

PERILAKU CLAY SHALE TERHADAP KUAT GESER RESIDUAL PADA LOKASI BANYUMENENG, PENAWANGAN, DAN WONOSEGORO

Anindya Yusuf, Idham Dio, Siti Hardiyanti^{*)}, Kresno Wikan S.^{*)}

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Bencana longsor pada daerah Manyaran, Semarang merupakan salah satu potensi bencana dari *Clay Shale*. *Clay Shale* adalah sedimen berbutir halus yang terbentuk dari konsolidasi mineral lempung. Untuk menangani longsor dilakukan penelitian terhadap *Clay Shale* sehingga mengetahui parameter sudut geser residualnya. Daerah penelitian yaitu Desa Banyumeneng Kabupaten Demak, Desa Penawangan Kabupaten Grobogan, dan Desa Wonosegoro Kabupaten Boyolali termasuk material *Clay Shale*. Hasil analisis pengujian geser langsung didapatkan nilai sudut geser residual efektif (ϕ'_r) Sampel Wonosegoro $12,82^\circ$ dengan nilai *Liquid Limit* 49; Sampel Penawangan $9,69^\circ$ dengan *Liquid Limit* 54, dan Sampel Banyumeneng $8,98^\circ$ dengan *Liquid Limit* 60. Jika hasil sudut geser residual dan *Liquid Limit* di plot dalam grafik Stark (1994) didapat hasil yang memuaskan karena mendekati hasil pengujian dari *Stark*. Uji pengembangan bebas dilakukan untuk mengetahui persentase *Swelling* pada *Clay Shale*, didapatkan nilai persentase sebesar 10-25%. Hubungan korelasi dalam penelitian diperoleh dari hasil pengujian *Properties Index*, pengujian *Direct Shear* dalam parameter kuat geser residual serta pengujian pengembangan bebas dalam parameter *Free Swell Index* (FSI) dapat digunakan sebagai bahan referensi dalam perencanaan geoteknik.

Kata kunci: *Clay Shale*, Pengembangan Bebas, Geser Langsung

ABSTRACT

The landslide disaster in Manyaran, Semarang is one of the potential disasters of Clay Shale, Clay Shale is a fine-grained sediment formed from Clay mineral consolidation. To handle the landslide conducted research on Clay Shale to know the parameters of residual shear angle. The research areas consist of Banyumeneng Village in Demak District, Penawangan Village in Grobogan District, and Wonosegoro Village in Boyolali District including Clay Shale material. The result of Direct Shear testing analysis obtained effective residual shear angle value (ϕ'_r) of Wonosegoro sample $12,82^\circ$ with Liquid Limit 49; Penawangan sample $9,69^\circ$ with Liquid Limit 54, and Banyumeneng $8,98^\circ$ with Liquid Limit 60. If the result of residual sliding angle and Liquid Limit plot in to the graph by Stark (1994) obtained a satisfactory result as it approached the test results from Stark. A

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

Free Swell Test is performed to know the percentage of swelling on residual Clay Shale, obtained percentage value of 10-25%. The correlation in the research was obtained from the results of Property Index testing, Direct Shear test used for residual shear strength parameter and Free Swell test in the Free Swell Index (FSI) parameter used as reference for geotechnical engineering

Keywords: *Clay Shale, Free Swell, Direct Shear*

PENDAHULUAN

Clay Shale ini tersusun dari mineral mineral lempung yang mempunyai karakter kembang susut yang besar apabila terjadi perubahan kadar air. Tanah akan mengembang (*Swelling*) pada kondisi basah dan akan menyusut (*Shrinkage*) pada kondisi kering. Keberadaan *Clay Shale* sangat tidak stabil meskipun berada pada kontur yang datar. Hal ini memunculkan banyak masalah geoteknik pada perencanaan struktur bangunan. Salah satunya adalah bencana longsor di daerah Manyaran, Semarang. Untuk menangani kelongsoran dilakukan penelitian terhadap *Clay Shale* untuk mengetahui sudut geser residualnya sehingga dapat dilakukan pencegahan. Dari penelitian Stark (1994) disebutkan bahwa sudut geser residual dipengaruhi parameter *Liquid Limit*. Stark mengambil sampel dari berbagai daerah di Amerika untuk di teliti. Seiring dengan banyaknya permasalahan yang terjadi pada *Clay Shale* di Indonesia maka dilakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui karakteristik dan perilaku *Clay Shale* yang diperlukan dalam menindaklanjuti permasalahan kelongsoran. Pengujian ini akan dilaksanakan dengan mengambil beberapa sampel benda uji dari lokasi yang berbeda-beda yaitu Wonosegoro, Penawangan dan Banyuwening dengan tujuan untuk mengetahui nilai sudut geser residual tiap lokasi lalu dihubungkan dengan hasil percobaan lain yaitu *Atterberg Limit (Liquid Limit, Plastic Limit, Plasticity Index)* dan *Free Swell Test*.

TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan peta geologi lembar Magelang - Semarang Thaden. et. al. (1996), susunan stratigrafi daerah penelitian yang berupa perbukitan dengan lereng-lereng curam dengan kondisi geologi yang berupa litologi berbeda-beda dan keterdapatan struktur geologi di daerah tersebut berpotensi gerakan massa dapat terjadi. Faktor yang mempengaruhi terjadinya gerakan tanah adalah struktur geologi, sifat batuan, hilangnya perekat tanah karena proses alami atau pelarutan. Struktur geologi yang mempengaruhi terjadinya gerakan tanah adalah kontak batuan dasar dengan pelapukan batuan, retakan atau rekahan, perlapisan batuan, dan patahan.

Klasifikasi Batuan

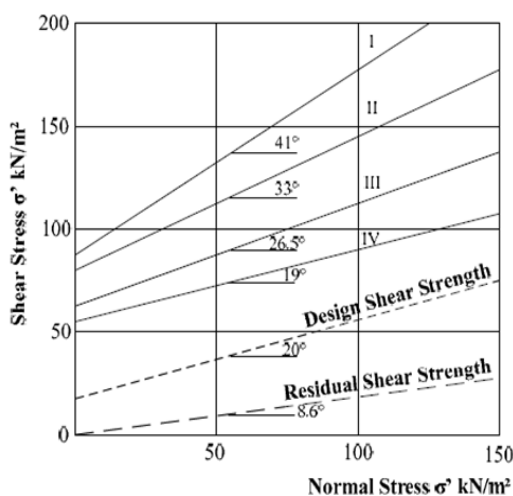
Sama halnya dengan tanah, batuan juga memiliki sistem klasifikasi tersendiri. Batuan juga memiliki bentuk, warna, karakter dan susunan mineral penyusun yang beragam. Selain itu, sistem pengklasifikasian batuan lebih kompleks dari klasifikasi tanah. Pada klasifikasi batuan umumnya lebih menggunakan analisa mineral dan *Ganesa* atau sejarah terbentuknya. Berdasarkan pembentukannya, batuan terbagi menjadi 3 (tiga) kelompok besar menurut Zhang (2010) yaitu: *Igneous Rock, Metamorphic Rock* dan *Sedimentary Rock*.

Karakteristik Clay Shale

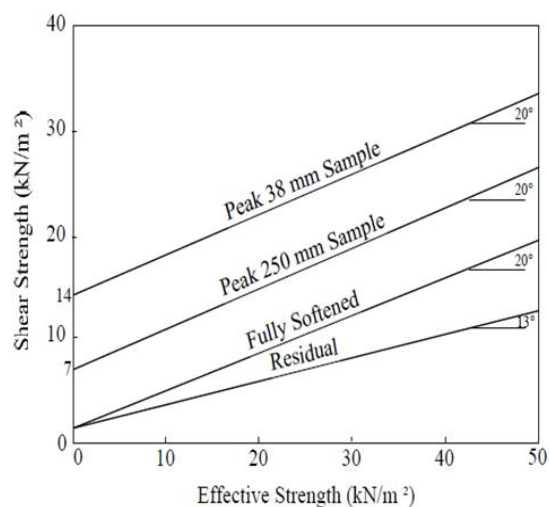
Clay Shale merupakan hasil pelapukan atau transportasi batuan sedimentasi tipe mekanik dengan material penyusun utamanya adalah berukuran lempung. Clay Shale sendiri menjadi terkenal karena sering memunculkan banyak problem geoteknik seperti kesulitan dalam memilih material timbunan, daya dukung pondasi, kestabilan lereng kontruksi bawah tanah dan lain sebagainya. Selain banyak menimbulkan masalah, para pakar kesulitan dalam pengklasifikasiannya, hal ini dikarenakan Clay Shale mempunyai sifat (*Intermediate Behavior*) tanah dan batuan. Hal ini didukung oleh pernyataan Budijanto (2001) bahwa “Clay Shale merupakan material transisi antara tanah dan batuan”. Hal ini yang menyebabkan Clay Shale sangat mudah sekali mengalami penurunan durabilitasnya dan penurunan kuat gesernya (*Strength Degradation*) apabila terekspose langsung oleh perubahan iklim, cuaca dan *Stress Relieve*, sehingga menimbulkan masalah dibidang geoteknik.

Hasil penelitian Gartung (1986) menyimpulkan bahwa jenis tanah ini menunjukkan perilaku *Creep*. *Creep* yang terjadi merupakan proses akibat pelapukan (*Weathering*) yang terjadi dalam jangka waktu yang relatif lama tanah tersebut terekspose. Sehingga kuat geser dan besarnya deformasi sangat tergantung dari waktu sejak mulai terekspose, tingkat pelapukan dan *Stress Relieve* yang terjadi. Besar pengaruh waktu dan tingkat pelapukan terhadap kuat geser untuk perencanaan menurut Gartung dapat ditentukan dengan grafik dalam Gambar 1.

