

Analisis Uji Geser Tanah Merah Residual dengan Metode *Slurry* di Kabupaten Semarang

Bambang Pardoyo*, Briota Akhbar Wirawan, Khoirul Huda

Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Tanah residual terdapat di sebagian besar daerah dengan topografi pegunungan, perbukitan, dan yang bergelombang. Tanah ini berwarna merah atau coklat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis tanah pada kondisi tanah asli dan tanah residual dengan metode *slurry*. Obyek penelitian adalah tanah merah residual yang diambil dari Kecamatan Ungaran Timur, Kecamatan Bergas, dan Kecamatan Bawen. Pengujian sifat fisis dan mekanis menunjukkan bahwa sampel tanah termasuk jenis lempung (*clay*) dengan mineral penyusun kaolinite dan kemampuan mengembang sedang, dan pengujian *direct shear* dari lokasi L1, L2, dan L3 didapatkan nilai sudut geser residual peak dengan metode *slurry* sebesar 29.249°; 31.341°; 31.964° dan nilai sudut geser residual konstan sebesar 8.082°; 8.138°; 7.294°, nilai sudut geser tanah asli memiliki nilai sebesar 32.82°; 31.44°; 31.98. Semakin tinggi nilai *plasticity index* maka nilai *free swell* semakin tinggi. Nilai sudut geser residual peak dan *plasticity index* masih di dalam lingkup standar deviasi hasil pengujian. Nilai sudut geser residual konstan dengan metode *slurry* jauh lebih kecil dibanding grafik hasil pengujian.

Kata kunci: tanah merah; residual; *slurry*; *direct shear*; *free swell*

Abstract

[**Title: Analysis Of The Residual Red Soil Shear Test With The Slurry Method In The Regency Of Semarang**] Residual soil is found in most areas with mountainous, hilly, and undulating topography. This soil is marked by red or brown color. This study aims to determine the physical and mechanical properties of soil in the original soil and residual soil conditions using the *slurry* method. Research objects were taken from residual red soil of The East Ungaran District, Bergas District, and Bawen District. Analysis of the physical and mechanical properties test shows that the soil sample is a type of clay with kaolinite constituent minerals and moderate swelling ability, and *direct shear* testing from locations L1, L2, and L3 obtained residual peak shear angles using the *slurry* method of 29,249 °; 31,341 °; 31,964 ° and constant residual shear angle value of 8,082 °; 8,138 °; 7,294 °, the value of the original soil shear angle has a value of 32.82 °; 31.44 °; 31.98. The higher the value of the *plasticity index*, the higher the value of the *free swell*. The relationship between the *plasticity index* and the value of the residual peak shear angle shows that the results of the peak shear angle and the *plasticity index* are still within the scope of standard deviation. The value of the constant residual shear angle with the *slurry* method is much smaller than the test result graph.

Keywords: red soil; residual; *slurry*; *direct shear*; *free swell*

1. Pendahuluan

Tanah yang terbentuk langsung akibat pelapukan kimiawi disebut tanah residual (*residual soil*). Tanah ini

tetap pada tempat pembentukannya di atas batuan asalnya (Wesley, 2010). Pada umumnya, proses pelapukan yang membentuk tanah residual disertai dengan kehilangan bahan serta penurunan kekakuan dan kekuatan bahan. Karena hal ini, ada alasan untuk berpendapat bahwa tegangan horisontal akan menjadi kecil dibandingkan

*) Bambang Pardoyo.

E-mail: bambang_pardoyo@yahoo.com

dengan tegangan vertikal (Wesley, 2010). Di Indonesia, tanah residual terdapat disebagian besar daerah dengan topografi pegunungan, perbukitan dan yang bergelombang dan ditandai oleh warna merah atau coklat sebagai hasil dari proses lateritisasi (WSP International, 2001).

Wesley (2010) menyatakan bahwa tanah residual mempunyai banyak perbedaan dengan tanah sedimen, struktur batuan induk seperti kekar, perlapisan terkadang masih tersisa dan berpengaruh pada stabilitas lereng. Sudut geser dalam tanah residual terutama tanah tufa lebih tajam dibandingkan dengan tanah sedimen dan terjadi perubahan tekanan air pori yang signifikan selama perubahan musim. Batuan induk akan memberikan kontribusi butiran kasar pada komposisi tanah residual, sedangkan adanya butiran halus merupakan akibat pelapukan oleh cuaca (Winduhutomo *dkk.*, 2010).

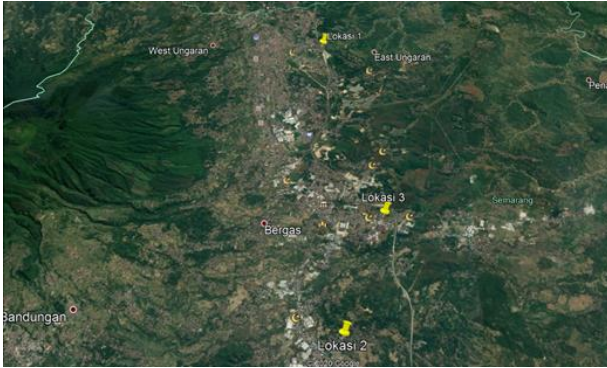
Menurut Badan Pusat Statistik, berdasarkan data kejadian bencana alam di Propinsi Jawa Tengah pada tahun 2018, kejadian bencana alam yang terbesar adalah bencana alam longsor sebesar 555 kejadian, ditunjukkan pada Tabel 1 (Badan Pusat Statistik Jawa Tengah, 2018). Sedangkan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat di Kabupaten Semarang telah terjadi bencana tanah longsor sebanyak 13 (tiga belas) kali (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2018). Berdasarkan tingginya jumlah bencana alam tanah longsor pada Kabupaten Semarang, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Semarang menetapkan Kecamatan Bawen menjadi salah satu kecamatan rawan longsor di wilayah Kabupaten Semarang (Tribun Jateng, 2017). Kabupaten Semarang memiliki nilai longsor 1,6 dari maksimum 4,3, dimana dominasi daerah rawan longsor sekitar 791,27 km² (Hani'ah *dkk.*, 2017). Permasalahan rawan longsor pada bidang geoteknik banyak terjadi pada tanah lunak, tanah lempung ekspansif, tanah, tanah *clayshale*.

