

PENGARUH SUHU DAN TEGANGAN AIR PORI NEGATIF PADA PERILAKU MENGEMBANG TANAH LEMPUNG

Oleh : I Made Sudarma
Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Ngurah Rai

ABSTRAK

Faktor utama yang mempengaruhi perilaku mengembang tanah lempung adalah kandungan mineral yang terdapat didalam tanah lempung. Perubahan kadar air pada tanah lempung akan mengakibatkan perubahan pada volume tanah dan perubahan tegangan efektif (σ'_v). Perubahan volume tanah ini selain disebabkan karena peristiwa fisika — kimia akibat penyerapan dan pelepasan air oleh mineral lempung juga disebabkan oleh perubahan tegangan air kapiler. Variasi suhu dan variasi tegangan air pori negatif (*suction*) akan mempengaruhi perilaku mengembang dari tanah lempung.

Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan pengaruh variasi suhu dan variasi tegangan air pori negatif pada perilaku mengembang dua tanah lempung natural dengan $W_L = 198\%$ dan tanah lempung natural yang dicampur dengan 15% *Fly Ash* dengan $W_L = 154\%$.

Penelitian dilakukan dilaboratorium dengan peralatan oedometer yang dimodifikasi. Contoh tanah yang diteliti mempunyai 2 (dua) kondisi awal pemadatan yaitu pemadatan dengan proctor standard ($\sigma'_d = \sigma'_{dmak}$ & $w_i = w_{opt}$) dan pemadatan dengan ($\sigma'_d = 1.5 \text{ gram/cc}$ & $w_i = w_{opt}$). Benda uji yang dipakai mempunyai ukuran diameter (D) = 40 mm dan tinggi (H) = 10 mm. Tekanan mengembang dan besar pengembangan diamati pada 3 (tiga) kondisi yaitu : akibat pengaruh kepadatan awal, pengaruh suhu dan pengaruh penambahan *fly ash*. Dari hasil penelitian ini akan didapat hubungan antara pengaruh kepadatan awal, pengaruh suhu, pengaruh penambahan *fly ash* dan tegangan air pori negatif terhadap karakteristik pengembangan tanah yang dipadatkan dengan proctor standard dan pemadatan dengan $\sigma'_d = 1.5 \text{ gram/cc}$.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, tekanan mengembang dan besar pengembangan berkurang dengan penambahan *fly ash*, kenaikan suhu dan kenaikan kepadatan awal. Tapi sebaliknya, tegangan air pori negatif bertambah besar dan waktu untuk mencapai kesetimbangan lebih lama, sejalan dengan penambahan *fly ash*, kenaikan suhu dan kepadatan awal.

Kata — kata kunci : penambahan *fly ash*, tekanan pengembangan, besar pengembangan, variasi suhu, tegangan air pori negatif.

THE EFFECT OF TEMPERATURE AND NEGATIVE PORE WATER PRESSURE ON SWELLING BEHAVIOR OF CLAY

By : I Made Sudarma.

ABSTRACT

The most important factor which influences the swelling behavior of clays is their mineral content. The changing of water content on clay *will rise the volume* change of soil and the effective stress. This volume change is not only due to the physical — chemical phenomena caused by absorption and water release of clay mineral, but also caused by the changing of capillary water pressure. The variation of temperature and suction will affect the swelling behavior of clay.

The purpose of this present research is to study the effect of the variation of temperature and suction on the swelling behavior of natural clay having $W_L = 198\%$ **and natural** clay treated by 15% fly ash having $W_L = 154\%$.

The experiment was conducted in the laboratory using modified oedometer apparatus.

