

Pengaruh Persentase Butiran Halus Terhadap Perubahan Kuat Kokoh Tanah Lempung Akibat Fluktuasi Muka Air Tanah

Paravita Sri Wulandari¹ and Daniel Tjandra²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra, Surabaya

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra, Surabaya

E-mail: paravita@petra.ac.id, daniel@petra.ac.id.

ABSTRAK: Fluktuasi muka air tanah pada tanah lempung yang disebabkan perubahan musim dapat mengakibatkan tanah lempung mengalami perubahan kekuatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh persentase butiran halus terhadap perubahan kuat kokoh tanah lempung ketika terjadi fluktuasi muka air tanah. Pada penelitian ini digunakan contoh tanah lempung dengan besar persentase butiran halus yang berbeda dari lima lokasi di Surabaya. Fluktuasi muka air tanah pada penelitian ini disimulasikan dengan melakukan variasi kadar air pada tanah lempung. Variasi kadar air tanah dilakukan dengan melakukan pengurangan air pada contoh tanah sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari kadar air pada kondisi awal. Pengujian *Unconfined Compression Test* dilakukan untuk mengetahui kuat kokoh tanah pada setiap variasi kadar air tanah. Dari hasil pengujian di laboratorium, didapatkan bahwa sejalan dengan turunnya kadar air dan derajat kejenuhan, kuat kokoh tanah lempung mengalami peningkatan yang signifikan demikian juga sebaliknya. Selain itu, semakin tinggi persentase butiran halus, maka perubahan kuat kokoh tanah akibat variasi kadar air semakin besar dan sebaliknya. Pada rentang perubahan kadar air yang sama yaitu sekitar 36%, tanah lempung dengan nilai persentase butiran halus kurang dari 80%, mengalami perubahan kuat kokoh tanah delapan kali lipat. Sedangkan tanah lempung dengan nilai persentase butiran halus lebih dari 95%, mengalami perubahan kuat kokoh tanah mencapai lima puluh kali lipat.

KEYWORDS: Tanah lempung, derajat kejenuhan, fluktuasi muka air tanah, persentase butiran halus, kuat kokoh

1. Pendahuluan

Perubahan musim di negara tropis seperti Indonesia dapat menyebabkan fluktuasi muka air tanah. Pada tanah lempung, kondisi tersebut dapat mempengaruhi kadar air tanah di zona aktif, dimana terjadi fluktuasi muka air tanah. Pada musim hujan, terjadi peningkatan elevasi muka air tanah, sebaliknya pada musim kemarau terjadi penurunan elevasi muka air tanah. Variasi kadar air pada zona tersebut dapat menyebabkan perubahan karakteristik tanah dan perubahan ini berdampak pada kuat kokoh tanah lempung (Indarto, 2008, Shayea N.A., 2001, Yalcin A., 2011).

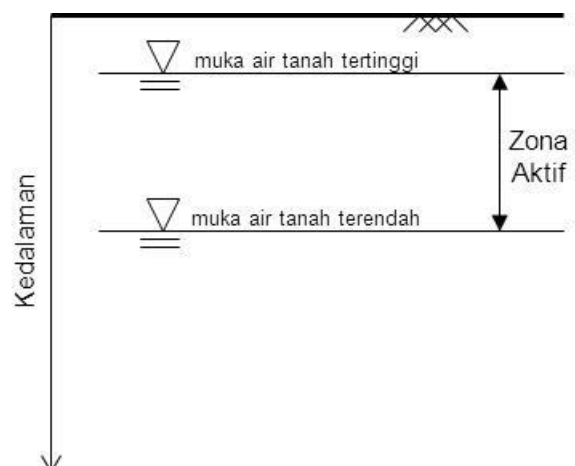
Perilaku tanah lempung akibat variasi kadar air perlu dipahami agar perencanaan pondasi dapat dilakukan dengan baik dan tidak mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan di atasnya. Salah satu hal penting yang perlu diperhatikan adalah penetrasi air ke dalam tanah yang dapat meningkatkan nilai kadar air dalam tanah dan pada akhirnya dapat menurunkan kuat geser tanah secara signifikan (Tjandra dkk., 2013, Tjandra dkk., 2014, Tjandra dkk., 2015). Dalam penelitian ini, serangkaian percobaan laboratorium dilakukan untuk memahami dampak variasi kadar air akibat fluktuasi muka air tanah terhadap kuat kokoh tanah lempung. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh nilai persentase butiran halus pada tanah lempung terhadap perubahan kuat kokoh tanah lempung akibat proses pengeringan dan pembasahan saat terjadi fluktuasi muka air tanah.

