

ANALISA DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH EKSPANSIF

Bearing capacity analysis of shallow foundation on expansive soils

Fabian J. Manoppo¹

¹Dosen pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado

Abstract. Building foundation is one of the important things in design of structural engineering problems. Some soil problems were found in design of foundation. One of the problems is foundation buried in expansive soils. Some methods were suggested to solve these problems such as soil stabilization or computed the heave of expansive soils. In order to reduce the heave caused of expansive soil, the pressure from the above soil should be increased while controlled the settlement of foundation. This analysis computed the bearing capacity of shallow foundation because of expansive soil and how to control the heave. Result showed that if the pressure from the above increase then the heave will decrease and if the cohesion of soil increase the heave will decrease too.

Keywords: Bearing capacity, the heave, shallow foundation, expansive soil.

PENDAHULUAN

Pondasi merupakan bagian konstruksi yang cukup penting, karena menjadi perantara bagi bangunan atas dengan tanah. Pondasi berfungsi meneruskan beban yang diterimanya ke dalam tanah. Apabila kita mendirikan suatu konstruksi bangunan di atas lapisan tanah ekspansif, maka tanah ini akan memuai (*swelling*) bila kadar airnya bertambah dan menyusut (*shrinking*) bila kadar airnya berkurang. Tanah ekspansif adalah tanah yang mengalami perubahan volume akibat perubahan kadar air. Pondasi telapak yang berada di atas lapisan tanah ekspansif yang dalam keadaan memuai menyebabkan tanah di sekelilingnya mengalami desakan ke atas. Sifat ekspansif ini menyebabkan perubahan dalam struktur tanah yang mengganggu keseimbangan tegangan tegangan dalam. Besarnya desakan tanah ke atas harus diperhitungkan karena dapat menimbulkan keretakan pada struktur lantai dan kerusakan pada struktur atas. Jadi dalam analisa perhitungan pondasi dangkal, dalam hal ini dicoba pada pondasi telapak, tidak dihitung pengaruh penurunan pada pondasi akibat pemuaian yang terjadi pada tanah ekspansif melainkan hanya besar tekanan atau desakan tanah ekspansif yang dihitung.

Tulisan ini bermaksud untuk menghitung besarnya desakan tanah (*heave*) dengan mendapatkan hubungan antara pengaruh tekanan yang mampu dipikul oleh pondasi, pengaruh tekanan muai, dan kohesi tanah. Tulisan yang didasarkan pada studi pustaka ini dibatasi pada pembahasan tentang desakan tanah yang terjadi, yang meliputi: (1) bentuk pondasi dangkal adalah pondasi telapak persegi panjang, (2) pengaruh ekspansif akibat pemuaian tanah, dan (3) tanah dianggap homogen.

Penulisan ini didasarkan pada teori-teori yang telah diberikan oleh para ahli geoteknik, sehingga bersifat studi pustaka. Untuk menghitung daya dukung pondasi telapak persegi panjang digunakan rumus Terzaghi, sedangkan besarnya desakan tanah ke atas (*heave*) akibat pemuaian dihitung berdasarkan rumus untuk tanah ekspansif. Dari rumus tersebut dibuat suatu variasi hubungan antara tekanan muai dan tekanan untuk mendapatkan nilai desakan ke atas. Untuk memudahkan perhitungan, dibuatkan tabel perhitungan kemudian hasil akhirnya dipresentasikan dalam bentuk pada grafik.

TINJAUAN TENTANG TANAH EKSPANSIF

Pengertian tanah ekspansif

Tanah ekspansif adalah tanah yang mengalami perubahan volume akibat perubahan kadar airnya. Meningkatnya kelembaban mengakibatkan pemuaian tanah; sebaliknya, berkurangnya kelembaban mengakibatkan penyusutan. Jenis tanah dengan sifat demikian ini adalah lempung, sebab lempung mengandung partikel-partikel mineral yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air. Sifat ekspansif ini disebabkan proses pembasahan dan pengeringan

yang silih berganti dan merupakan hasil perubahan dalam sistem tanah yang mengganggu keseimbangan tegangan-tegangan dalam.