The initial states of the soil specimens were compacted at $\gamma_d = \gamma_{dmax. \rho_w} = w_{opt}$. and

$\gamma_d = 1.5$ gram/cc, $w_i = w_{opt}$. The dimension of the soil sample is 40 mm in diameter and 10 mm in height. The swelling pressure and the swelling characteristics were investigated under 4 different temperatures (room temperature, $30^\circ C$, $50^\circ C$, $70^\circ C$). The experiment shows that swelling pressure and swelling characteristics decrease upon the increase of temperature, initial density and fly ash percentage. On the contrary the above applications result in the increase of the negative pore water pressure and time needed to reach into equilibrium state.

Key words : fly ash treated, swelling pressure, swelling, temperature variation, initial Density variation, unsaturated expansive clay.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Secara umum kondisi tanah di Dunia dibedakan atas 4(empat) golongan yaitu: Kerikil dengan ukuran butiran > 2 mm, Pasir dengan ukuran butiran ($2 - 0.06$)mm, Lanau dengan ukuran butiran ($0.06 - 0.002$)mm dan Lempung(tanah mengembang) dengan ukuran butiran < 0.002 mm.

Tanah mengembang adalah tanah — tanah yang mempunyai sifat mengembang dan menyusut yang besar. Kandungan mineral — mineral tanah lempung mengakibatkan penambahan volume yang besar jika tanah mengalami pembasahan. Pada musim kering tanah lempung mengalami penyusutan, karena ada penurunan kadar air. Tanah- tanah lempung yang memiliki sifat kembang susut yang tinggi biasanya mengandung mineral monmorillonite (bentonite), kaolinite dan illite.(Indrasurya, 1994). Sifat mengembang dan menyusut yang besar akibat perubahan kadar air tersebut bisa menyebabkan kerusakan pada bangunan.

Tanah terdiri dari butiran dan pori — pori tanah yang bersambungan, semakin halus butiran tanahnya semakin kecil pori — porinya. Tanah lempung mempunyai diameter pori yang sangat kecil.

Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan pengaruh variasi suhu dan variasi tegangan air pori negatif pada perilaku mengembang dari tanah lempung natural dengan $W_L = 198\%$ dan

campuran tanah lempung natural dengan 15% *fly ash* dengan $W_L = 154\%$.

Penelitian dilakukan dilaboratorium dengan peralatan oedometer yang dimodifikasi. Contoh tanah yang diteliti mempunyai kondisi awal pemadatan yaitu pemadatan dengan proctor standard ($\square_d = \square_{d\text{ mak.}} \& W = W_{opt.}$). Benda uji yang dipakai mempunyai ukuran diameter (D) = 40 mm dan tinggi (H) = 10 mm. Tekanan mengembang dan besar pengembangan diamati untuk mendapatkan pengaruh suhu, pengaruh kepadatan awal, pengaruh penambahan *fly ash*.

1.2. Perumusan Masalah

Masalah yang ingin dikaji pada penelitian ini mencakup beberapa hal yaitu :

1. A). Berapakah besar beban maximum(berat bangunan) yang harus diberikan pada benda uji(diatas tanah lempung supaya tidak terjadi pengembangan (*swelling*) atau $\square_h = 0?$, bila tanah dibiarkan menyerap air.
- B). Berapa besar pengembangan (*swelling*) yang terjadi, bila diberi beban 50% dari beban maksimum atau $\square_h = ?$, bila tanah dibiarkan menyerap air.
- C). Berapa besar pengembangan tanah lempung bebas (*free swelling*), bila tanpa beban pada benda uji (pada tanah lempung), bila tanah dibiarkan menyerap air.
2. Bagaimanakah pengaruh variasi suhu pada tekanan mengembang tanah, bila tanah dibiarkan menyerap air.
3. Bagaimanakah pengaruh pemberian *fly ash* pada tekanan tanah mengembang.

Manfaat Penelitian

- Untuk mengetahui masalah kembang susut yang terjadi pada tanah mengembang akibat perubahan kadar air dan derajat kejenuhan dapat diatasi dengan lebih baik, kalau besar tekanan pengembangan tanah sudah dapat diperkirakan.