2. Fluktuasi Muka Air Tanah Pada Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah dengan butiran yang berukuran lebih kecil dari 0.002 mm. Partikel tanah

lempung sangat halus dan berbentuk pipih. Tanah lempung akan menjadi sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada saat kadar airnya meningkat. Pada saat kadar air tinggi, tanah lempung akan bersifat lengket dan lunak (Das B.M., 1999 dan Bowles J.E., 1984).

Tanah lempung dengan muka air tanah yang tinggi pada umumnya berada pada kondisi jenuh dimana seluruh pori-pori tanah terisi penuh oleh air. Akan tetapi pada lapisan tanah dimana terjadi fluktuasi muka air tanah, variasi kadar air dimungkinkan terjadi. Lapisan tanah yang berada pada zona aktif tersebut dimungkinkan berada pada kondisi tidak jenuh serta dapat mengalami perubahan karakteristik fisik dan mekanik. Fluktuasi muka air tanah terjadi pada suatu zona yang disebut zona aktif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Zona Aktif pada Tanah Lempung

Fluktuasi muka air tanah pada zona aktif sangat mempengaruhi kekuatan tanah lempung untuk menahan beban pondasi di atasnya. Kandungan air pada tanah secara signifikan mempengaruhi perubahan kohesi tanah. Ketika kadar air meningkat, kohesi tanah menurun. Hal ini disebabkan karena peningkatan kadar air dapat mengubah jarak antar partikel tanah, yang selanjutnya diikuti penurunan kekuatan ikatan antar-partikel tanah. Penurunan kekuatan ikatan menghasilkan penurunan kohesi dan hilangnya kekuatan geser. Dalam penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Yalcin (2011), ditunjukkan bahwa kohesi tanah di musim kemarau mencapai empat kali lebih tinggi daripada kohesi tanah di musim hujan. Sebagai contoh, kohesi sebesar 149 kN/m² di musim kemarau, sedangkan di musim hujan, kohesi menurun hingga 37 kN/m².

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pengambilan contoh tanah pada lima lokasi yang berbeda di Surabaya bagian Timur dan Selatan. Contoh tanah diambil secara tidak terganggu dengan menggunakan tabung dari pipa besi (*shelbytube*) berdiameter 7 cm pada kedalaman zona aktif, yaitu kurang lebih satu meter dari permukaan tanah asli. Tanah yang telah diambil dengan tabung tersebut kemudian segera ditutup dengan lilin atau plastik di bagian atas dan bawah untuk mencegah terjadinya perubahan kadar air. Setelah itu contoh tanah dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian.

Tahap penelitian berikutnya adalah melakukan pengujian laboratorium terhadap contoh tanah yang diambil dari lapangan. Pengujian laboratorium yang dilakukan berupa pengujian karakteristik fisik dan mekanik tanah. Pengujian karakteristik fisik adalah pengujian yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu contoh tanah yang diambil dari lapangan. Pengujian karakteristik fisik tanah yang dilakukan meliputi kadar air, berat spesifik dan analisis ayakan.

Untuk menentukan persentase butiran halus, dilakukan analisis ayakan basah (*wet method*). Cara kerja analisis ayakan basah adalah mengambil sebagian contoh tanah lalu dicampurkan dengan air dan diaduk hingga merata. Selanjutnya campuran tanah tersebut dituang ke ayakan yang sudah tersedia. Persentase butiran halus ditentukan dengan melihat persentase butiran yang memiliki ukuran kurang dari 0.075 mm (lolos ayakan No.200 ASTM).