Karakteristik tanah

1. Kandungan mineral lempung
Berdasarkan ciri-ciri partikel, ikatan antara lapisan serta konsistensi tanah, maka mineral montmorillonites merupakan mineral yang mempunyai sifat ekspansif tertinggi sedangkan mineral illites dan kaolinities aktivitas mengembangnya sedikit (Tabel 1),

Tabel 1. Karakteristik dari beberapa mineral lempung

Kelompok mineral	Basal spacing	Ciri-ciri artikel	Ikatan antar lapisan	Luasan spesifik (m ² /g)	Batas batas Atterberg			Aktivitas (PI/N) lempung
					LL (%)	PL (%)	SI (%)	
Kaolinitas	14,4	Tebal kaku ke-6 sisi serpihan 0,1µm	Ikatan hidrogen kuat	10-20	10-100	25-40	25-29	0,38
Illites	10	Tipis, tumpukan lempengan 0,003-0,1 x 1-10µm	Ikatan potasium kuat	85-100	80-120	95-80	15-17	0,9
Montmorillonites	9,8	Tipis spt selaput serpihan 10A x 1-10 µm	Ikatan Van Der Waal sangat lemah	700-840	100-900	50-100	8,5-15	7,2

Keterangan : Luas spesifik = Luas permukaan per unit massa; Potasium = ion-ion kalium; 1A = 10⁻¹⁰ m
Sumber : Nelson and Miller (1992)

2. Plastisitas

Plastisitas merupakan suatu indikator bagi potensial muai. Umumnya tanah yang menunjukkan sifat atau perilaku plastis pada rentang kadar air yang lebar dan mempunyai batas cair yang tinggi, mempunyai potensial muai dan susut yang lebih besar. Sifat-sifat plastisitas erat hubungannya dengan kadar air. Hal ini dijelaskan oleh Atterberg melalui sifat-sifat konsistensi tanah. Petunjuk yang berguna dari batas batas Atterberg ini dan kadar air alami adalah indeks plastisitas (PI) dan indeks likuiditas (LI), dengan rumus: $PI = LL - PL$ dan $LI = (w - PL) / (LL - PL) = (w - PL) / PI$ di mana LL adalah batas cair (*liquid limit*) dan w adalah kadar air asli tanah.

3. Struktur dan susunan tanah

Lempung yang menggumpal (*flocculated clay*) cenderung menjadi lebih ekspansif daripada lempung yang terdispersi (Johnson dan Sneath, 1978). Partikel-partikel yang mengandung semen mengurangi pemuai. Susunan dan struktur tanah dapat diubah dengan pembentukan kembali. Pemadatan dengan cara meremas menunjukkan terjadinya struktur yang terdispersi dengan potensial muai yang lebih rendah daripada pemadatan secara statis pada kadar air yang rendah (Speed, 1962).

4. Kepadatan kering

Kepadatan yang semakin tinggi menunjukkan jarak partikel yang semakin dekat di mana berarti gaya-gaya pengganggu (*revulsive*) di antara partikel-partikel menjadi lebih besar sehingga potensial muai menjadi besar pula (Uppal, 1965; Komomik dan David, 1969; Chen, 1973).

Kedaaan lingkungan

Faktor-faktor yang termasuk kategori ini menyebabkan perubahan-perubahan yang dapat terjadi dalam sistem gaya dalam.

a. Kondisi kelembaban awal

Lempung ekspansif yang mengering akan memiliki gaya tarik terhadap air yang lebih tinggi atau penghisapan yang lebih tinggi,

daripada tanah yang sama pada kadar air yang lebih tinggi atau penghisapannya lebih rendah. Sebaliknya suatu profil tanah basah akan kehilangan air lebih cepat daripada tanah kering menyusut daripada profil kering awal.

b. Variasi-variasi kelembaban

Perubahan kelembaban dan perubahan volume terbesar terjadi pada bagian yang lebih atas dari profil zona aktif. Hal ini menentukan terjadinya penyembulan (*heave*).

- Faktor iklim. Kuantitas dan variasi presipitasi dan evapotranspirasi mempunyai pengaruh besar terhadap tersedianya kelembaban dan kedalaman fluktuasi kelembaban musiman. Penyembulan terbesar terjadi dalam iklim semi kering yang menyatakan periode basah yang pendek (Holland dan Laurence, 1980).
- Air tanah (*ground water*). Muka air tanah yang dangkal merupakan suatu sumber kelembaban dan fluktuasi air memperbesar kelembaban.
- Drainase dan sumber air buatan. Ciri-ciri permukaan saluran seperti kolam di sekitar tanah pondasi rumah yang kurang baik menjadi sumber air pada permukaan dan bocornya saluran/pipa air dapat memberikan masukan air pada kedalaman yang besar (Donaldson, 1965; Keaxynki, 1980).
- Vegetasi. Pohon-pohon, semak-semak dan rumput-rumput menghasilkan kelembaban tanah melalui proses transpirasi dan menyebabkan terjadinya perbedaan kelembaban tanah dalam kawasan vegetasi yang bervariasi (Buckley, 1974).
- Permeabilitas. Tanah-tanah dengan permeabilitas yang lebih tinggi umumnya karena celah-celah dan retakan-retakan dalam bidang massa tanah memberikan migrasi air yang lebih cepat dapat menaikkan tingkat muai yang lebih cepat (Beuijn, 1965; Wise dan Hudson, 1971).
- Suhu. Kenaikan suhu menyebabkan kelembaban menyebar ke daerah yang lebih dingin di bawah perkerasan (lantai) dan bangunan (Hamilton, 1969; Johnson dan Straman, 1976).

