

KUAT GESER TAK TERALIR TANAH TEREMAS MENGGUNAKAN FALL CONE PENETROMETER

Budijanto Widjaja¹, Aglentia Dwifitri¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung 40141 Telp 022 2033691 Ext 445
Email: geotek.gw@gmail.com

Abstrak

Kuat geser tanah teremas (*remolded shear strength*) adalah salah satu parameter yang penting di dalam aplikasi geoteknik. Nilai ini kadangkala sangat dibutuhkan di dalam membuat keputusan penting dari sebuah perencanaan yang disebabkan oleh kurangnya data dan/atau kurang baiknya ketersediaan data tanah yang ada sehingga para perencana geoteknik dapat menggunakan nilai tersebut sebagai nilai batas bawah dari kondisi tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*). Selain itu, nilai ini dapat juga digunakan sebagai salah satu parameter penting di dalam simulasi pergerakan tanah yang dikenal dengan *mudflow*. Untuk itu, penelitian ini menggunakan kaolin. Tanah kaolin diklasifikasikan sebagai tanah lanau berplastisitas tinggi. Alat yang digunakan adalah berupa *fall cone penetrometer* yang umum digunakan untuk penentuan batas cair. Kekuatan tanah dapat ditentukan dari penetrasi konus dengan berat 80 g dan sudut 30°. Jadi, kekuatan tanah merupakan fungsi dari penterasi konus dan berat konus. Namun, formula yang digunakan dapat digunakan juga untuk variasi kadar air tertentu. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui trend kuat geser tanah teremas dari tanah kaolin menggunakan turunan rumus dari *fall cone penetrometer*. Setelah itu, tanah diukur besarnya penetrasi konus dengan menggunakan *fall cone penetrometer*. Dengan pencatatan penetrasi pada setiap kadar air yang telah ditentukan, kuat geser tanah dapat dihitung. Berdasarkan hasil penetrasi tersebut, ternyata trend kadar air (dan indeks kecairan) terhadap kuat geser relatif membentuk kurva cekung untuk kedua jenis tanah tersebut. Pada saat batas cair, nilai kuat geser tanah teremas sebesar 2.6 kPa. Hasil ini menunjukkan hubungan yang serupa dengan penelitian yang telah ada. Implementasi dari hasil penelitian ini adalah untuk menyediakan database nilai *yield stress* (atau kuat geser tanah tak teremas) selain nilai viskositas yang berguna untuk simulasi transportasi *mudflow*.

Kata kunci: batas plastis; kadar air; batas cair; *fall cone penetrometer*; kuat geser tanah teremas

Pendahuluan

Kuat geser tanah teremas (*remolded shear strength*) adalah salah satu parameter yang penting di dalam aplikasi geoteknik. Nilai ini kadangkala sangat dibutuhkan di dalam membuat keputusan penting dari sebuah perencanaan yang disebabkan oleh kurangnya data dan kurang baiknya ketersediaan data tanah yang ada. Oleh karena itu, para perencana geoteknik dapat menggunakan nilai tersebut sebagai nilai batas bawah dari kondisi tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*). Selain itu, nilai ini dapat juga digunakan sebagai salah satu parameter penting di dalam simulasi pergerakan tanah yang dikenal dengan *mudflow*.