Pengujian karakteristik mekanik tanah berupa penentuan nilai parameter kuat geser tanah. Pada penelitian ini, parameter mekanik tanah diwakili oleh nilai kuat kokoh tanah. Nilai kuat kokoh tanah tersebut didapatkan dari hasil pengujian *unconfined compression*.

Pengujian karakteristik fisik dan mekanik dilakukan pada dua kondisi kadar air tanah. Kondisi pertama adalah kondisi awal contoh tanah *undisturbed* yang diambil dari lapangan. Kondisi kedua adalah kondisi dimana contoh tanah mengalami proses pengeringan dengan kadar air sekitar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari kadar air pada kondisi awal. Proses pengeringan ini tidak dilakukan dengan oven, tetapi dengan meletakkan contoh tanah di udara bebas untuk menghindari terjadinya kerusakan pada susunan partikel contoh tanah tersebut, hingga mencapai

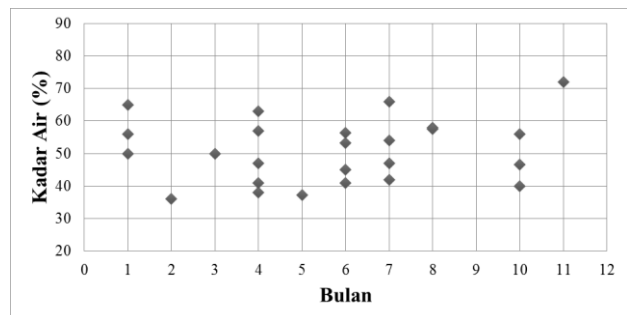
kadar air yang dikehendaki. Variasi kadar air yang dilakukan di laboratorium digunakan untuk melakukan simulasi keadaan tanah di lapangan pada kedalaman zona aktif. Penentuan variabel kadar air disesuaikan dengan variasi kadar air sebenarnya yang terjadi di lapangan pada sepanjang tahun. Interval variasi kadar air yang terjadi pada sepanjang tahun didapatkan dari data sekunder yang berupa hasil pengujian tanah di Laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Kristen Petra.

4. Hasil dan Analisis

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian karakteristik fisik semua contoh tanah yang diambil dari lima lokasi yang berbeda di Surabaya. Sebagai dasar untuk menentukan besar variasi kadar air yang terjadi, dilakukan pengumpulan data sekunder dari Laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Kristen Petra. Data sekunder berupa data kadar air tanah di beberapa lokasi di Surabaya Timur dan Selatan pada sepanjang tahun. Data kadar air yang digunakan pada penelitian ini ditentukan pada kedalaman sekitar 1 sampai 2 meter dari permukaan tanah. Variasi kadar air yang didapatkan pada sepanjang tahun ditunjukkan pada Gambar 2, dimana nilai kadar air berkisar antara 36% sampai dengan 72 %.

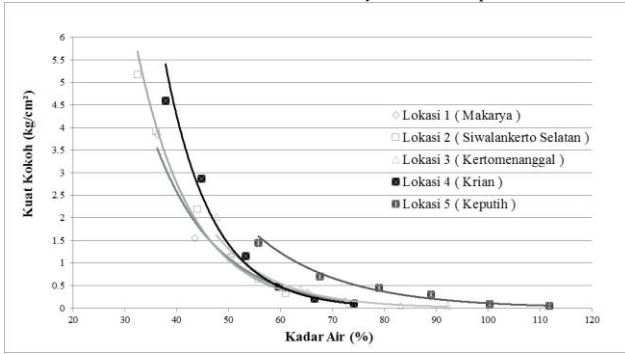
Tabel 1. Karakteristik contoh tanah pada kondisi awal

Lokasi	Kadar Air (%)	Berat Spesifik	Butiran Halus (%)
Makarya	72,46	2,61	82,41
Siwalankerto Selatan	61,09	2,63	91,92
Kertomenanggal	92,28	2,64	93,92
Krian	74,17	2,66	96,42
Keputih	111,85	2,58	76,52



