

PENGARUH KANDUNGAN LEMPUNG DAN KADAR AIR TERHADAP COHESI DAN PHI TANAH LANAU BERLEMPUNG

Endaryanta

Staf Pengajar Fakultas Teknik UNY

ABSTRACT

In this year, landslide disaster such as embankment slide, bank slide, or buried of soil (trash) often occurs. All of them begin with a simple problem, that is infiltration of rain water (or other) into soil causing the decrease of shear strength, finally passed the limit of landslide safety factor F , so landslide occurs. The research tries to know the behavior of clayey-mud soil with several ratio of clay content and several water content ratio to find out how much clay content and water content (w) may induce soil collapse.

This experiment research was conducted in the soil laboratory UNY using clayey-mud soil from Klaten which has been conditioned in several clay content (0%-40%) and water content w (20%-30%) and then direct shear tests were applied. The product of this experiment were : cohesion (c), internal soil shear angle, phi (ϕ), and safety factor of landslide (F).

This research has resulted : (1) For pure mud soil, until 25% water content, would decrease of cohesion (interlocking), but >25% water content, interlocking (cohesion) would constant. The maximum cohesion (interlocking)(0.09 kg/cm²) reaches at 20% of water content; (2) For pure mud soil, increasing of water content until 30% would increase of ϕ and F . The maximum ϕ value (41.8°) occur at 30% water content (at 0% clay content); (3) For clayey-mud soil, increasing of water content causes increasing or constant of cohesion. The cohesion would increase if 10%-20% clay content. The c value until 0.0665 kg/cm² at 30% water content (at 10% clay content); and (4) For clayey-mud soil, increasing of water content (until 25%) would increase of ϕ and F . The ϕ value could until 40.9° at $w=25%$ (at 10% clay content). If $w>25%$, the value of ϕ and F would decrease. The ϕ value until 7.7° at $w=30%$ (at 40% clay content).

Keywords: mud, clay, soil, water content, cohesion, landslide.

PENDAHULUAN

Di media masa telah sering dilihat beragam bencana alam tanah longsor misalnya tebing jalan longsor. lereng

pemukiman longsor, timbunan tanah (sampah busuk) longsor menimpa pemukiman penduduk sehingga timbul korban jiwa dan harta seperti

yang menimpa penduduk Jawa belum lama ini. Semua ini berawal dari persoalan sederhana yaitu akibat air hujan yang terinfiltrasi ke dalam tanah yang menyebabkan kekuatan (geser) tanah berkurang sampai melampaui batas/limit keruntuhan sehingga tanah tidak mampu mendukung dirinya sendiri dan bangunan di atasnya. Turunnya kekuatan geser tanah (bisa dilihat dari nilai phi dan kohesi tanah) dan juga bertambahnya bobot tanah akibat air ini sebenarnya dapat diamati dengan membuat suatu eksperimen di laboratorium dengan mengukur tahapan turunnya kuat geser tanah setiap tahapan penambahan kadar air dalam tanah.

Penelitian ini dilakukan terhadap tanah lanau yang komposisinya berbeda dengan penelitian yang dahulu. Pada penelitian terdahulu (Endaryanta, 2005) dilakukan terhadap lanau berpasir, sedangkan pada penelitian ini terhadap lanau berlempung sehingga karakteristiknya berbeda. Apakah lempungnya ini akan menurunkan phi dan kohesi (karena sifat lempung licin) ataukah justru menaikkan phi dan kohesi (karena sifat lempung lengket)? Kapan lempungnya akan memperkuat factor aman terhadap longsor dan kapan akan memperlemah? Pertanyaan inilah yang mendorong dilakukan penelitian ini. Hasil penelitian ini jika dipadukan dengan hasil penelitian terdahulu akan dapat dipakai untuk menyimpulkan perilaku dua jenis tanah lanau yaitu lanau berpasir dan lanau berlempung.

Hasil penelitian terdahulu (lanau berpasir) menunjukkan bahwa jika

terjadi penambahan air (misalnya hujan) maka parameter kuat geser tanah (yaitu phi, kohesi) dan faktor aman longsor akan mulai turun pada kadar air sekitar 23%. Jadi, faktor aman terhadap longsor akan mulai turun ketika kadar airnya mencapai 23% dan seterusnya akan terus turun jika terjadi penambahan air.

