur setelah sampel tak mengembang atau menyusut lagi.

Harus diperhatikan bahwa kadar-air dalam hal ini dinyatakan dalam volumetrik, bukan dalam gravimetrik seperti biasanya. Untuk sampel yang jenuh, kadar-air volumetrik w_v , adalah sama

$$w_v = \frac{w \cdot G}{1 + w \cdot G} \tag{3}$$

dengan kadar pori, n .

dimana G adalah berat jenis atau specific gravity tanah bersangkutan, dan w adalah kadar air, dinyatakan dalam desimal.

Defisit kadar-air $\Delta d/d$ dinyatakan sebagai $(w_v)_1 - (w_v)_0$, atau perubahan kadar pori, yang dari persamaan [3] besarnya adalah:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{w_1 \cdot G}{1 + w_1 \cdot G} - \frac{w_0 \cdot G}{1 + w_0 \cdot G} \tag{4}$$

Bila dikalikan dengan ketebalan lapisan, defisit kadar-air menunjukkan besarnya perubahan tebal dari lapisan ini, Δd .

Yang harus diperhatikan adalah, bahwa di lapangan ada perubahan volume ke arah lateral, sehubungan dengan adanya retak-retak tanah akibat pengeringan. Karenanya perhitungan perubahan volume tanah selalu *over-estimated*. Perubahan volume yang sebenarnya atau *heave*, Δz , masih harus mempertimbangkan hal ini. Ward [6] mengusulkan untuk menerapkan suatu *water shrinkage factor* (faktor susut air), $w_s f$, yang besarnya adalah: $w_s f = S \Delta d / \Delta z = 4$, rata-rata dengan rentang antara 3,5 - 4,5.

Berdasarkan penemuan ini dapat dikatakan bahwa besarnya *heave* adalah

$$\Delta z = S \Delta d/4 \quad (5)$$

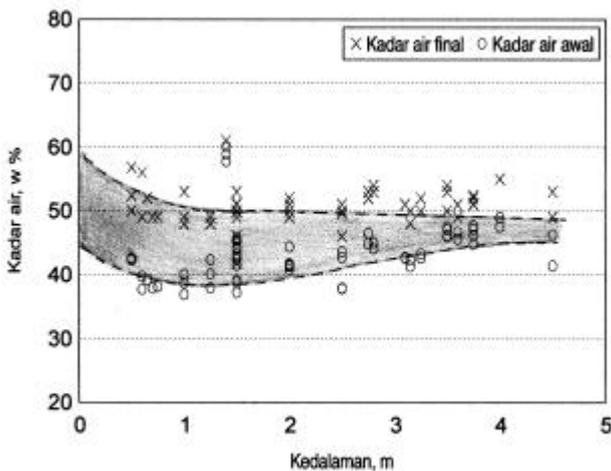
Kondisi di PIER

Untuk kawasan PIER akan diperkirakan besarnya *heave* akibat peningkatan kadar-air di salah satu lokasi yang diselidiki secara khusus[2]. Pengeboran di lokasi bersangkutan dilaksanakan secara manual dan hanya mencapai kedalaman 5 m. Di bawah kedalaman ini dianggap tanah sudah tak mengalami *swell* lagi karena resapan air tak akan mencapainya, serta berat tanah sendiri telah cukup untuk menanggulangi SP.

Sampling dilakukan dengan tabung tipis type Shellby, secara *open drive*. Penanganan sampel setelah itu memenuhi standar[7], sehingga mutu sampel dapat diandalkan untuk pengujian *swelling* berikutnya.

Kadar-air yang diambil merupakan kadar-air setempat atau kadar-air awal w_0 ; setelah pengujian dalam oedometer selesai, kadar-air diukur kembali, dan dinyatakan sebagai kadar-air final, w_1 .

Kadar-air w_1 dianggap sebagai kadar-air dalam keseimbangan, karena sampel yang direndam sudah tak mengalami pengembangan lagi. Besarnya w_0 dan w_1 dari sampel-sampel sepanjang kedalaman di-plot-kan seperti dalam Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Kadar air awal dan kadar air dalam keseimbangan

Dalam gambar di atas dapat ditentukan perubahan w_0 maupun w_1 sepanjang kedalaman, dan daerah yang diarsir adalah perbedaan kadar-airnya. Kadar-air w_0 maupun w_1 dinyatakan dalam kadar-air volumetrik lebih dahulu sebelum dihitung perbedaannya sebagai defisit kadar-air (*moisture deficit*).

Untuk lokasi dalam PIER ini, berat jenis tanah dapat ditentukan rata-rata $G = 2,67$. Tabel 2 di bawah ini meringkaskan besarnya w_{v0} dan w_{v1} (lihat persamaan [3]), setiap lapisan dengan tebal $d = 1$ m.

Tabel 2. Penentuan *heave* Dz dengan metode defisit kadar-air

Kedalaman n m	W_1 %	w_{v1}	w_0 %	w_{v0}	$(w_{v1} - w_{v0}) \cdot d$ meter
0 - 1	54	0.591	40	0.516	0.075
1 - 2	50	0.571	39	0.510	0.061
2 - 3	49	0.567	42	0.529	0.038
3 - 4	48	0.562	45	0.546	0.016
4 - 5	47	0.557	45	0.546	0.011
SDd=					0.20 m
Menurut persamaan (5): Dz =					0.05 m

Jadi dari tabel di atas dapat diprediksi *heave* yang akan terjadi sebesar 0,05 m atau 5 cm.

KESIMPULAN

Tanah di kawasan PIER termasuk tanah ekspansif, yang pengembangannya disebabkan oleh karena ada defisiensi kadar-air. Kandungan mineral ekspansif (*montmorillonite*) tidak nyata.

Pengujian dalam alat oedometer merupakan cara yang baik dan mudah untuk menentukan besarnya *swelling pressure*, SP. Tekanan SP ini didefinisikan sebagai tekanan pada tanah yang menahan agar tanah tidak mengembang sewaktu direndam. Besarnya SP di kawasan PIER yang ditinjau ini bervariasi antara 1 - 12 t/m².

Total *heave* atau mumbulnya tanah sewaktu mengembang dengan mudah dapat diperkirakan dengan cara *moisture deficiency*. Untuk kasus yang diteliti, *heave* ini mencapai 5 cm. Besaran ini bisa dipakai untuk menentukan sela antara *suspended slab* dengan muka tanah asli.

DAFTAR PUSTAKA

1. Data Persada, Laporan tak diterbitkan, untuk PT. SIER, proyek Pasuruan Industrial Estate Rembang (PIER), *Laporan no: 129/X/96*, 1996.
2. Data Persada, Laporan tak diterbitkan, untuk PT. INDONAKANOGUMI, proyek YMI di PIER, *Laporan no: 10/III/98*, 1998.
3. Mitchell, J.K., *Fundamentals of Soil Behavior*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1976.

4. Driscoll, RMC, The influence of vegetation on the swelling and shrinking of clay soils in Britain, *Geotechnique* 33, 1983, pp 93-105.
5. Chandler, R.J., Mechanics of shrinking and swelling clays, *Lecture notes : Recent Developments in Foundation Design*, Imperial College, London, 1996.
6. Ward, W.H., Soil movement and weather, *Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mech.*, Zurich, vol 1, 1953, pp 477-482
7. British Standard Institution, BS 5390, Code of Practice for Site Investigations, 1981, pp 26-28