Skempton (1977) melakukan penelitian kuat geser residual tanah Clay Shale pada lereng yang sudah digali atau bisa disebut *Excavation*, dengan menggunakan sampel berdiameter 38 mm dengan pengujian triaksial. Menghasilkan nilai parameter kekuatan puncak dari Clay Shale sebesar $c' = 14 \text{ kN/m}^2$ dan $\phi = 20^\circ$. Sedangkan Sandroni (1977) juga melakukan penelitian yang sama yaitu kuat geser pada tanah Clay Shale dengan ukuran sampel yang lebih besar yaitu 250 mm dengan pengujian triaksial. Mengasilkan nilai kohesi lebih kecil yaitu sebesar $c' = 7 \text{ kN/m}^2$ dan $\phi = 20^\circ$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Kuat Geser Residual
(Sumber: Gartung, 1986)



Gambar 2. Kuat Geser Residual
(Sumber: Skempton, 1977)

Deskripsi dan Klasifikasi Tanah

Craig (2004) mendefinisikan tanah berdasarkan rentang ukuran partikel Tabel 1. Dimana tipe-tipe dasar tanah adalah berangkal (*Boulders*), kerakal (*Cobbles*), kerikil (*Gravel*), pasir (*Sand*), lanau (*Silt*), dan lempung (*Clay*).

Tabel 1. Rentang Ukuran Partikel

Lempung	Lanau			Pasir			Kerikil			<i>Cobbles</i>	<i>Boulders</i>
	Halus	Medium	Kasar	Halus	Medium	Kasar	Halus	Medium	Kasar		
0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60	200	

Sumber Craig, 2044

Sistem klasifikasi digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan satu kondisi fisis tertentu bisa saja mempunyai urutan yang tidak sama jika didasarkan pada kondisi fisis lainnya. Oleh karena itu, sistem klasifikasi telah dikembangkan sesuai dengan maksud yang diinginkan oleh sistem tersebut. Adapun klasifikasi tanah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Sistem Klasifikasi Tanah Inggris
2. Sistem Klasifikasi Tanah USCS
3. Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Karakteristik Geologi Teknik

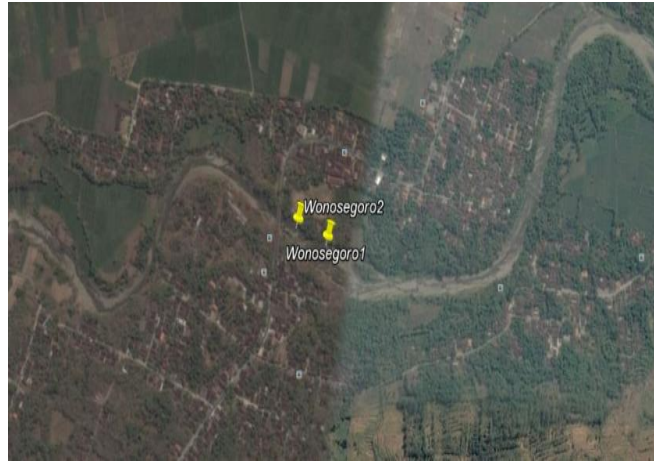
Pada penelitian ini, diaplikasikan dalam sumbangan pemikiran tentang upaya perbaikan tanah. Oleh karena ini dilakukan beberapa pengamatan tentang karakteristik geologi teknik, diantaranya sebagai berikut:

1. Pengujian *Properties Index*
 - a. Pemeriksaan *Atterberg Limit*
 - b. Pemeriksaan Analisis Saringan
 - c. Pemeriksaan Analisis Hidrometer
2. Pengujian *Engineering Properties*
 - a. Pengujian Geser Langsung atau *Direct Shear Test*.
3. Pengujian Lainnya
 - a. Pemeriksaan *Free Swelling*
 $PB = (V' - V) / V \times 100\% \dots\dots\dots(1)$

dimana:
 V' = volume perubahan tinggi
 V = volume tinggi awal

METODOLOGI PENELITIAN

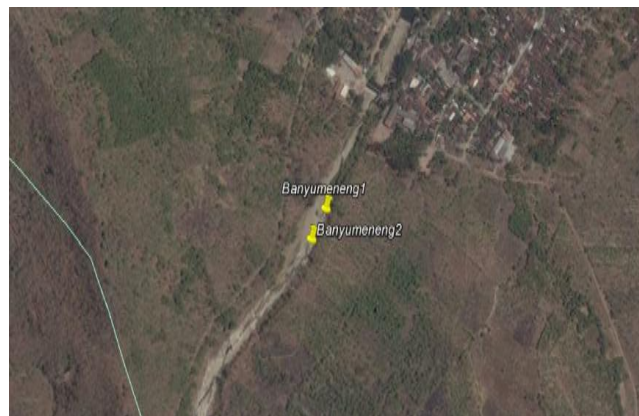
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang dan sampel batuan diambil dari 3 lokasi yang berbeda antara lain



Gambar 3. Lokasi Pengambilan Sampel Wonosegoro



Gambar 4. Lokasi Pengambilan Sampel Penawangan



Gambar 5. Lokasi Pengambilan Sampel Banyumeneng

Dalam hal ini sampel dipersiapkan di lapangan menggunakan sampel tanah/batuan dimana pengambilan langsung dari lapangan untuk mendapatkan sampel *Fresh*. Pengambilan sampel di lapangan dilakukan sesuai kondisi di lapangan atau *Fresh* tanpa dilapisi dengan *Parafin* dan selanjutnya dilakukan pengujian sampel pada kondisi tersebut untuk mengetahui sifat-sifat dasar melalui pengujian *Properties Index* yaitu *Atterberg Limit* (sesuai ASTM D 4318-10e1) untuk mengetahui nilai *Liquid Limit*, *Plastic Limit* dan *Plasticity Index*; *Hydrometer* (sesuai dengan ASTM D 442-63 (2007)e2) dan *Grain Size Analyze* (sesuai dengan ASTM D 4318-10e1) untuk mengetahui distribusi partikel tanah.