Apakah hasil ini akan berlaku pula terhadap tanah lanau yang komposisi-nya berbeda (lanau berlempung)? Lempungnya itu akan menaikkan keamanan terhadap longsor (karena lempung lengket) ataukah justru akan menurunkan keamanan terhadap longsor (karena lempung licin)? Hal inilah yang mendasari pentingnya dilakukan penelitian ini.

Akibat air, kekuatan geser tanah (bisa dilihat dari nilai phi dan kohesi) mula-mula akan naik kemudian turun. Yang menjadi permasalahan ialah pada kadar air berapa sehingga phi dan kohesi tanah naik dan kapan turun? Apakah hal ini berlaku untuk semua jenis tanah di semua tempat? Kandungan lempung dalam tanah lanau berlempung akan menurunkan ataukah menaikkan nilai phi dan kohesi tanah? Akan dicoba mengukur nilai phi dan kohesi tanah di laboratorium dengan salah satu cara yaitu uji geser langsung (*direct shear test*), walaupun masih ada cara lain misalnya triaksial, uji tekan bebas.

Batasan masalah pada penelitian ini ialah : (a) penelitian hanya menggunakan tanah lanau berlempung, (b) prosentase campuran lempung di-

tetapkan 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%; (c) uji laboratorium hanya menggunakan satu cara yaitu *direct shear test*; (d) pemadatan tanah di laboratorium ditentukan satu jenis saja yaitu cara standart, dan (e) kadar air tanah benda uji divariasikan 20%, 25%, 30%. Hal ini mengingat kadar air optimum pemadatan tanah berkisar 10% sampai 25% (RF. Craig, 1976) dan sekitar 23% (Endaryanta, 2005).

Rumusan Masalah pada penelitian ini ialah : (1) berapa nilai sudut gesek intern tanah (ϕ) tanah lanau berlempung pada kadar air tanah: 20%, 25%, 30% dan kandungan lempung 0%, 10%, 20%, 30%, 40% ?; (2) berapa nilai kohesi tanah (c) tanah lanau berlempung pada kadar air tanah 20%, 25%, 30% dan kandungan lempung :0%, 10%, 20%, 30%, 40%?.

Tujuan Penelitian ini ialah : (1) Untuk mengetahui nilai sudut gesek intern ϕ tanah lanau berlempung pada beragam kandungan lempungnya (0%-40%) dan pada kadar air 20%-30%; (2) Untuk mengetahui nilai kohesi c tanah lanau berlempung pada beragam kandungan lempungnya (0% sampai 40%) dan pada kadar air 20%-30%; dan (3) Untuk mengetahui faktor aman terhadap longsor pada tebing tanah lanau berlempung dengan kandungan lempung 0% sampai 40% dan pada kadar air yang berbeda-beda (20%-30%).

Tinjauan Pustaka

1. Longsoran Tanah

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal misalnya tebing tanah, akan

rawan terhadap longsoran. Hal ini disebabkan komponen gravitasi (yang menggerakkan tanah ke bawah) melampaui perlawanan geseran oleh tanah pada bidang longsornya (Hardiyatmo,1994). Analisis tentang hal ini disebut analisis stabilitas lereng tanah. Analisis ini penting untuk proyek : jalan raya, jalan kereta api, bandara, bendungan urugan tanah, saluran, dan sebagainya.

Terzaghi, 1950 Hardiyatmo, 1994) menyebutkan bahwa penyebab longsornya lereng tanah terjadi akibat 2 faktor, yaitu factor internal dan factor eksternal. Contoh factor eksternal misalnya orang mempertajam kemiring-an tebing. Contoh factor internal misal-nya : bertambahnya tekanan air pori di dalam lereng tanah karena masuknya air hujan.

Beberapa pengertian dasar perlu ditulis di sini yaitu tanah lanau, kadar air, uji laboratorium untuk mengukur ϕ dan c tanah.

2. Tanah lanau dan lempung

Tanah adalah kumpulan mineral, bahan organik, dan endapan yang relative lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bed rock*)(Hardiyatmo,1999). Tanah tersusun dari 3 bagian yaitu bagian butiran, air dan udara. Untuk keperluan tertentu, beberapa negara membuat standar untuk tanah, misalnya ASTM (Amerika), BS (Inggris) dan UCS (umum). Dari segi ukuran diameter butiran, ASTM menyebut lempung (<0,005 mm),

lanau (0,075 ~ 0,05 mm), dan pasir (>0,075 mm).