Kondisi tegangan

- Riwayat tegangan. Tanah yang terkonsolidasi secara berlebihan (*overconsolidated*) bersifat lebih ekspansif daripada tanah yang angka porinya sama tetapi terkonsolidasi secara normal (*normal consolidated*).
- Kondisi lapangan. Keadaan tegangan awal dalam suatu tanah harus diperkirakan untuk mengevaluasi konsekuensi-konsekuensi yang mungkin dari pembebanan massa tanah dan atau merubah kelembaban lingkungan di mana tanah berada.
- Pembebanan. Besarnya beban tambahan menentukan kuantitas perubahan volume yang bisa terjadi pada kadar air dan kepadatan tertentu. Suatu beban luar yang diberikan mengimbangi gaya-gaya repuksif antar partikel dan mereduksi pemuai (Hottz, 1959).
- Profil tanah. Ketebalan dan lokasi lapisan-lapisan yang mempunyai potensi berekspansi dalam profil sangat mempengaruhi pergerakan potensial. Gerakan terbesar dapat terjadi dalam profil-profil yang memiliki lempung ekspansif yang berada pada permukaan sampai kedalaman di bawah zona aktif. Gerakan yang lebih kecil terjadi jika tanah ekspansif dilapisi oleh material yang tidak ekspansif atau dilapisi batuan pada kedalaman yang dangkal (Holland dan Lawrence, 1980).

Identifikasi dan klasifikasi tanah ekspansif

Beberapa teori yang telah diusulkan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif sebagai berikut: (a) Menurut Skempton (1953) yang didasarkan pada indeks ekspansi (EI) pada Tabel 2, (b) Menurut Lambe (1960) yang didasarkan pada indeks ekspansi (EI) (Tabel 2) yang diperoleh melalui uji potensial perubahan volume (PVC), dengan rumus: $EI = 100 \Delta h \times F$ di mana EI indeks ekspansi, Δh persentase pemuai, dan F fraksi yang lewat saringan no. 4, (c) Menurut Holtz dan Gibbs (1958) yang didasarkan pada kadar koloid, indeks plastisitas dan batas susut, (d) Menurut Altmeyer (1995) yang didasarkan batas susut atau susut linier, (e) Menurut Chen (1998) yang

didasarkan pada persentase lewat saringan no.200, batas cair, dan tahanan penetrasi standar, (f) Raman (1967) yang didasarkan pada indeks plastisitas dan indeks susut, (g) Menurut Snethen (1977) yang didasarkan pada batas cair, indeks plastisitas serta hisapan/tarikan air pada kadar air alamnya, dan (h) Menurut Sivapullaiah, Sitharam dan Rao (1987) yang didasarkan pada indeks pemuai beban yang dimodifikasi, dengan rumus: $MSFI = (V - V_s) / V_s$ di mana, MSFI indeks muai bebas yang dimodifikasi, V volume tanah muai, $V_s = W_s / G_s \gamma_w$ di mana W_s berat tanah kering oven, G_s berat Jenis tanah padat, dan γ_w kadar air.

Tabel 2. Klasifikasi potensial ekspansif menurut Skempton (1953) dan Lambe (1960)

Skempton (1953)		Lambe (1960)	
EI	Potensial ekspansi	EI	Potensial ekspansi
< 0,75	Tidak aktif	0-20	Sangat rendah
		21-50	Rendah
0,75 - 1,25	Normal	51-90	Menengah
> 1,25	Aktif	100-130	Tinggi
		> 130	Sangat Tinggi

Zone aktif

Zona aktif adalah daerah terjadinya pemuai dan penyusutan karena perubahan kadar airnya. Daerah ini juga disebut daerah fluktuasi musiman karena sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor iklim lingkungan. Kedalaman zona aktif dapat ditentukan melalui dua cara. *Pertama*, dengan melakukan pengukuran kadar air pada sampel-sampel yang diambil dari setiap kedalaman tanah kemudian diplotkan pada grafik hubungan antara kadar air dan kedalaman. *Kedua*, dengan mengukur tarikan/hisapan tanah dengan peralatan seperti tensiometer, axis translation, dan filter paper.