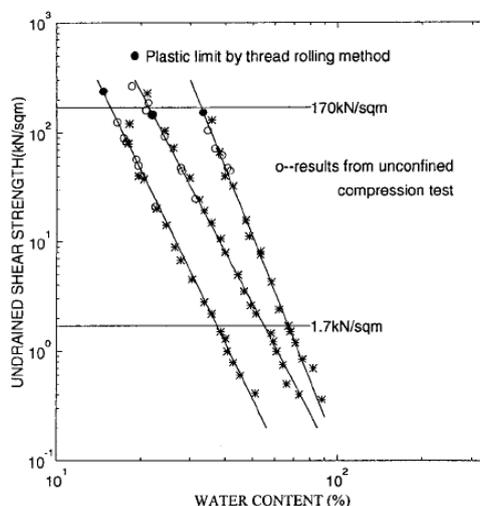
Penelitian ini menggunakan tanah kaolin yang diuji menggunakan *fall cone penetration test* (atau *fall cone penetrometer*). Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui efek persiapan sampel dengan dua cara yaitu dikompaksi dan dioles terhadap kuat geser teremas tanah dan untuk mengetahui kuat geser teremas pada saat batas cair (LL). Sharma dan Bora (2003) melakukan penelitian untuk mengetahui hubungan logaritma antara kadar air dan kuat geser *undrained* untuk tanah yang tidak mengembang (Gambar 1). Hubungan logaritmik tersebut adalah linier antara kuat geser dan kadar air.

Metode Penelitian

Penentuan nilai kuat geser *undrained* teremas (c_u) dengan menggunakan *fall cone penetrometer* dapat menggunakan rumus berikut dari Houlsby (1982):

$$c_u = k \frac{mg}{d^2} \quad (1)$$

di mana c_u adalah kuat geser *undrained* (kPa), m adalah berat konus (80 g), g adalah percepatan gaya gravitasi bumi (9.81 m/s^2), d adalah kedalaman penetrasi (mm), dan k adalah konstanta yang bergantung pada sudut konus. Penentuan nilai k untuk konus dengan kemiringan 30° dan berat 80 g yaitu sebesar 1.33 (Houlsby, 1982).



Gambar 1: Hubungan tipikal antara kuat geser *undrained* dan kadar air (Sharma and Bora, 2003)

Untuk persiapan sampel kaolin ini, sampel disiapkan dengan dua cara yang berkesinambungan seiring dengan peningkatan kadar air. Cara pertama adalah dengan melakukan pemadatan tanah dengan cara dikompaksi. Alat kompaksi yang digunakan memiliki berat *hammer* dan tinggi jatuh masing-masing sebesar 539 g dan 24 cm. Jumlah pukulan yaitu 30, 40, dan 50 pukulan per lapis dengan jumlah lapisan 2 lapis. Untuk penyiapan sampel, digunakan *mold* kompaksi yang seukuran dengan diameter sampel *fall cone penetrometer* yaitu berdiameter 7.15 cm dan tinggi 4.45 cm (belum termasuk *collar*). Cara kedua dilanjutkan jika metode kompaksi sudah tidak dapat dilakukan karena sampel sudah terlalu basah dan sulit dikompaksi. Cara yang digunakan adalah dengan cara pengolesan (standar penyiapan sampel untuk *fall cone penetrometer*).

Kaolin memiliki batas plastis (*PL*) sebesar 38 dan batas cair (*LL*) sebesar 68 (Tabel 1). *LL* diperoleh dari uji Casagrande. Berat jenis (G_s) sebesar 2.61. Klasifikasi tanah ini adalah lanau berplastisitas tinggi (*MH*) dengan persentase butir halus 97.7%.

Tabel 1. Parameter tanah

Sampel	<i>LL</i>	<i>PL</i>	<i>PI</i>	G_s	Jenis tanah
Kaolin	68	38.45	29.55	2.61	<i>MH</i>

Catatan: *LL* adalah batas cair, *PL* adalah batas plastis, *PI* adalah indeks plastisitas, dan G_s adalah berat jenis.