Pada tanah lanau berlempung, kandungan lempung adalah perbandingan berat lempungnya terhadap berat tanah lanaunya.

3. Kadar Air Tanah

Kadar air menyatakan berat air yang terkandung dalam tanah dibanding berat butiran (berat kering) tanah. Bila tanah dipadatkan, maka hasil kepadatannya tergantung dari tenaga pematatannya dan kadar airnya (Wesley,1977). Kadar air juga mempengaruhi nilai sudut gesek intern tanah ϕ dan kohesi c tanah. Penambahan kadar air tanah cenderung mengurangi kuat geser tanah (Bowless,1988:23). Air akan menimbulkan tekanan hidrostatis dan juga pelunakan yang menyebabkan penurunan kekuatan tanah.

Kenyataan di atas diperkuat dengan hasil uji pematatan di laboratorium yang membuktikan bahwa pada awalnya penambahan kadar air tanah akan meningkatkan kepadatan tanah sampai mencapai maksimum, kemudian penambahan air berikutnya justru akan menurunkan kepadatan tanah (Dunn, dkk.,1980).

Menurut Endaryanta (2005), pada kadar air tanah sekitar 22-23% akan diperoleh nilai kohesi tertinggi dan nilai sudut gesek intern ϕ tertinggi.

4. Kuat-Geser Tanah

Kuat geser tanah merupakan perlawanan internal tanah per satuan luas terhadap keruntuhan atau

pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah. Menurut Mohr,1980 (dalam Das, 1995) hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser dalam tanah dituliskan dalam persamaan : $\tau = f(\sigma)$. Persamaan ini berbentuk sedikit melengkung. Namun demikian untuk penyelesaian sebagian besar mekanika tanah, garis itu cukup didekati dengan garis lurus yang menunjukkan hubungan linier antara tegangan normal dan geser (Coulomb,1776, dalam Das, 1995), dan ditulis dalam bentuk : $\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$

5. Sudut Gesek Intern (ϕ) dan kohesi (c) Tanah

Nilai ϕ dan c tanah merupakan parameter kuat geser tanah yang penting di bidang teknik sipil. Nilai parameter ini dapat diperoleh dengan uji laboratoris diantaranya dengan uji triaksial, uji kuat tekan bebas, dan uji geser langsung (*direct shear test*).

Menurut Meyerhoff,1956 (dalam Hardiyatmo,1999:215), semakin padat suatu tanah, nilai sudut gesek intern tanah (ϕ) nya juga makin besar. Perbedaan nilai sudut gesek intern tanah bisa mencapai 3° sampai 4° (Craig,1976). Kondisi tingkat kepadatan tanah ini dipengaruhi oleh salah satunya ialah faktor kadar airnya. Hardiyatmo (2002:289) menyatakan bahwa kekuatan geser tanah dipengaruhi oleh tekanan air pori dalam tanah. Tekanan air pori terkait dengan kadar air tanah. Dengan berubahnya nilai ϕ dan c

tanah maka potensi longsor tebing tanah akan berubah.

7. Angka Aman terhadap Longsor Tanah

Menurut Hardiyatmo(1994), factor aman (F) terhadap longsor tanah ialah : Jika lerengnya tak berhingga, tanpa rembesan maka :

$$F = \frac{c}{H \cdot \gamma \cdot \cos^2 \alpha \cdot \text{tg} \alpha} + \frac{\text{tg} \phi}{\text{tg} \alpha}$$

sedangkan jika ada rembesan air, maka:

$$F = \frac{c}{H \cdot \gamma_{sat} \cdot \cos^2 \alpha \cdot \text{tg} \alpha} + \frac{\gamma' \text{tg} \phi}{\gamma_{sat} \text{tg} \alpha}$$

Berdasar landasan teori di atas, dapat disusun kerangka pemikiran berikut : Tebing tanah (dan lainnya) dapat longsor jika kepadatan tanahnya berubah akibat air yang meresap ke dalam tanah. Kepadatan tanah berubah berarti sudut gesek intern tanah (ϕ) dan kohesi (c) berubah. Angka aman terhadap kelongsoran tanah juga berubah.