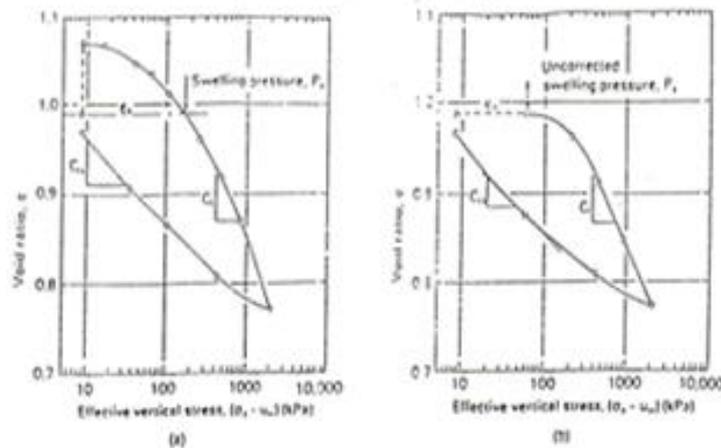
B A B II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tekanan Pengembangan (*Swelling Pressure*).

Ada 2(dua) macam pengujian tekanan pengembangan (*ASTM D4546*) :

- (1) Contoh tanah dibiarkan menyerap air sampai mencapai deformasi pengembangan maksimal, kemudian contoh tanah dibebani sampai kembali pada ketinggian semula. Tekanan pengembangan adalah besar beban yang harus diberikan agar contoh tanah kembali pada ketinggian semula.(ditunjukkan pada gambar 2. la).
- (2) Contoh tanah dibiarkan menyerap air, tapi dijaga agar tidak terjadi deformasi pengembangan dengan menambah beban. Tekanan pengembangan

adalah beban yang harus diberikan agar supaya contoh tanah tidak mengembang (ditunjukkan pada gambar 2.1b).



Gambar 2.1 a) Prosedur tes tanah mengembang bebas
 b) Prosedur tes tanah volume konstan
 (dari Fredlund dan Raharjo, 1993)

2.2. Mekanisme Kembang - Susut (*shrinking and swelling*) pada Tanah Lempung.

Penyusutan tanah sebagian besar terjadi karena peristiwa kapiler, dimana pada penurunan kadar air dalam proses mengering dari tanah akan diikuti segera dengan kenaikan yang tajam dari tegangan efektif antar butiran. Sebagai konsekwensinya volume tanah menyusut. Mekanisme pengembangan dari tanah lempung menurut Komornik and David (1969) disebabkan oleh dua hal :

1. Sebab Mekanis.

Disini pengembangan disebabkan karena kebalikan dari peristiwa kapiler. Bila kadar air dalam tanah naik dan tanah menjadi jenuh maka tegangan kapiler mengecil dan tegangan air pori dapat sama dengan tegangan hidrostatis biasa. Dengan sendirinya a' menurun dan tanah cenderung untuk mengembang kembali pada volume semula.

2. Sebab Fisika — Kimia.

Masuknya air diantara partikel — partikel clay mineral jenis Bentonite akan menyebabkan mengembangnya jarak antara unit lapisan struktur dasar. Kondisi ini seperti dapat terjadi pada saat kadar air dalam tanah naik. Pengembangan antar unit lapisan struktur dasar karena air terjadi disebabkan air yang masuk tersebut menghasilkan tekanan yang melampaui tegangan pengikat antar unit tersebut. Molekul air yang terdiri dari dua kutub H dan OFF tertarik untuk mengikat dipermukaan partikel tanah yang bermuatan negatif tersebut. Tekanan air yang masuk tersebut sebagian disebabkan oleh yang disebut tegangan osmotik. Tegangan osmotik ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi larutan yang ada dipermukaan — permukaan partikel tanah(konsentrasinya tinggi karena pengaruh muatan pada partikel tanah) dengan konsentrasi larutan di air disekitarnya (air bebas). Jadi terjadi kecenderungan oleh air untuk bergerak dari tempat yang konsentrasinya rendah ketempat yang konsentrasinya tinggi. Kecenderungan air tersebut menghasilkan tekanan osmotik tersebut. Tekanan osmotik ini bersama dengan tekanan lainnya, karena absorpsi pada permukaan partikel, harganya selalu positif, jadi mempunyai tendensi untuk memperkecil harga σ' (tegangan efektif) dari tanah.