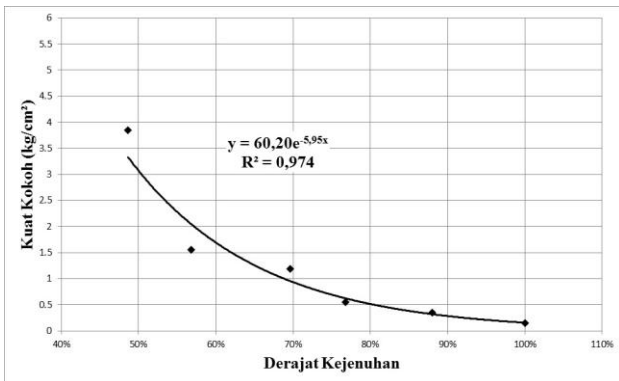
Gambar 2. Variasi kadar air pada beberapa lokasi di Surabaya Timur dan Selatan di sepanjang tahun

Berdasarkan variasi kadar air yang terjadi di lapangan, dilakukan variasi kadar air pada contoh tanah yang diambil. Variasi kadar air yang dilakukan berupa pengurangan kadar air tanah sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari kadar air awal. Variasi kadar air terhadap kuat kokoh tanah pada lima lokasi dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil variasi kadar air yang dilakukan, menunjukkan adanya perubahan kuat kokoh tanah. Hasil yang terlihat menunjukkan bahwa semakin rendah kadar air dan saat kadar air tanah mendekati batas plastis, terjadi peningkatan kuat kokoh tanah yang signifikan secara eksponensial. Hal ini disebabkan karena tanah mengalami perubahan dari fase plastis menjadi fase semi padat.

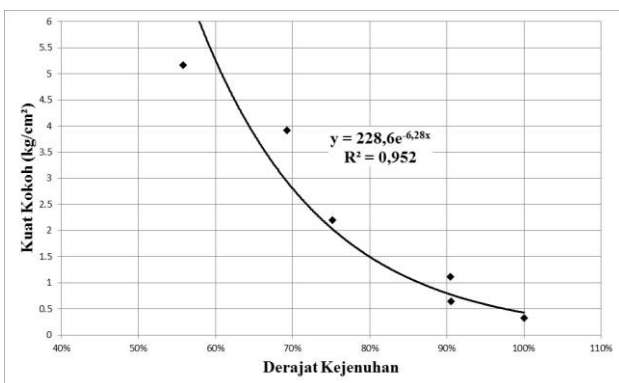


Gambar 3. Fluktuasi kuat kokoh akibat variasi kadar air

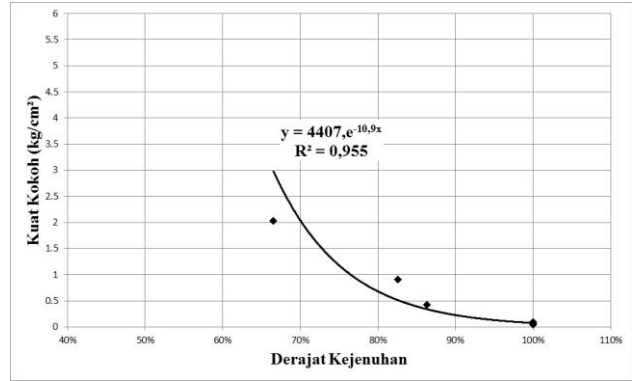
Variasi kadar air juga berdampak pada derajat kejenuhan tanah. Proses pengeringan mengakibatkan penurunan derajat kejenuhan tanah yang pada akhirnya akan meningkatkan kuat kokoh tanah. Hubungan antara derajat kejenuhan dan kuat kokoh tanah pada kelima lokasi dapat dilihat pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 8. Hubungan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan eksponensial dengan nilai R^2 lebih besar dari 0.95.