METODE PENELITIAN

Variabel Bebas pada penelitian ini ialah: (a) Kadar air tanah, dikendalikan dengan cara ditetapkan 20%,25%, 30%; (b) Jenis tanah (macam campuran), dikendalikan dengan cara ditetapkan jenis lanau berlempung dengan mencampur lanau dengan lempung dengan variasi kandungan lempung 0%,10%,20%,30%,40%; (c) Gradasi ukuran butir tanah, dikontrol dengan analisis sedimentasi dan ayakan; dan (d) Cara pemadatan tanah-uji, dikendalikan dengan menyamakan cara pemadatan, yaitu cara standard ASTM.

Variabel Terikatnya ialah: (a) Nilai sudut gesek intern tanah ϕ ; (b) Nilai kohesi tanah c ; dan (c) Angka aman longsor tanah F.

Populasi penelitian ini ialah tanah lanau berlempung, dengan sample tanah lanau di Klaten. Penentuan sample ditempuh dengan *purposive sampling*. Jumlah sample diambil 30 buah (3buah x 10 sel).

Penelitian eksperimen ini ditempuh dengan tes/pengujian di laboratorium Mektan menggunakan instrument: (1) Saringan tanah & hydrometer untuk menguji distribusi ukuran butir tanah; (2) Timbangan & oven untuk uji kadar air; dan (3) Satu set alat uji geser langsung *direct shear test*.

Desain eksperimen dipilih model deskriptif dan komparatif, yaitu mencari nilai dan membandingkan nilai sudut gesek intern tanah ϕ dan kohesi c pada beragam variasi kadar air tanah.

Desain eksperimen disusun dalam table berikut :

1. Nilai phi (ϕ) yang diperoleh :

		Prosentase kandungan lempung				
		0%	10%	20%	30%	40%
Kadar Air	20%	ϕ_{11}	ϕ_{12}	ϕ_{13}	ϕ_{14}	ϕ_{15}
	25%	ϕ_{21}	ϕ_{22}	ϕ_{23}	ϕ_{24}	ϕ_{25}
	30%	ϕ_{31}	ϕ_{32}	ϕ_{33}	ϕ_{34}	ϕ_{35}

2. Nilai cohesi c yang diperoleh :

		Prosentase kandungan lempung				
		0%	10%	20%	30%	40%
Kadar Air	20%	C11	C12	C13	C14	C15
	25%	C21	C22	C23	C24	C25
	30%	C31	C32	C33	C34	C35

3. Nilai factor aman terhadap longsor F :

		Prosentase kandungan lempung				
		0%	10%	20%	30%	40%
Kadar Air	20%	F11	F22	F23	F24	F25
	25%	F21	F22	F23	F24	F25
	30%	F31	F32	F33	F34	F35

Urutan eksperimennya adalah: (1) mengambil tanah lanau dan tanah lempung di lapangan; (2) mencari distribusi ukuran butir dengan analisis saringan dan hydrometer; (3) mengukur kadar air tanah awalnya; (4) menimbang berat tanah dan mencampur sesuai komposisi perbandingan berat dari lempung dan lanau sesuai dengan desain penelitian (0%, 10%, 20%, 30%, 40%); (5) mengatur kadar air tanah dengan nilai tertentu : 20%,30%; (6) memadatkan tanah yang diuji dengan pemadatan yang sama yaitu standard; (7) melakukan uji geser tanah; dan (8) mengolah data sampai diperoleh hasil berupa sudut gesek intern tanah ϕ dan

kohesi c tanah-uji. Langkah nomor 6 yaitu menguji geser langsung (*direct shear test*) menggunakan rumus : Gaya geser = pembacaan dial gaya geser x angka kalibrasi proving ring.

$$\text{Tegangan geser } \tau = \frac{P_{maks}}{A} \text{ dan}$$

$$\tau = c + \sigma \cdot tg\phi$$

$$\text{Tegangan normal } \sigma = \frac{N}{A}$$

c= kohesi, N= beban normal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

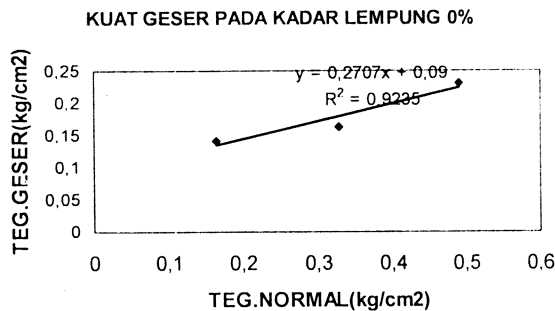
Penelitian tentang tanah lanau berlempung ini dilakukan dengan mengambil sample tanah di Klaten di daerah yang terjadi longsor. Sampel tanah ini selanjutnya dibawa ke Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil UNY di Yogyakarta untuk dilakukan berbagai pengujian.