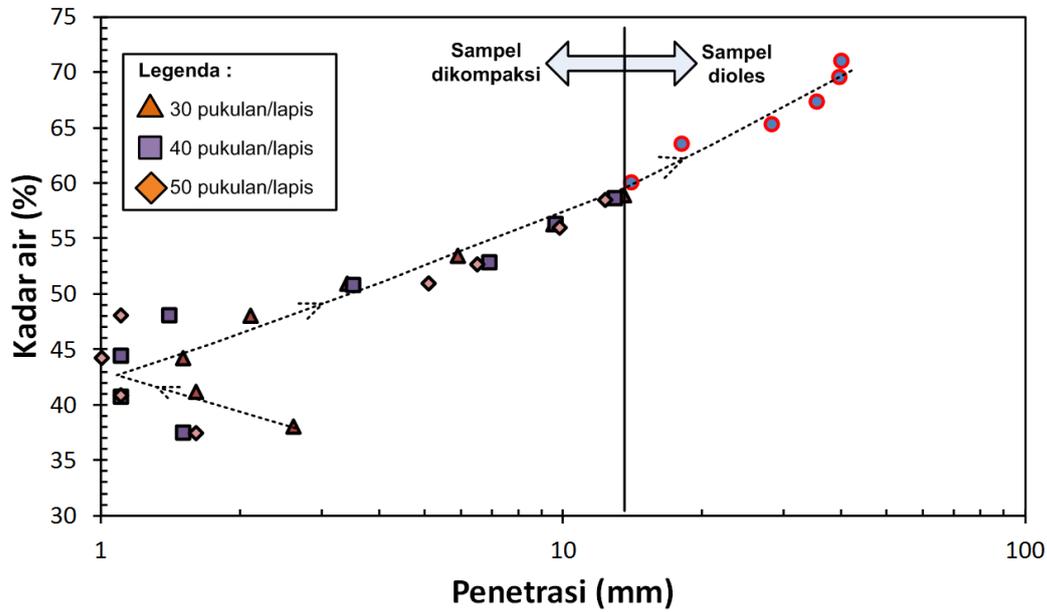
Hasil Penelitian dan Diskusi

Dengan membuat variasi kadar air dan sampel disiapkan dengan dua cara seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya. Berdasarkan hasil ini, sesuai dengan Gambar 2, kaolin dapat disiapkan dengan cara dikompaksi untuk rentang kadar air antara 38% hingga 58%. Namun, setelah itu, karena kadar air sudah cukup basah dan masih berada di dalam kondisi plastis, dan makin mendekati batas cair (*LL*), cara kedua berupa pengolesan (metode standar) diaplikasikan.

Kadar air setiap sampel ditingkatkan dari 38% secara bertahap. Jika diperhatikan misalnya menggunakan sampel yang disiapkan dengan kompaksi 30 pukulan per lapis (lihat garis putus-putus dengan arah panah pada Gambar 2), pada awalnya penetrasi adalah sebesar 2.3 mm, kemudian seiring dengan peningkatan kadar air hingga 44%, penetrasi mengalami reduksi. Kemudian, peningkatan kadar air diikuti oleh peningkatan penetrasi. Trend ini diikuti oleh sampel yang disiapkan dengan jumlah pukulan yang berbeda. Hal ini kemungkinan besar berkaitan erat dengan perubahan struktur tanah dari terflokulasi menjadi dispersif akibat tanah yang dikompaksi. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian Rajapakse (2008), Hilf (1975), Huder (1964), dan Bayer et al. (1972). Hasil serupa dapat dilihat juga pada Gambar 5. Berdasarkan Bayer et al. (1972) dan Widjaja dan Santoso (2014), nilai balik tersebut kemungkinan besar berhubungan erat dengan penentuan nilai batas plastis (*PL*).