2.3. Variasi Temperatur (suhu) Pada Tanah Lempung.

Variasi temperatur (suhu) pada tanah lempung akan mengakibatkan pengaruh yang berlainan pada mekanisme pengembangan dan penyusutan akibat fisika — kimia dan tegangan kapiler pada tanah. Beberapa peneliti menyelidiki hubungan antara pengaruh suhu dan karakteristik pengembangan misalnya : (Demars dan Charles,1982) menyelidiki bahwa terjadi penurunan angka pori yang ditimbulkan oleh pemanasan pada kondisi benda uji terendam air panas (*undrained*). Sedangkan (Klute dan Richards,1969) menyatakan bahwa peningkatan suhu(temperatur) mengakibatkan mengurangi retensi air dan potensial konstan untuk kondisi benda uji tidak jenuh. Besarnya efek tersebut seiring dengan berkurangnya

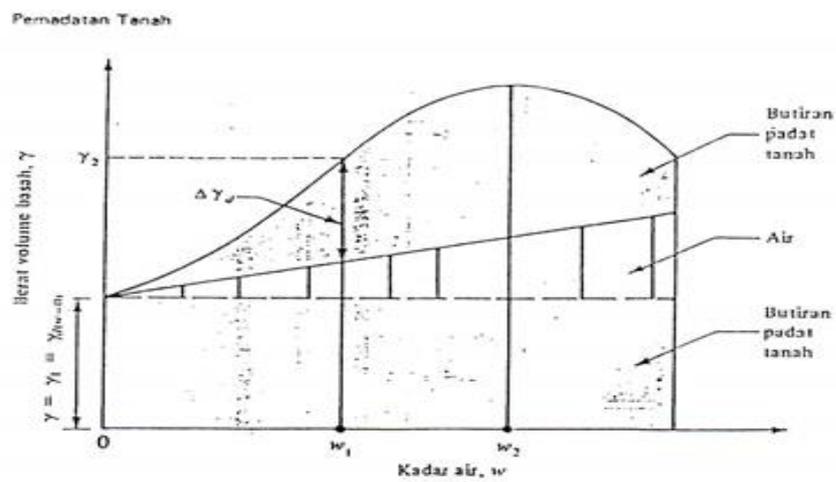
kerapatan masa.

2.4. Karakteristik Tanah yang Dipadatkan.

Pemadatan tanah berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, sehingga daya dukung tanah juga meningkat. Pemadatan dapat juga mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemantapan lereng timbunan (*embankments*).

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel — partikel tanah. Karena adanya air maka partikel — partikel tanah akan lebih mudah bergerak dan bergeser satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Untuk usaha yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (padat saat dipadatkan) meningkat. Perhatikan gambar 2.2 pada saat kadar air (w) = 0, berat volume basah dari tanah (γ) adalah sama dengan berat volume keringnya (γ_d) atau $\gamma = \gamma_d \{w\} = \gamma_1$. Bila kadar airnya ditingkatkan terus

secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga meningkat secara bertahap pula. Pada $w = w_1$, berat basah dari tanah sama dengan : $\gamma = \gamma_2$.