Data mentah penelitian yang penting berupa bacaan dial beban geser. Data lainnya ialah data yang berkaitan dengan properti tanah misalnya kadar air tanah, distribusi ukuran butir tanah. Contoh data hasil uji geser ialah sebagai berikut.

Tabel 1. Nilai Tegangan Geser Tanah Hasil Pengujian Pada Kadar Air 20%

Kadar air 20%		Prosentase Kandungan Lempung				
		0%	10%	20%	30%	40%
Tegangan Normal σ_n (kg/cm ²)	0,1678	0,1417	0,0886	0,0598	0,0930	0,0044
	0,3357	0,1639	0,1683	0,2171	0,1728	0,0088
	0,5035	0,2303	0,3145	0,3013	0,2304	0,1152

Jika diujudkan dalam grafik, maka hasilnya seperti Gambar 1:



Gambar 1. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Geser pada Kadar lempung 0%, kadar air 20%.

Dari grafik di atas diperoleh nilai kohesi c dan sudut gesek intern tanah ϕ . Cara yang sama dilakukan terhadap benda uji lainnya dengan memvariasi kadar air (20%,25%,30%) dan kadar

lempungnya (0%,10%,20%,30%,40%). Selanjutnya bisa diperoleh factor aman longsor F.

Tabel 2. Tabel Nilai ϕ dan c tanah hasil pengujian.

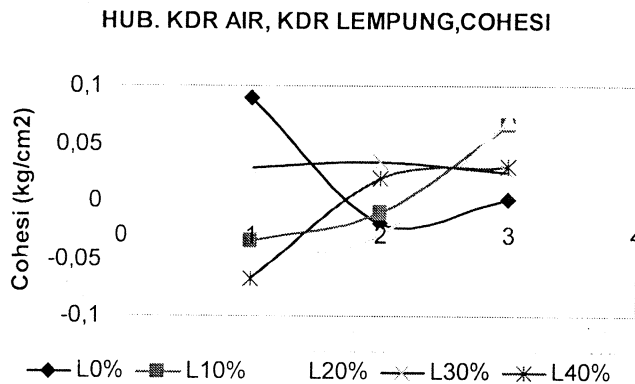
Kadar Lempung	ϕ (derajat)			Cohesi (c) (kg/cm ²)		
	Kadar air			Kadar air		
	20%	25%	30%	20%	25%	30%
0%	15,1	36,2	41,8	0,09	-0,02	0,0016
10%	34,6	40,9	31,34	-0,04	-0,010	0,0665
20%	36,4	36,1	18	-0,05	-0,029	0,070
30%	22,8	33,0	14,4	0,028	0,034	0,0251
40%	18,7	30,8	7,7	-0,02	0,019	0,0295

Tabel 3. Tabel nilai Faktor Aman Longsor F

Kadar Lempung	Kadar Air		
	20%	25%	30%
0%	1,02	1,16	1,56
10%	0,99	1,448	1,39
20%	0,998	1,41	0,92
30%	0,90	1,30	0,57
40%	0,18	1,13	0,38

Kajian Hubungan Kadar Air, Kadar Lempung dengan Cohesi (c) tanah

Hasil uji laboratorium dan perhitungan / analisis diperoleh nilai kohesi dari tanah lanau berlempung seperti table tersebut diatas. Jika diwujudkan dalam grafik diperoleh grafik Gambar 2 berikut.