Untuk pengujian uji geser langsung terlebih dahulu sampel dikondisikan (*Remoulded*) dengan menggunakan *Standard Proctor* sebanyak 25x tumbukan dengan kadar air sesuai dengan *Plastic Limit* setiap sampel. Jumlah sampel ada 2 untuk tiap lokasi dan sampel telah lolos saringan no. 40. Dari *Mould* sampel di *Extrude* secara manual menggunakan *Ring* dengan diameter 65 mm. Setelah itu sampel di jenuhkan dalam air.

Sebelum di uji geser langsung dilakukan uji konsolidasi terlebih dahulu untuk mengetahui kecepatan geser. Dari hasil uji konsolidasi didapat grafik akar t100. Lalu dicari nilai Tf dimana

$$Tf = 12,7 \times t_{100} \dots \dots \dots (2)$$

Kecepatan pergeseran dihitung berdasarkan perkiraan kegagalan kuat geser terjadi. Dengan menggunakan persamaan

$$\frac{e/L}{100t_f} \text{ mm/minute} \dots \dots \dots (3)$$

dimana L adalah tebal sampel dan tf adalah waktu kegagalan. Setelah itu cocokan dengan kecepatan penggeseran pada alat apabila tidak sesuai ambil yang nilai terkecil.

Dalam melaksanakan pengujian geser langsung kondisi terdrainase (*Drained*) dengan mengacu pada buku K.H. Head (1994) "*Manual of Soil Laboratory Testing Volume 2 Permeability, Shear Strength, Compressibility Test*", digunakan metode *Residual Test Procedure* pada sampel pengujian geser langsung. Penggeseran menggunakan alat *Direct Shear* dengan kecepatan sesuai dari hasil uji konsolidasi tiap sampel. Penggeseran dihentikan apabila telah mencapai deformasi *Horizontal* minimum 15% dari diameter benda uji yaitu 1 cm dari titik awal penggeseran. Ulangi proses penggeseran tersebut pada pembebanan normal 1kg dan 9kg dan masing-masing pembebanan dilakukan sebanyak 3 siklus, diantara siklus diamkan selama 12 jam dalam kondisi sampel tergenang air

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

Pada bagian ini akan disajikan data hasil pengujian di laboratorium. Selanjutnya data-data tersebut (*Properties Index*) dikorelasikan dengan data yang diperoleh dari pengujian *Engineering Test (Direct Shear Test)* untuk melihat hubungan dari data-data *Soil Properties* berupa LL, PI, PL, % fraksi lempung, terhadap parameter efektif kuat geser residual (ϕ'_r) yang diperoleh dari pengujian *Direct Shear* serta pemeriksaan *Free Swelling Test* terhadap sampel.

Properties Index Sampel Wonosegoro, Penawangan dan Banyumeneng

Hasil dari pengujian *Properties Index* yang dilakukan pada benda uji dari titik pengambilan pada Wonosegoro, Penawangan dan Banyumeneng ditampilkan pada Tabel 2. Secara visual, benda uji dapat digolongkan tanah lempung

Tabel 2. Hasil Pengujian *Properties Index* Wonosegoro, Penawangan dan Banyumeneng

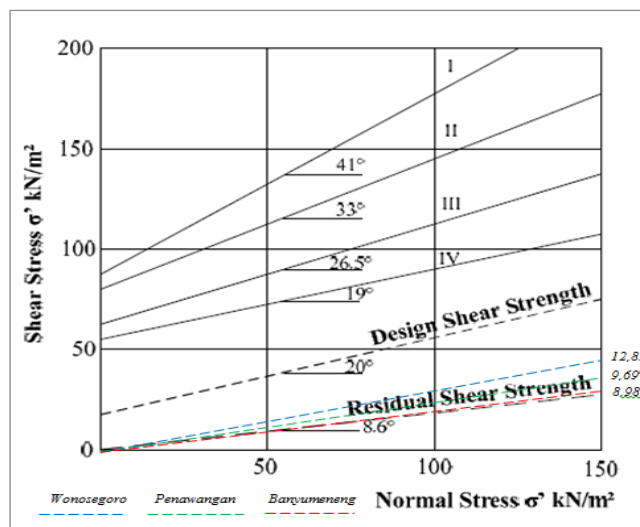
Sample	Wonosegoro	Penawangan	Banyumeneng
<i>Specific Gravity</i> (Gs)	2.6508	2.6503	2.6507
<i>Sand</i> (%)	33.20	41.80	33.50
<i>Silt</i> (%)	26.80	13.20	27.50
<i>Clay</i> (%)	40.00	45.00	39.00
Lolos saringan No. 40 (%)	98.7	94.66	91.88
Lolos saringan No. 200 (%)	66.76	58.24	66.46
<i>Liquid Limit</i>	49	54	60
<i>Plastic Limit</i>	30.27	35.27	40.53
<i>Plasticity Index</i>	18.73	18.73	19.47
Klasifikasi AASHTO	Lempung	Lempung	Lempung

Berdasarkan Tabel 2, Sistem *Unified Soil Classification System* (USCS) sampel diatas merupakan jenis tanah berbutir halus (*Fine Grained Soil*) karena lebih dari 50% lolos saringan no. 200. Sistem klasifikasi AASHTO tanah (>35% lolos saringan No. 200 dengan PI minimal 11 merupakan tanah lempung.