Penentuan tekanan muai berdasarkan percobaan oedometer

Ada dua percobaan yang dapat dilakukan untuk menentukan tekanan muai dengan memakai perangkat oedometer yaitu *consolidation swell test* dan *constant volume test* atau *well pressure test*.

DAYA DUKUNG PONDASI TELAPAK PADA TANAH EKSPANSIF

Untuk menganalisa daya dukung pondasi telapak pada tanah ekspansif digunakan teori dari Terzaghi. Menurut Terzaghi, daya dukung batas suatu tanah di bawah pondasi terutama tergantung pada kekuatan geser yang dapat dinyatakan dengan rumus: $S = C + \sigma \tan \phi$ di mana S kekuatan geser, C kohesi tanah, σ tegangan normal pada bidang geser, dan ϕ sudut geser dalam.

Aplikasi dari pada teori Terzaghi dapat dihitung sebagai berikut, Data data pondasi, lebar telapak (B_w) 1,5 m, kedalaman pondasi (d) 1 m, berat isi tanah (γ) 2 t/m^3 dan kohesi tanah (C) 2 t/m^2 , tebal lapisan dari permukaan 12 m.

- Daya dukung pondasi telapak bujursangkar, $q_{ult} = 1,3 C N_c + \gamma d N_q + 0,4 \gamma B_w N_\gamma$ (untuk tanah lempung murni nilai $\phi = 0$).
- Tekanan vertikal pada kedalaman z, $\sigma_{zp} = pa$

3. Tekanan vertikal akibat berat tanah sendiri pada kedalaman z , $\sigma_z = \gamma z$
4. Tekanan vertikal tambahan, $\sigma_{zd} = \gamma(z+d)$
5. Tekanan vertikal total, $\sigma_z \text{ total} = \sigma_{zp} + \sigma_{zg} + \sigma_{zd}$.

$$6. \text{ Tinggi desakan ke atas, } h_{sw} = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{swi}}{i k_{swi}}$$

Hasil perhitungan desakan ke atas dari pondasi telapak untuk beberapa variasi tekanan (p) dan tekanan muai (p_{sw}) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3, Hasil perhitungan desakan keatas (h_{sw})

psw (kPa)	hsw (cm)				
	p=10kPa	p=50kPa	p=100kPa	p=150kPa	p=168kPa
100	12,17	11,92	10,78	7,42	6,97
150	15,19	14,89	12,17	12,02	11,54
200	17,18	16,86	14,13	14,13	12,66
250	17,56	17,23	14,48	14,48	13,46
300	17,62	17,29	14,54	14,54	13,87

SIMPULAN

1. Desakan keatas (*heave*) menjadi kecil ($h_{sw} = 6,97$) dicapai pada saat tekanan dari atas paling besar ($p = 168 \text{ kPa}$) dan tekanan muai paling kecil ($p_{sw} = 100 \text{ kPa}$).
2. Tekanan muai menjadi besar hingga mencapai tingkat maksimum maka desakan ke atas yang terjadi menjadi besar kemudian cenderung menjadi stabil.
3. Pengaruh kohesi tanah yang besar akan meningkatkan daya dukung sehingga dapat memperkecil terjadinya desakan tanah (*heave*) menjadi kecil.
4. Metode untuk memperkecil resiko desakan keatas dapat dilakukan dengan cara stabilisasi tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. 1988. Foundation analysis and design. Fourth edition, Mc Graw Hill, New York.
- Bowles, J.E. 1989. Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah. Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- Braja, M. Das. 1984. Principle of foundation engineering, Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, California.
- Murthy, V.N.S. 1980. Soils mechanics and foundation engineering. First edition, Dhanpat Ray & Sons, Inc.
- Nelson, J.D. and J.D. Miller. 1992. Expansive soil: Problem and practice in foundation and pavement engineering. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Snethen, D. 1980. Expansive soils. The Fourth International Conference on 1st ed. American Society of Civil Engineers.
- Sorochan, E.A. 1991. Construction of building on expansive soils. Oxford, New Delhi.
- Sutherland, H.B. 1988. Uplift resistance of soils. *Landmark Geotechnique* 38 no. 4, p. 493-516.