Gambar2. Grafik Hubungan Kadar air, Kadar lempung dan Cohesi

Berdasarkan gambar grafik di atas lempung dan kohesi), terlihat bahwa : (grafik hubungan kadar air, kadar (1) Pada tanah lanau murni (kadar

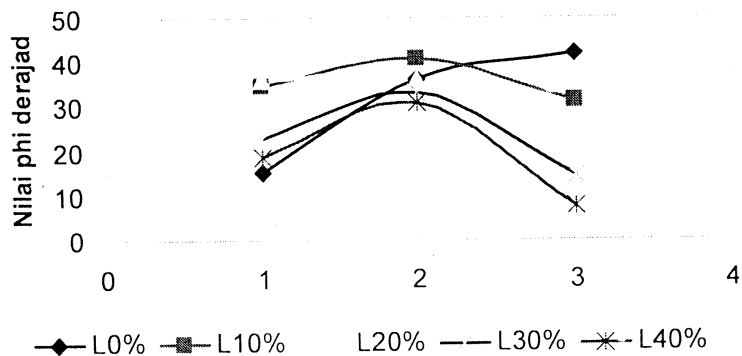
lempung 0%) terlihat bahwa penambahan kadar air dari 20% ke 25% akan menurunkan nilai cohesi (lebih tepatnya interlocking) antar butir tanah, sedangkan penambahan air selanjutnya (dari 25% ke 30%) nilai cohesi/interlocking akan relative tetap. Hal ini bisa dimengerti karena adanya sedikit air akan melicinkan hubungan antar butir tanah lanau murni, sedangkan airnya cukup banyak maka permukaan butir tanah lanau murni akan bersih sehingga interlocking (penguncian) antar butir tanah akan baik sehingga nilai interlocking akan tetap/baik. Kondisi ini mirip dengan jalan aspal yang kena hujan, mula-mula licin kemudian kalau jalan aspal sudah bersih malah tidak licin lagi; (2) Pada tanah lanau

berlempung, jika kadar airnya bertambah maka nilai cohesi akan tetap (jika kadar lempung 30% & 40%) dan cohesi akan naik (jika kadar lempung 10%-20%). Hal ini bisa dimengerti karena sifat lempungnya itu jika kadar airnya sedikit akan berperilaku seperti lem, tetapi jika kadar airnya banyak maka berfungsi sebagai pelicin.

Kajian Hubungan Kadar Air, Kadar Lempung dengan phi (ϕ , sudut gesek intern tanah).

Hubungan antara kadar air, kadar lempung dan ϕ jika berujud grafik adalah sebagai berikut.

HUB. KDR AIR, KDR LEMPUNG, PHI



Gambar 3. Grafik Hubungan Kadar air, Kadar lempung dan ϕ

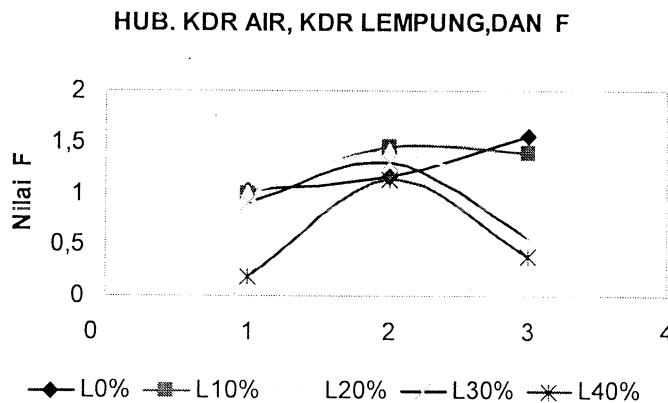
Berdasarkan grafik tersebut di atas, terlihat bahwa : (1) Pada tanah lanau murni (kadar lempung 0%) maka naiknya kadar air (dari 20%-30%) akan menaikkan nilai ϕ (sudut gesek intern tanah). Phi bisa mencapai 41,8° saat

kadar air 30%; (2) Pada tanah lanau berlempung (kadar lempung 10% sampai 40%), naiknya kadar air dari 20%ke 25% akan menaikkan nilai ϕ , sedangkan naiknya kadar air dari 25% ke 30% akan menurunkan nilai

ϕ . Naiknya nilai ϕ bisa mencapai $40,9^\circ$ ketika $w=25\%$ dan kadar lempung 10%, Turunnya nilai ϕ bisa mencapai angka $7,7^\circ$ ketika $w=30\%$ dan kadar lempung 40%. Hal ini bisa dimengerti karena dengan air yang hanya sedikit maka lempungnya akan berfungsi sebagai lem, sedangkan jika airnya banyak ($>30\%$) maka lempungnya malah menjadi pelicin.