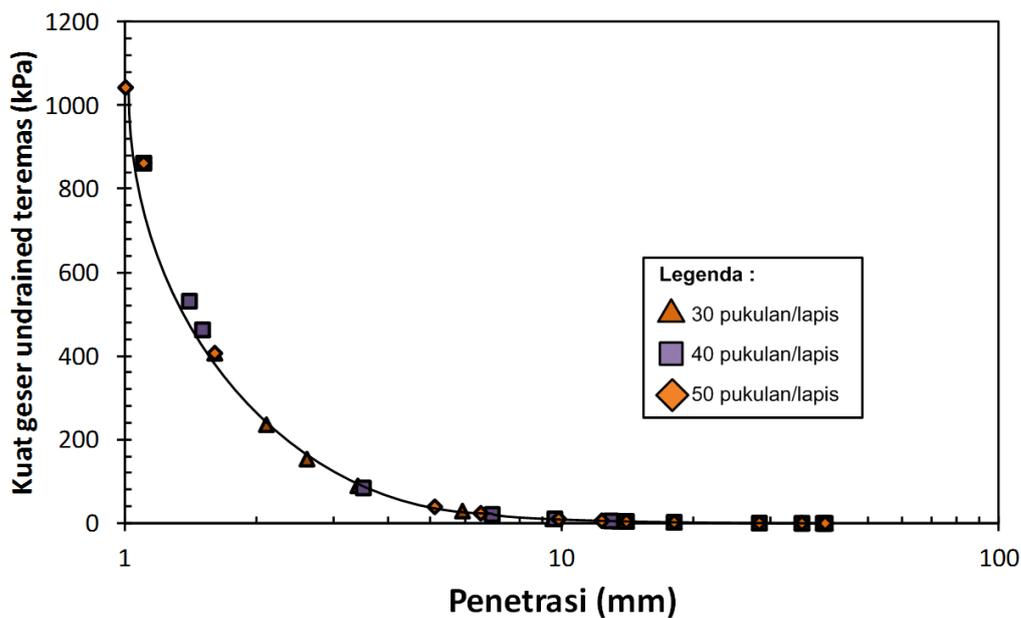
Peningkatan kadar air dari sampel-sampel yang dikompaksi dapat dikatakan berjalan pada satu kurva yang sama setelah kadar air (w) di atas 48% (Gambar 2). Setelah itu, kurva ini pun dilanjutkan dengan baik untuk sampel yang dioles.

Gambar 2 menunjukkan juga bahwa sampel yang disiapkan dengan cara dioles adalah baik digunakan untuk penentuan LL . Jika diperhatikan pada sampel kaolin, penetrasi minimal adalah 12 mm. Sesuai dengan standar penentuan LL , interval ini masih berada pada penetrasi 20 mm.



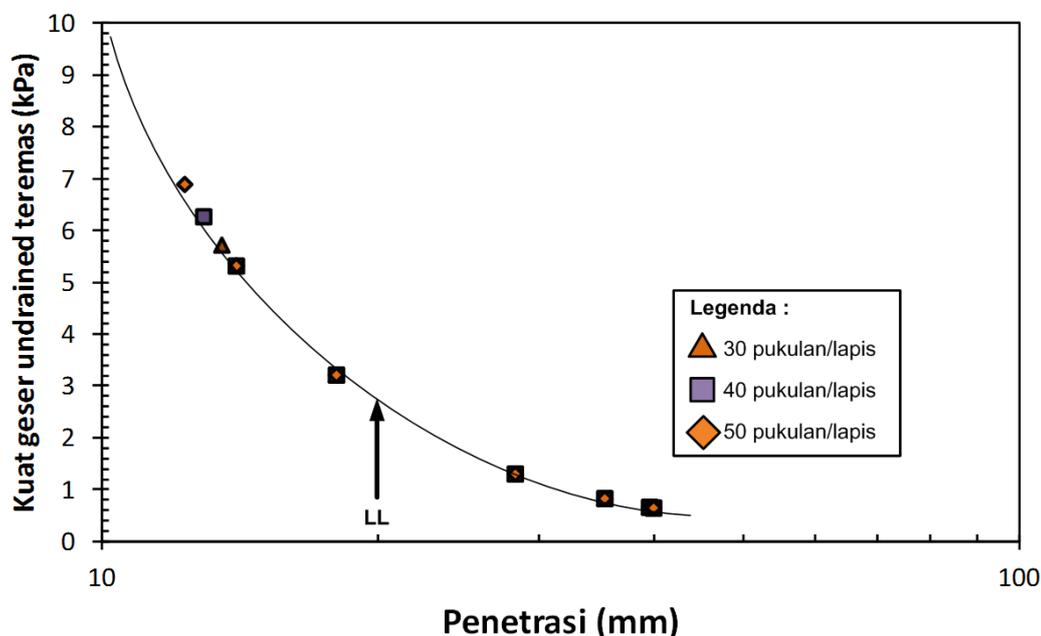
Gambar 2: Hubungan kadar air dan penetrasi kaolin