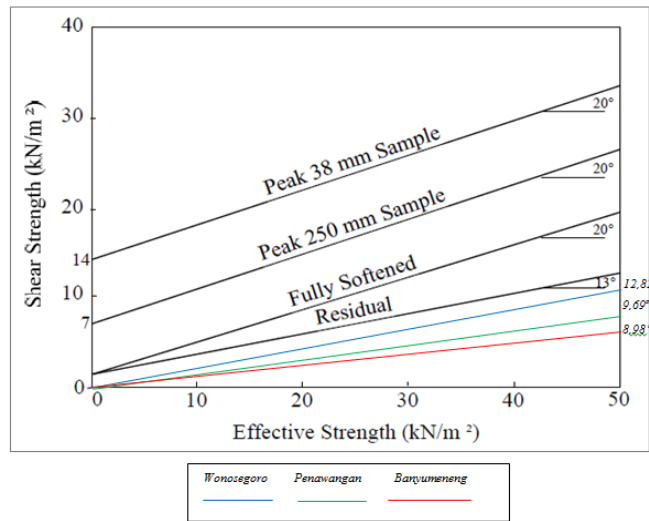
Pengujian Geser Langsung atau *Direct Shear Test*

Berdasarkan hasil pengujian geser langsung kondisi terdrainase (*Drained*) didapatkan nilai sudut geser residual efektif (ϕ'_r) sampel Wonosegoro sebesar 12,82°, sampel Penawangan sebesar 9,69° dan sampel Banyumeneng 8,98°.

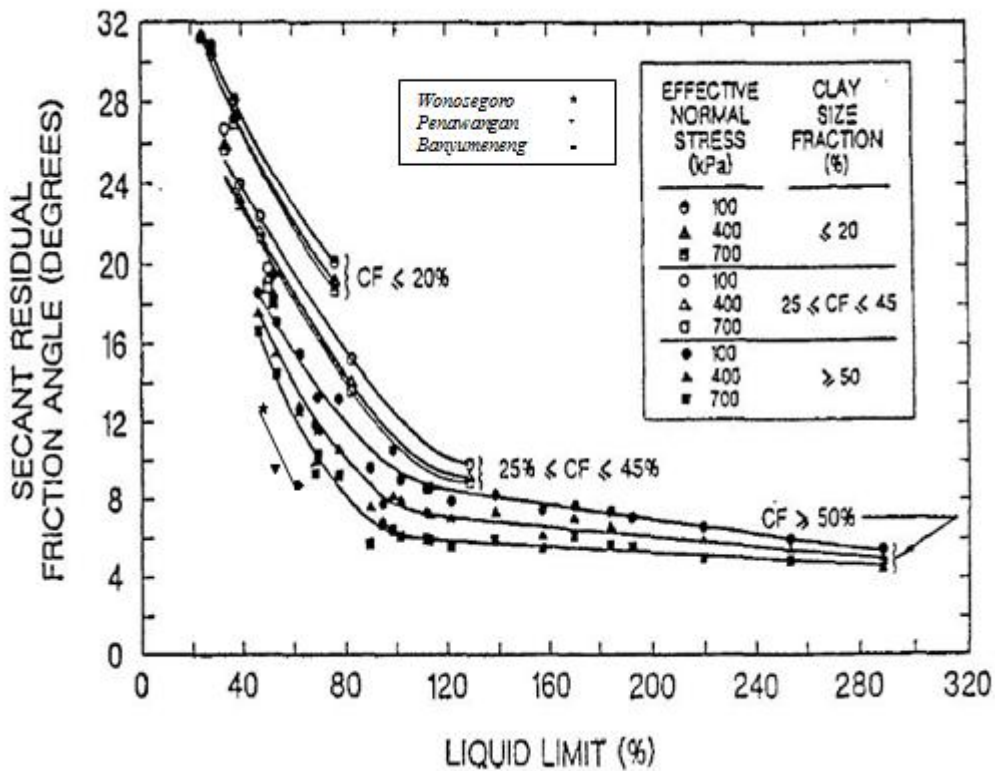
Plot hasil pengujian geser langsung terhadap grafik kuat geser residual oleh Gartung (1986) pada Gambar 6 dan Skempton (1977) pada Gambar 7. Sedangkan Gambar 8, *Plot* hasil pengujian pada *Liquid Limit* (LL) dan sudut geser residual efektif (ϕ'_r) menurut Stark. et. al. (1994).