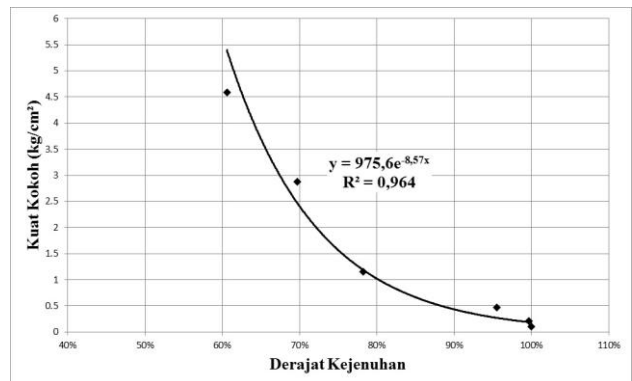
Gambar 4. Peningkatan kuat kokoh akibat penurunan derajat kejenuhan pada lokasi 1



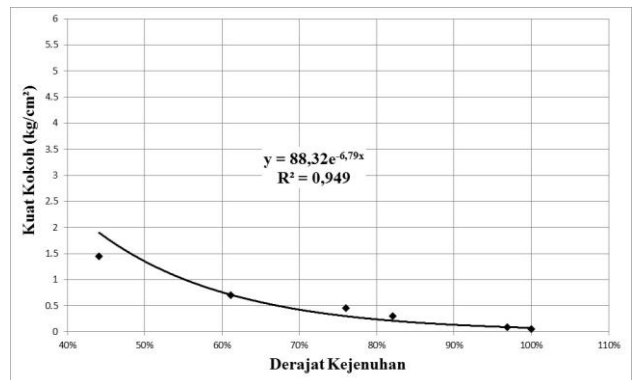
Gambar 5. Peningkatan kuat kokoh akibat penurunan derajat kejenuhan pada lokasi 2



Gambar 6. Peningkatan kuat kokoh akibat penurunan derajat kejenuhan pada lokasi 3



Gambar 7. Peningkatan kuat kokoh akibat penurunan derajat kejenuhan pada lokasi 4



Gambar 8. Peningkatan kuat kokoh akibat penurunan derajat kejenuhan pada lokasi 5

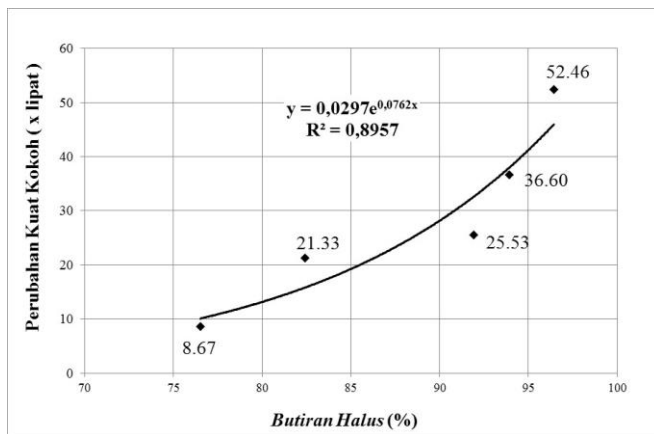
Berdasarkan rentang variasi kadar air yang didapatkan pada sepanjang tahun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, kuat kokoh tanah pada saat kadar air 36% dan 72% di setiap lokasi dapat diprediksi dari grafik pada Gambar 3. Besar perubahan kuat kokoh tanah akibat variasi kadar air dari 36% ke 72% pada setiap lokasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perubahan kuat kokoh tanah akibat variasi kadar air

Lokasi	Persentase Butiran halus	Kuat kokoh saat kadar air 72%	Kuat kokoh saat kadar air 36%	Perubahan nilai kuat kokoh tanah (x lipat)
		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	
Makarya	82	0.17	3.57	21.33
Siwalankerto Selatan	92	0.19	4.88	25.53
Kertomenanggal	94	0.08	2.97	36.60
Krian	96	0.13	6.66	52.46
Keputih	77	0.63	5.43	8.67

Pada lima lokasi pengambilan contoh tanah, masing-masing lokasi memiliki nilai persentase butiran halus yang berbeda-beda. Nilai persentase butiran ini dapat mempengaruhi besarnya perubahan kuat kokoh tanah yang terjadi. Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa seiring dengan peningkatan persentase butiran halus, maka kemungkinan terjadinya perubahan kuat kokoh tanah akan semakin besar. Pada rentang perubahan kadar air yang sama yaitu 36%, tanah lempung dengan nilai persentase butiran halus kurang dari 80%, mengalami perubahan kuat kokoh tanah delapan kali lipat. Sedangkan tanah lempung dengan nilai persentase butiran halus lebih dari 95%, mengalami perubahan kuat kokoh tanah mencapai lima puluh kali lipat.