Dengan menggunakan persamaan 1, hubungan kuat geser *undrained* teremas (c_u) dan penetrasi dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Secara definisi, nilai c_u pada saat LL adalah kadar air (w) yang berhubungan erat dengan penetrasi 20 mm. Hubungan ini relatif cukup halus dengan bentuk kurva cekung. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai c_u adalah 2.6 kPa. Hasil ini cukup konsisten dengan Casagrande (1932) di mana nilai c_u rata-rata untuk kondisi LL adalah 2.65 kPa. Mengacu kepada definisi di atas, LL dari *fall cone penetrometer* adalah sebesar 64 (lebih rendah 4% dibandingkan LL dari uji Casagrande). Untuk selebihnya, LL yang digunakan pada analisis berikutnya adalah sebesar 64.



Gambar 3: Hubungan kuat geser undrained teremas dan penetrasi fall cone penetrometer

Bila batasan *LL* yang digunakan adalah saat penetrasi 20 mm maka kuat geser *undrained* dapat dipisah menjadi dua zona (Gambar 4) yaitu kondisi plastis ($w < LL$) dan kondisi *viscous liquid* ($w \geq LL$). Trend ini serupa dengan hasil penelitian menggunakan *flow box test* (Widjaja dan Lee, 2013). Dalam hal ini, seolah-olah pada kondisi plastis diwakili oleh garis yang lebih curam sedangkan pada kondisi *viscous liquid*, diwakili oleh garis yang lebih landai.



Gambar 4: Hubungan kuat geser undrained teremas di bawah 10 kPa dan penetrasi fall cone penetrometer

Hubungan antara geser *undrained* teremas (c_u) dan kadar air (w) dapat dilihat pada Gambar 5. Kuat geser *undrained* teremas tertinggi pada sampel yang dikompaksi (untuk w di bawah 58%) menunjukkan bahwa terdapat satu nilai w dengan c_u maksimum yaitu pada saat w sebesar 44%. Baver et al. (1972) dan Widjaja dan Santoso (2014) menunjukkan bahwa titik ini adalah berhubungan erat dengan nilai batas plastis (*PL*) dan merupakan area kadar air optimum (w_{opt}) jika menggunakan metode kompaksi Proctor standar. Namun, nilai c_u kaolin pada penelitian ini berada dalam rentang 300 kPa – 1000 kPa untuk tanah-tanah yang dikompaksi (modifikasi). Hasil ini lebih tinggi daripada nilai c_u teoritis untuk *PL* (170 kPa). Pada penelitian ini, *PL* dengan cara ASTM adalah 38 dari tanah teremas.

Untuk w di bawah 50%, jika menggunakan pendekatan di atas, kadar air optimum adalah 44%. Oleh karena itu, pada kadar air optimum, tanah memiliki kekuatan geser tertinggi atau dengan kata lain memiliki juga kekakuan (*stiffness*) tertinggi. Dengan demikian, karena kekakuan yang tinggi, tanah akan mengalami penurunan tanah yang terkecil dibandingkan tanah di daerah *dry* dan *wet side* (dari kurva kompaksi).

Untuk sampel yang dioles, hasil pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa pada saat w lebih tinggi dari *LL*, gradien kurva menjadi lebih landai dibandingkan dengan w yang lebih rendah dari *LL*. Jika kedua sumbu menggunakan skala log maka trend antara c_u dan w menjadi linier (Gambar 6) seperti hasil Sharma dan Bora (2003). Gambar 5 memperlihatkan hasil yang lebih jelas dibandingkan Gambar 6 bahwa ada perbedaan perubahan kekuatan tanah terutama di atas batas cair dan hasilnya konsisten dengan hasil Widjaja dan Lee (2013).