Gambar 6. Plot Hasil Pengujian Direct Shear
(Sumber: Gartung, 1986)



Gambar 7. Plot Hasil Pengujian Direct Shear
(Sumber: Skempton, 1977)



Gambar 8. Plot Hubungan Korelasi Sudut Geser Residual Efektif (ϕ'_r) - LL
(Sumber: Stark et al, 1994)

Pada pengujian geser langsung kondisi air teralirkan (*Drained*) sampel uji mengalami konsolidasi normal (*Normally Consolidated*) selama pengujian berlangsung, hal ini dikarenakan harga koefisien rembesan tanah lempung (*Clay*) sangat kecil bila dibandingkan dengan tanah pasir. Jika beban normal diberikan pada sampel tanah lempung, maka dibutuhkan waktu yang cukup lama agar tanah tersebut terkonsolidasi

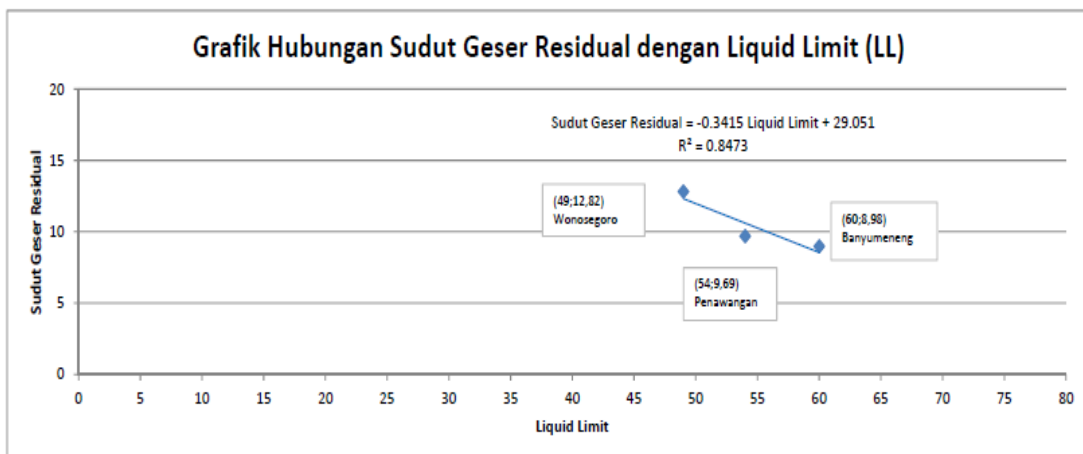
sepenuhnya. Berdasarkan alasan tersebut, beban geser pada uji geser langsung harus dilakukan dengan kecepatan geser yang kecil sekali oleh Braja. et. al. (2012).

Pengujian Lainnya

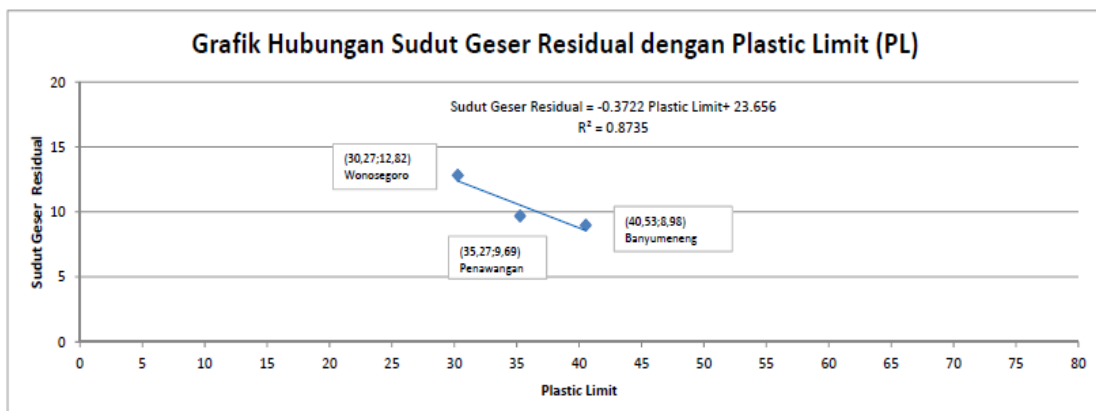
Pemeriksaan *Free Swelling Test* didapatkan persentase volume pengembangan bebas untuk sampel Wonosegoro sebesar 10%, sampel Penawangan 20%, dan sampel Banyumeng 25% dari penambahan volume air sebesar 100 ml tanpa memasukkan beban *Overburden* dari zat cair.