Gambar 2.2 : Prinsip pemadatan (dari : Braja Das, 1985)

Pada saat $w = W_2$, penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian menempati ruang — ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel — partikel padat dari tanah. Kadar air dimana harga berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut *kadar air optimum*. Pematatan dilaboratorium dilakukan uji pematatan *proctor* (*Proctor Compaction Test*).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini berupa pengujian eksperimental dilaboratorium mekanika tanah Teknik Sipil — ITS. Dipergunakan 2(dua) macam benda uji dari tanah lempung natural yaitu : (1) tanah lempung natural(campuran tanah lempung Citralend dan Bentonite) yang dicampur dengan perbandingan berat kering, sehingga tanah lempung natural mempunyai nilai $W_L = 198\%$. (2) tanah lempung natural yang dicampur dengan 15% *fly ash* (pada perbandingan berat kering), sehingga tanah tersebut mempunyai nilai $W_L = 154\%$. Benda uji pada kondisi awal dipadatkan dengan pematatan standard proctor, dimana $w_{optimum}$, $\gamma_d = \gamma_{dmax}$. Pengujian besar pengembangan(*swelling*) dan tekanan pengembangan(*swelling pressure*) dilakukan dengan alat *oedometer* yang dimodifikasi. Demikian juga pengujian besar pengembangan, tekanan pengembangan dilakukan untuk suhu ruangan, $30^\circ C$, $50^\circ C$ dan $70^\circ C$.

3.1. Langkah — Langkah untuk Penelitian Dilaboratorium, akan Dilaksanakan Sebagai Berikut:

3.1.1. Pembuatan Contoh Tanah untuk Benda Uji pada Pematatan dengan Kondisi Standar Proctor.

- a. Pencampuran tanah lempung Citralend + Bentonite dengan $W_L = 198\%$
- b. Menimbang contoh tanah (langkah a)
- c. Penambahan kadar air optimum pada contoh tanah.

- d. Diperam selama 24 jam(langkah c)
- e. Menimbang contoh tanah yang diperlukan untuk membuat contoh benda uji dengan ukuran diameter(D) = 40 mm dan tinggi (H) = 10 mm.
- f. Mencari berat tanah awal (W_i).
- g. Contoh tanah dimasukkan kedalam mold.
- h. Kertas filter diletakan sebanyak 1(satu) lapis ditengah — tengah benda uji dengan diameter (D) = 15 mm.
- i. Contoh tanah yang telah dimasukkan kedalam mold dan dipadatkan dengan cara static.

3.1.2. Pengukuran Pengembangan Dengan Kondisi Suhu Ruangan.

- a. Setelah pemadatan pada benda uji selesai dilakukan
- b. Melakukan percobaan pengembangan, karena penambahan air.
- c. Mengukur banyaknya air yang masuk dari buret, dengan kondisi keran tertutup.
- d. Mengukur pengembangan benda uji sesudah diberi air (kondisi keran terbuka)
- e. Ditunggu sampai pengembangan maximum.
- f. Benda uji dikeluarkan dari mold oedometer untuk diperiksa kadar air(w) dan berat volume tanah (γ)
- g. Melakukan pembongkaran pada benda uji yang berisi kertas filter dengan diameter(D) =15 mm untuk mencari kadar air(w) pada kertas filter.
- h. Pengukuran kadar air(w) pada benda uji.
- i. Pengukuran berat volume (γ) pada benda uji.
- j. Menentukan sifat fisik benda uji meliputi : $\gamma_b, \gamma_s, e, S_r$.

3.1.3. Pengukuran Tekanan Pengembangan Dengan Kondisi Suhu Ruangan.

- a. Setelah pemadatan pada benda uji selesai dilakukan
- b. Melakukan percobaan tekanan pengembangan, karena penambahan air.
- c. Mengukur banyaknya air yang masuk dari buret, dengan kondisi keran tertutup.
- d. Mengukur tekanan pengembangan benda uji sesudah diberi air (kondisi keran terbuka)
- e. Ditunggu sampai tekanan pengembangan maximum dan dijaga $\delta_h = 0$
- f. Benda uji dikeluarkan dari mold oedometer untuk diperiksa kadar air(w) dan berat

volume tanah (γ)

- g. Melakukan pembongkaran pada benda uji yang berisi kertas filter dengan diameter(D) =15 mm untuk mencari kadar air(w) pada kertas filter.
- h. Pengukuran kadar air(w) pada benda uji.
- i. Pengukuran berat volume (γ) pada benda uji.
- j. Menentukan sifat fisik benda uji meliputi : γ_d , γ_s , e , S_r .