Kesimpulan

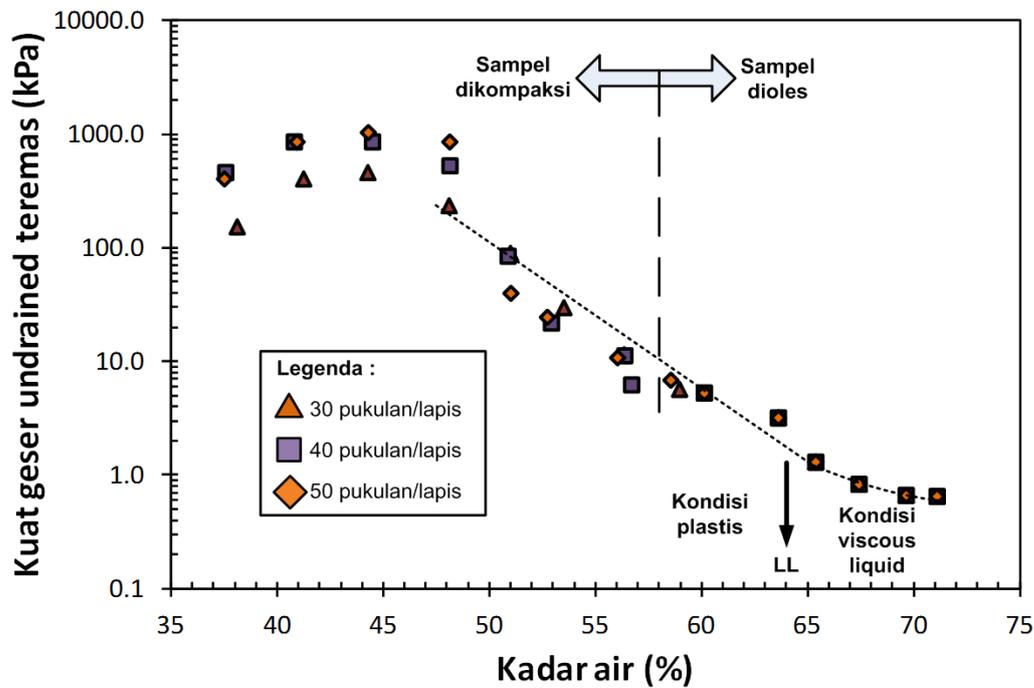
Metode persiapan sampel dengan cara dikompaksi dan dioles mempengaruhi hasil antara kadar air dan penetrasi konus *fall cone penetrometer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk penetrasi konus di atas 10 mm, sampel dapat disiapkan dengan cara dioles. Sebaliknya penetrasi di bawah 10 mm menunjukkan karakteristik tanah yang dikompaksi. Karakteristik yang dimaksud adalah terdapat kuat geser maksimum untuk kadar air 44%. Hasil ini menunjukkan hasil yang serupa dengan penelitian yang telah ada.

Pada kondisi batas cair, kuat geser teremas tanah kaolin adalah 2.6 kPa. Hasil ini cukup dekat dengan Casagrande (1932) yaitu sebesar 2.65 kPa.