Semakin tinggi nilai persentase butiran halus, maka kadar lempung pada tanah tersebut semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan karena tanah lempung terbentuk dari partikel-partikel tanah yang berbentuk lembaran yang dapat menyerap air. Perilaku tanah lempung sangat rentan terhadap penambahan atau pengurangan kadar air. Beberapa lempung sangat sensitif terhadap gangguan, sehingga akan terjadi perubahan nilai kuat geser akibat terganggunya struktur asli tanah.



Gambar 9. Hubungan antara Persentase Butiran Halus dan Perubahan Kuat Kokoh Tanah

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bagian di atas, penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan. Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada saat terjadi perubahan kondisi tanah dari kondisi jenuh menjadi tidak jenuh, kuat kokoh tanah meningkat dengan signifikan. Dari penelitian ini didapatkan hubungan antara kuat kokoh, kadar air dan derajat kejenuhan yang dinyatakan berupa persamaan - persamaan dengan nilai R² lebih besar dari 0.95.
2. Pada rentang perubahan kadar air yang sama yaitu sebesar 36%, tanah lempung dengan nilai persentase butiran halus kurang dari 80% mengalami perubahan kuat kokoh tanah delapan kali lipat. Sedangkan tanah lempung yang memiliki nilai persentase butiran halus lebih dari 95%, perubahan kuat kokoh tanah yang terjadi mencapai lima puluh kali lipat. Hubungan antara persentase butiran halus dan perubahan kuat kokoh tanah (Δq_u) pada penelitian ini dapat dinyatakan dalam persamaan $y = 0,0297e^{0,0762x}$, dimana:
 - x = persentase butiran halus
 - y = perubahan kuat kokoh tanah (Δq_u)

6. Ucapan Terimakasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Michael Henry Goenawan dan Joedy Harto Pinasto yang telah membantu dan mendukung proses pengumpulan data pada penelitian ini.

7. Daftar Pustaka

Bowles J.E. (1984). Physical and Geotechnical Properties of Soil. McGraw-Hill, Inc.

Das B.M. (1999). Principles of Geotechnical Engineering. California : PWS Publishing.

Indarto. (2008). "Drying and Wetting Cyclus against Foundation Failure", Proceedings of HATTI Seminar, Bandung.

Shayea N.A. (2001). "The Combined Effect of Clay and Moisture Content on the Behavior of Remolded unsaturated Soils". Engineering Geology, 62, 319-342.

Tjandra, D., Indarto, Soemitro, R. A. A. (2015). "Effect of Drying-Wetting Process on Friction Capacity and Adhesion Factor of Pile Foundation in Clayey Soil". Jurnal Teknologi, 77(11), 145-150.

Tjandra, D., Indarto, Soemitro, R. A. A. (2015). "Behavior of Expansive Soil under Water Content Variation and Its Impact to Adhesion Factor on Friction Capacity of Pile Foundation". International Journal of Applied Engineering Research, 10(18), 38913-38917.

Tjandra, D., Indarto, Soemitro, R. A. A. (2013). "The Effect of Water Content Variation on Adhesion Factor of Pile Foundation in Expansive Soil". Civil Engineering Dimension Journal, 13(2), 114-119.

Tjandra, D., Indarto, Soemitro, R. A. A. (2014). "The Influence of Water Content Variations on Friction Capacity of Piles in Expansive Soil". International Journal of ICT-aided Architecture and Civil Engineering, 1(1), 31-40.

Yalcin A. (2011). "A Geotechnical Study on the Landslides in the Trabzon Province, NE, Turkey". Applied Clay Science, 52, 11-19.