Hubungan *Properties Index* terhadap Parameter Efektif Kuat Geser Residual

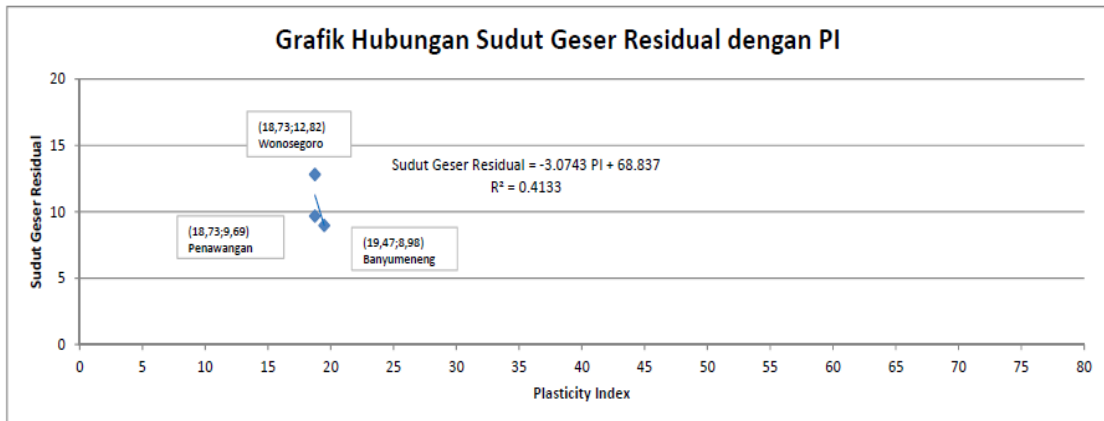
Dari pengujian laboratorium yang telah dilakukan, didapatkan data *Soil Properties* dan *Engineering Properties* dari masing-masing sampel. Data *Engineering Properties* berupa parameter efektif kuat geser residual yaitu sudut geser residual efektif (ϕ'_r) dari pengujian *Direct Shear*. Selanjutnya dibuat hubungan korelasi *Properties Index* terhadap parameter efektif kuat geser residual *Clay Shale* yaitu sudut geser residual efektif (ϕ'_r). Adapun hasil dari korelasi hubungan *Properties Index* dan parameter kuat geser residual dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



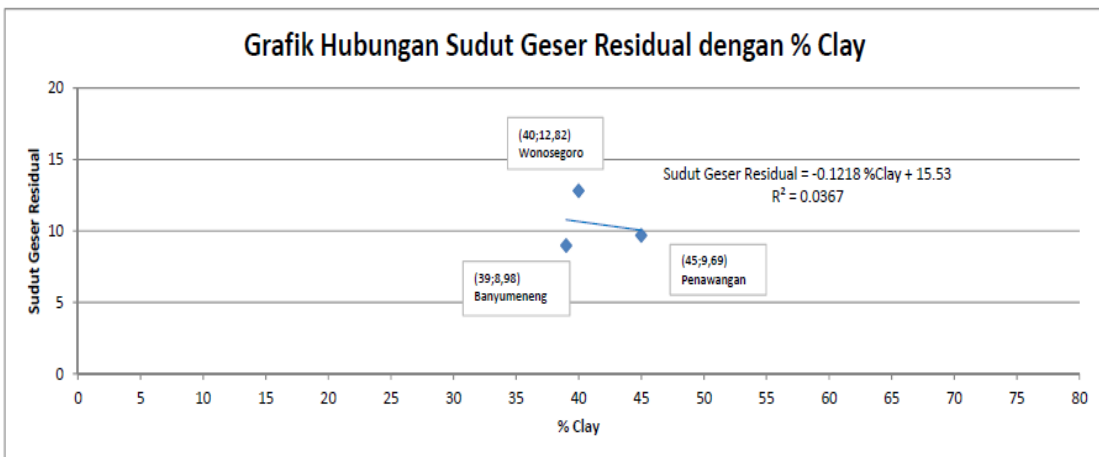
Gambar 9. Grafik Hubungan Kuat Geser Residual (ϕ'_r) terhadap *Liquid Limit* (LL)



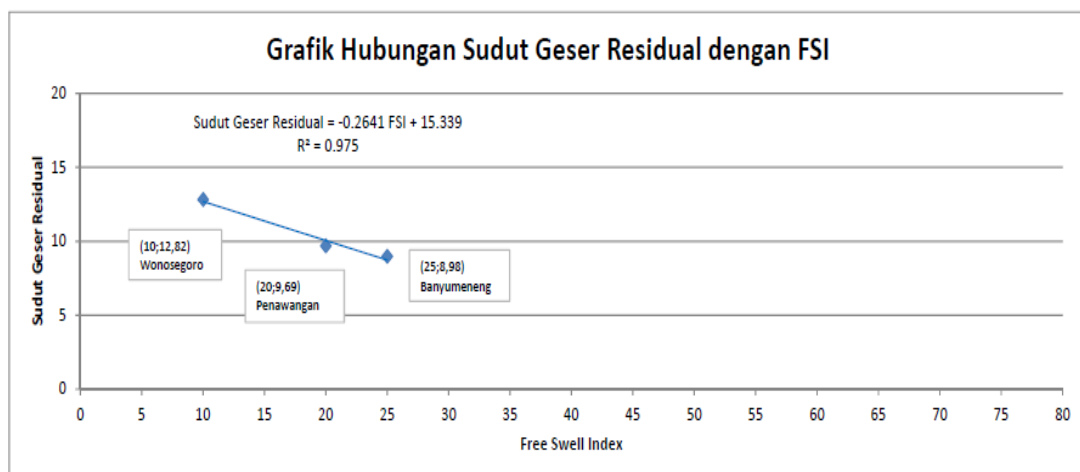
Gambar 10. Grafik Hubungan Kuat Geser Residual (ϕ'_r) terhadap *Plastic Limit* (PL)