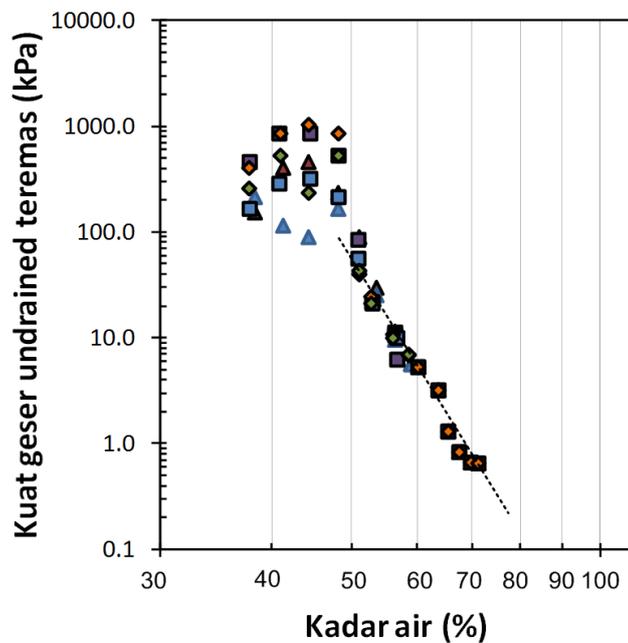
Pada saat kadar air di bawah batas cair (kondisi plastis), hubungan antara kuat geser tanah teremas dan kadar air memiliki gradien garis yang lebih tinggi dibandingkan dengan kadar air di atas batas cair (kondisi *viscous liquid*).

Hal ini menunjukkan bahwa reduksi kekuatan tanah cenderung lebih rendah jika dibarengi dengan peningkatan kadar air.

Batas cair yang ditentukan dengan cara Casagrande dan *fall cone penetrometer* masing-masing adalah 68 dan 64. Pada cara Casagrande, perbedaan dapat disebabkan karena hasil sangat dipengaruhi oleh pengalaman operator. Menurut Head (1992), metode ini cukup baik digunakan untuk kadar air di atas 100%. Sedangkan, *fall cone penetrometer* lebih baik digunakan untuk kadar air di bawah 100%.



Gambar 5: Hubungan kuat geser *undrained* teremas dan kadar air



Gambar 6: Hubungan kuat geser *undrained* teremas (skala log) dan kadar air (skala log)

Daftar Notasi

c_u	= kuat geser <i>undrained</i> (kPa)
d	= kedalaman penetrasi konus (mm)
g	= percepatan gaya gravitasi bumi (9.81 m/s ²)
m	= berat konus (80 g)
k	= konstanta yang bergantung pada sudut konus <i>fall cone penetrometer</i>
w	= kadar air (%)
w_{opt}	= kadar air optimum (%)
G_s	= berat jenis
LL	= batas cair
MH	= lanau berplastisitas tinggi
PI	= indeks plastisitas
PL	= batas plastis

Daftar Pustaka

- Baver, L. D., Gardner, W.H. and Gardner, W.R. (1972), "Soil Physics", 4th ed., John Wiley & Sons, New York.
- Casagrande, A. (1932), "Research on the Atterberg Limits of Soils", *Public Roads*. 13(8): 121 – 130.
- Head, K.H.(1992), "Manual of Soil Laboratory Testing", Volume I, Pentech Press, London.
- Hilf, J.W. (1975), "Compacted Fill", Chapter 7 in Winterkon, H.F., and Fang, H.Y., *Foundation Engineering Handbook*, Van Nostrand Reinhold, pp. 244-311
- Houlsby, G. T. (1982), "Theoretical Analysis of the Fall Cone Test", *Geotechnique* Vol. 38(3), pp. 433-438.
- Huder, J. (1964), "Die Zusammen-druckbarkeit des Bodens und deren Bestimmung (The compressibility of the soil and their determination)", *Schweizerische Bauzeitung*, Heft 41
- Rajapakse, R. (2008), "Geotechnical engineering calculations and rules of thumb", Butterworth Heinemann, Maryland, USA.
- Sharma, B. and P.K. Bora. (2003), "Plastic limit, liquid limit and undrained shear strength of soil – reappraisal", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, pp. 774 – 777.
- Widjaja, B. dan Santoso, R. (2014), "Studi eksperimental kuat geser tanah di sekitar batas plastis ", *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW)*, ITS, Surabaya
- Widjaja, B. dan S.H.H., Lee. (2013), "Flow box test for viscosity of soils in plastic and viscous liquid state", *Soils and Foundations* Vol. 53 No. 1