Kajian Hubungan Kadar Air, Kadar Lempung dengan F (factor aman terhadap longsor)

Berdasarkan pengolahan data pengujian, diperoleh grafik hubungan kadar air, kadar lempung dan nilai factor aman F sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar air, Kadar Lempung dan F

Dari grafik di atas, terlihat bahwa : (1) Pada tanah lanau murni (kadar lempung 0%), maka penambahan air dari 20% ke 25% dan ke 30% akan menaikkan nilai factor aman F. Perlu diketahui bahwa nilai F tersusun dari 2 komponen yaitu Cohesi (interlocking) dan sudut ϕ tanah. Meskipun di sini nilai interlocking turun tetapi pengaruh naiknya ϕ lebih dominant sehingga akhirnya nilai F akan naik: (2) Pada tanah lanau berlempung (kadar lempungnya 10%, 20%, 30%, 40%), naiknya kadar air sampai 25% akan menaikkan nilai F, tetapi penambahan kadar air berikutnya

(misal menjadi 30%) akan menurunkan nilai F. Jadi, nilai F akan naik jika kadar air $<25\%$ dan F akan turun jika kadar air $>25\%$.

Hal ini disebabkan karena pada lanau berlempung, penambahan air pada awalnya akan menaikkan nilai ϕ dan cohesi, seterusnya penambahan air akan menurunkan nilai ϕ sehingga F juga turun (nilai ϕ pada F ialah

$$\frac{tg\phi}{tg\alpha}$$

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan penelitian ini ialah :

- a. Pada tanah lanau murni (tanpa kandungan lempung), penambahan kadar air sampai 25% akan menurunkan interlocking (kohesi) antar butir tanah, sedangkan penambahan kadar air selanjutnya (>25%) interlocking (kohesi) akan relative tetap (sedikit naik). Nilai kohesi (interlocking) tertinggi saat kadar airnya 20% dan kadar lempung 0%.
- b. Pada tanah lanau murni (tanpa kandungan lempung), naiknya kadar air sampai 30% akan menaikkan nilai ϕ (sudut gesek intern tanah) .
- c. Pada tanah lanau murni (tanpa kandungan lempung), naiknya kadar air sampai 30% akan menaikkan nilai F (factor aman terhadap longsor).
- d. Pada tanah lanau berlempung, penambahan kadar air menyebabkan nilai kohesinya akan sama (jika kadar lempungnya >25%) atau naik (jika kadar lempungnya 10%-20%).
- e. Pada tanah lanau berlempung, penambahan kadar air hingga 25% akan menaikkan sudut ϕ (sudut gesek intern tanah), sedangkan jika kadar air > 25% maka akan menurunkan sudut ϕ .
- f. Pada tanah lanau berlempung, penambahan kadar air hingga 25% akan menaikkan nilai F (angka aman terhadap longsor), sedangkan jika kadar air > 25% maka akan menurunkan nilai F.

Penelitian ini hanya terbatas menurut uji geser langsung untuk tanah lanau berlempung saja dari Klaten. Hasil uji mungkin berbeda jika pengujiannya

memakai cara lain atau tanahnya berasal dari tempat lain. Uji laboratorium hanya 30 kali untuk 5 kondisi, maka hasilnya tidak digeneralisir untuk semua jenis lanau berlempung.

Fenomena yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada tanah lanau jika kadar lempungnya sangat sedikit atau terlalu banyak maka mudah terjadi longsor bila kemasukan air. Hal ini menjadi pertimbangan kalau membuat tanggul atau galian di tanah lanau, perlu dilakukan perkuatan pada tebing tebingnya misalnya dengan tumpukan batu, konstruksi bronjong atau konstruksi lainnya.

Saran untuk penelitian ini ialah perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan tanah lanau dari daerah lain yang campurannya gambut, serta menambah jumlah benda-uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Craig, RF.,1976. *Soil Mechanic*. New York: Van Nostrand Reinhold Co.ltd.
- Das, Braja M.,(alih bahasa oleh Noor Endah & Indra Surya B. Mochtar),1995. *Mekanika Tanah*. Jakarta : Erlangga.
- Dunn, Anderson, Kiefer, 1980. *Fundamental of Geotechnical Analysys*. Canada : John Wiley & Sons Inc.

Endaryanta, 2005. *Pengaruh kadar air terhadap kuat geser tanah lanau*. Laporan Penelitian. UNY: Lemlit.

Hardiyatmo, 1994. *Mekanika Tanah -1*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.

Hardiyatmo, 1999. *Mekanika Tanah -2*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.