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

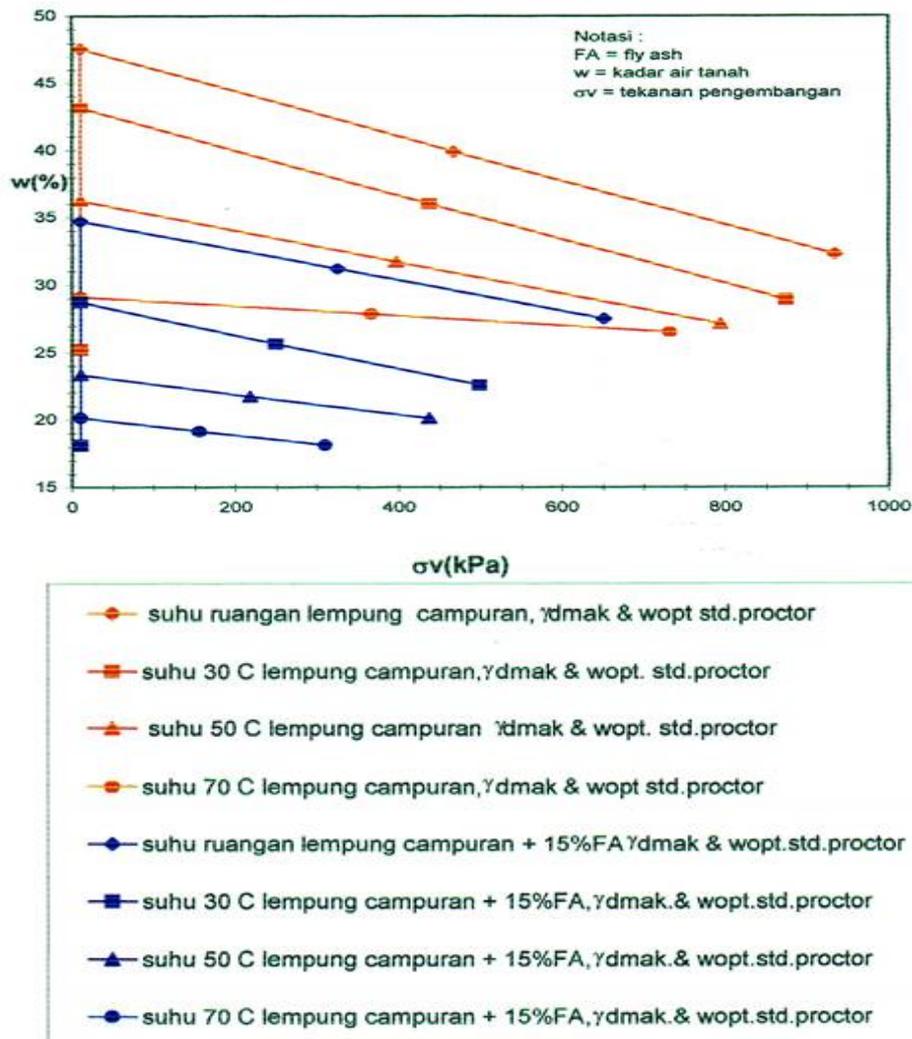
4.1 Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Besar Pengembangan dan Tekanan Pengembangan.

Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara tekanan mengembang(σ_v) dan kadar air(w) pada tanah lempung natural, dimana pada kondisi awal kadar airnya lebih besar dibandingkan dengan tanah lempung natural dengan 15% *fly ash* pada kondisi awal dipadatkan $w = w_{optimum}$ dan $\gamma_d = \gamma_d$ maksimum standard proctor pada berbagai suhu.

Berdasarkan Gambar 4.1 maka dapat disampaikan, bahwa benda uji lempung natural dengan 15% *fly ash* pada kondisi awal dipadatkan $\gamma_d = \gamma_d$ maksimum tekanan mengembang(σ_v) lebih kecil dibandingkan dengan benda uji lempung natural dengan kepadatan awal $\gamma_d = \gamma_d$ maksimum. Hal ini dapat terjadi karena struktur partikel — partikel pada benda uji lempung natural dengan 15% *fly ash* pada kondisi $\gamma_d = \gamma_d$ maksimum lebih padat, sehingga air yang terserap oleh benda uji lebih kecil dibandingkan benda uji lempung natural yang mempunyai kepadatan awal $\gamma_d = \gamma_d$ maksimum.

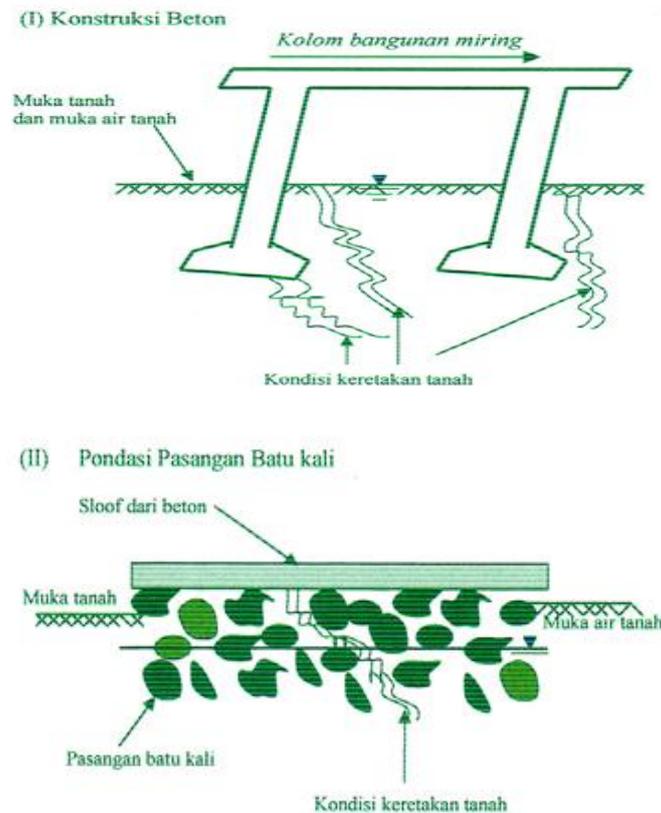
Demikian juga bahwa pengaruh *fly ash* dan suhu yang menyebabkan tanah memadat, mengakibatkan tekanan mengembang mengecil. Hal ini mungkin dipengaruhi oleh komposisi kimia dari *fly ash* masih bereaksi yang berfungsi menurunkan kadar air dan meningkatkan sifat fisik tanah karena peristiwa hidrasi dari CaO (Lea, F.M, 1970). Kadar CaO yang ada pada lempung natural dengan 15%

fly ash dibandingkan benda uji lempung natural. Pengaruh penambahan fly ash pada lempung natural dan suhu semakin tinggi tekanan pengembangan semakin kecil dengan kadar air kecil. Karena tanah yang padat struktur partikelnya kokoh, sehingga sukar ditembus oleh air, kadar air semakin kecil, akibatnya tekanan mengembangnya menjadi kecil.