Gambar 11. Grafik Hubungan Kuat Geser Residual (ϕ'_r) terhadap *Plasticity Index*



Gambar 12. Grafik Hubungan Kuat Geser Residual (ϕ'_r) terhadap Fraksi Lempung



Gambar 13. Grafik Hubungan Kuat Geser Residual (ϕ'_r) terhadap *Free Swell Index* (FSI)

Dari grafik diatas, menunjukkan bahwa semakin besar nilai *Liquid Limit* (LL), *Plastic Limit* (PL), fraksi lempung, *Plasticity Index* (PI) dan *Free Swell Index* (FSI), maka nilai

kuat geser residual efektif (ϕ'_r) hasil percobaan uji geser langsung kondisi teralirkan (*Drained*) menurun.

KESIMPULAN

Dari analisa hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap sampel di daerah Wonosegoro, Penawangan dan Banyumeneng, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian *Properties Index*,
Sampel Wonosegoro
Liquid Limit sebesar 49; *Plastic Limit* sebesar 30,27; *Plasticity Index* sebesar 18,73. Termasuk dalam kelompok ML&OL dalam sistem klasifikasi USCS yaitu lempung organik dengan plastisitas rendah. Termasuk kelompok klasifikasi A-7 berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO.
Sampel Penawangan
Liquid Limit sebesar 54; *Plastic Limit* sebesar 35,27; *Plasticity Index* sebesar 18,73. Termasuk dalam kelompok MH&OH dalam sistem klasifikasi USCS yaitu lempung organik dengan plastisitas sedang hingga tinggi. Termasuk kelompok klasifikasi A-7 berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO.
Sampel Wonosegoro
Liquid Limit sebesar 60; *Plastic Limit* sebesar 40,53; *Plasticity Index* sebesar 19,47. Termasuk dalam kelompok MH&OH dalam sistem klasifikasi USCS yaitu lempung organik dengan plastisitas sedang hingga tinggi. Termasuk kelompok klasifikasi A-7 berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO.
2. Berdasarkan hasil pengujian geser langsung kondisi terdrainase (*Drained*), nilai sudut geser residual efektif (ϕ'_r) sampel, Wonosegoro, Penawangan, dan Banyumeneng yaitu 12,82°; 9,69°; 8,98°. Berdasarkan klasifikasi nilai sudut geser residual efektif (ϕ'_r) pada pengujian ini memenuhi syarat sebagai parameter penentuan kuat geser residual. *Clay Shale* merupakan material yang sensitif terhadap proses pelapukan, oleh karena itu parameter yang digunakan untuk rekayasa geologi pada material yang didominasi oleh *Clay Shale* adalah penentuan kuat geser residual.
Dalam pengujian geser langsung kondisi air teralirkan (*Drained*) sampel uji mengalami konsolidasi normal (*Normally Consolidated*) selama pengujian berlangsung, hal ini dikarenakan harga koefisien rembesan tanah lempung (*Clay*) sangat kecil bila dibandingkan dengan tanah pasir. Jika beban normal diberikan pada sampel tanah lempung, maka dibutuhkan waktu yang cukup lama agar tanah tersebut terkonsolidasi sepenuhnya. Berdasarkan alasan tersebut, beban geser (*Horizontal*) pada uji geser langsung harus dilakukan dengan kecepatan geser yang kecil sekali. Sampel tidak mengalami kembang yang tinggi seperti kebanyakan lempung lainnya dilihat dari hasil pengujian *Free Swell* didapat FSI pada Wonosegoro sebesar 10%, FSI pada Banyumeneng sebesar 20% dan FSI pada Penawangan sebesar 25%
3. Didalam penelitian ini dicoba mencari hubungan korelasi yang diperoleh dari hasil pengujian *Properties Index*, pengujian *Direct Shear* dalam parameter kuat geser residual dengan mengacu pada penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh pakar geoteknik sebagai bahan referensi nantinya dalam perencanaan geoteknik

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D 3080-11 “*Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*”
- ASTM D 422-63(2007)e2 “*Test Method for Particle Size Analysis of Soils*”.
- ASTM D 4318-10e1 “*Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils*”.
- ASTM D 698-12e2 “*Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort*”
- Das, Braja M. and Khaled Sobhan., 2012. *Principles of Geotechnical Engineering, 8th Edition*, Cengage Learning: Stamford.
- Gartung, Erwin., 1986. *Clay Geosynthetic Barriers A.A.*, Balkema Publisher.
- Head, K. H., 1994. *Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 2, Second Edition*, John Wiley & Sons, INC: New York.
- Sandroni., 1977. *The Strength of London Clay in Total and Effective Stress Term*, Ph.D. Thesis, University of London.
- Skempton,. 1977. *Slope Stability of Cuttings in Brown London Clay ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo.
- Stark. T. D., and Eid, H.T., 1994. *Drained Residual Strength of Cohesive Soils*, J. Geotech Eng., 120(5), 856-87 1.
- Thaden, R.E., H. Sumadirja & Richards P.W., 1996. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa. Skala 1:100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi: Bandung.
- Zhang, L., 2010. *Drilled Shafts in Rock, Analysis and Design*.