Gambar 4.1 Hubungan Kadar Air (w) dan Tekanan Pengembangan (σ_v) dengan lempung campuran + 15% FA (Fly Ash), pada variasi suhu dengan γ_d maksimum dan $W_{optimum}$ standard proctor

KONDISI PONDASI BANGUNAN DIATAS TANAH LEMPUNG(TANAH YANG MUDAH MENGEMBANG)



BAB V KESIMPULAN

1. Penambahan *fly ash* berpengaruh terhadap karakteristik pengembangan (*swelling*) dan tekanan pengembangan (*swelling pressure*), pada tanah lempung natural dengan kondisi awal dipadatkan. Tanah lempung natural yang dicampur dengan 15% *fly ash* akan cenderung memiliki kekuatan mengembang dan tekanan mengembang yang lebih kecil, bila dibandingkan dengan tanah lempung natural. Hal ini disebabkan karena struktur partikelnya lebih kokoh dan diperkirakan karena peristiwa hidrasi dari *CaO* akibat reaksi penambahan *fly ash* yang menghasilkan struktur kepadatan yang lebih tinggi.
2. Variasi suhu berpengaruh terhadap karakteristik pengembangan (*swelling*) dan tekanan pengembangan (*swelling pressure*). Tanah lempung natural dengan suhu semakin tinggi pada lempung natural dengan penambahan 15% *fly ash* pengembangan dan tekanan pengembangan semakin kecil, bila dibandingkan dengan tanah lempung natural dengan kepadatan $\gamma_d = \gamma_{d \text{ maksimum}}$ pada kondisi suhu ruangan.

Hal ini diperkirakan dengan suhu semakin tinggi dan tanah semakin padat, karena partikelnya lebih kokoh dan sebagian air menguap pada benda uji.

DAFTAR PUSTAKA.

Chen (1975), "*FOUNDATIONS ON EXPANSIVE SOILS*", Amsterdam – Oxford – New York 1975

FAWCETT,R.G and COLLIS – GEORGE N. (1967), "*A Filter Paper Method for Determining the Moisture Characteritic of Soil*", Aus.Jour. of Experimental Agr.and Animal Husbandry, vol 7, pp. 162- 167

FREDLUND, D.G. (1979), "*Second Canadian Geotechnical Colloquium : Appropriate Concepts and Technology for Unsaturated Soils*", Canadian Geotechnical Journal vol. 16 no.1, pp. 121- 139

FREDLUND,D.G. and H.RAHARDJO (1993),"*An Overview of Unsaturated Soil Behaviour*", Unsaturated Soils (Geotechnical Special Publication no.39, ASCE New York,pp. 1 — 31

GARDNER, R.(1937) "*A Method of Measuring the Capillary Tension of Soil Moisture Over a Wide Moisture Range*", Soil Sci. 43, pp.277-283

INDARTO (1991), "*Comportement des sols soumis a une pression interstitielle Negative*". These de Doctorat, Ecole Centrale Paris, September 1991

INDARTO(1995), "*Metode Kertas Filter Untuk Menentukan Karakteristik Tegangan Air Pori Negatif pada Tanah*", majalah IPTEK ITS, November 1995

Mitchell (1976), "*Fundamentals of Soil Behavior*", University of California, Berkeley.

O.M.Vilar,Unsaturated Soil,1995.

"*Suction Controlled Oedometer tests on a Compacted Clay*",
University of Sao Paulo, S.P., Brazil.

P. KUNTIWATTANAKUL,XIII ICS MFE,1994, New Delhi,India.

"**BEHA VIOUR OF CL YS UNDERGOING ELEVATED TEMPERATURE**"
Departement of Civil Engineering, University of Tokyo, Japan.

S.A.Habib, Unsaturated Soil,1995.

"*Suction Controlled one dimensional Swelling and Consolidation behaviour of expansive Soil*". Civil Engineering Department,AL — Azhar University, Cairo,Eg ypt.

SCHOFIELD, R.K.(1935),"*The pF of the Water in Soil*", Trans. 3¹(Int. Congr.Soil Sci.(Oxford),pp. 37 — 48