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada tanah ekspansif di daerah Kabupaten Grobogan, SikaCim Accelerator tidak memberikan hasil yang efektif terhadap sifat fisik, tidak menunjukkan perubahan yang signifikan, klasifikasi tanah menurut AASHTO tetap pada kelompok yang sama yaitu A-7-5 dan sifat mekanik meningkatkan nilai CBR dan UCS, sebaliknya terjadi penurunan potensi pembengkakan dan tekanan pembengkakan dengan nilai CBR, UCS, dan uji swelling yang optimal. dengan 2.5% SikaCim Accelerator dan waktu pengeringan 7 hari (Pardoyo *dkk.*, 2020), tanah ekspansif dan tanah putih dari Nusa Tenggara Timur, penelitian uji indeks sifat, secara umum pada semua persentase campuran tanah putih tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dan sifat mekanik tanah, untuk campuran tanah putih dengan persentase 3,5% -5% , dengan jarak tanam 7 hari 14 hari, nilai free swell menunjukkan trend yang positif (Pardoyo & Hardiyati, 2020).

Tabel 1 Jumlah Kejadian Bencana Alam Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah 2018

Jumlah Kejadian Bencana Alam Menurut Kabupaten/Kota di Propinsi Jawa Tengah	
Wilayah Jateng	Bencana longsor
PROVINSI JAWA TENGAH	555
Kabupaten Cilacap	32
Kabupaten Banyumas	22
Kabupaten Purbalingga	2
Kabupaten Banjarnegara	89
Kabupaten Kebumen	12
Kabupaten Purworejo	25
Kabupaten Wonosobo	26
Kabupaten Magelang	88
Kabupaten Boyolali	14
Kabupaten Klaten	5
Kabupaten Sukoharjo	1
Kabupaten Wonogiri	25
Kabupaten Karanganyar	14
Kabupaten Sragen	8
Kabupaten Grobogan	-
Kabupaten Blora	2
Kabupaten Rembang	1
Kabupaten Pati	5
Kabupaten Kudus	9
Kabupaten Jepara	12
Kabupaten Demak	1
Kabupaten Semarang	13
Kabupaten Temanggung	29
Kabupaten Kendal	12
Kabupaten Batang	3
Kabupaten Pemalang	4
Kabupaten Tegal	14
Kabupaten Brebes	24
Kota Magelang	-
Kota Surakarta	-
Kota Salatiga	-
Kota Semarang	53
Kota Pekalongan	2
Kota Tegal	-

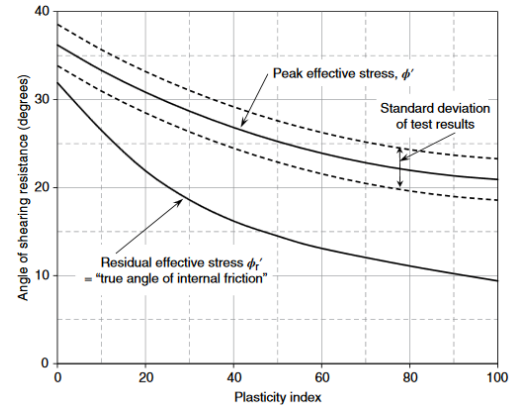
Sedangkan pada tanah *clayshale* di daerah Bawen Kabupaten Semarang mengenai tingkat durabilitas yang telah dilakukan penelitian adalah hasil sifat fisis pada uji Atterberg adalah tanah *clayshale* sebagai tanah anorganik dengan plastisitas tinggi, serta susut pada uji penyalan sebagai anorganik. Sedangkan *free swell* dan mineral garam, semakin tinggi unsur garam, semakin tinggi *free swell* dan uji mekanisnya kuat tekan bebas dikategorikan sebagai tanah padat sedangkan uji *Slake durability* tergolong durabilitas sangat rendah (Pardoyo *dkk.*, 2020), *clayshale* dilihat dari pengaruh akibat penjemuran, hasilnya tentang pengaruh pengeringan dapat menurunkan



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel di tiga kecamatan di Kabupaten Semarang. (Google Earth, 2019)

nilai kadar air, sangat mudah terjadi pelapukan, memiliki sifat durabilitas yang sangat rendah, semakin lama pengeringan pada uji UCS, semakin besar nilai q_u , uji modulus elastisitas, semakin lama pengeringan, semakin besar nilai E_{50} dan etan nilai (Pardoyo, Sadono, & Fahreza, 2020) dan *clayshale* dilihat dari perilakunya, hasilnya pada uji durabilitas dikategorikan tingkat ketahanan batuan sangat rendah dan rendah, sedangkan uji *free swelling* dikategorikan sebagian besar tingkat perkembangan sedang dan kecil, nilai *shale rating* semua sampel dikategorikan rendah dengan kemiringan aman berkisar antara $7^\circ - 22^\circ$ atau rasio kemiringan adalah antara 8H : 1V - 3H : 1V dan nilai ketebalan lapisan pemadatan berkisar 0 - 400 mm, untuk densitas nilai pemadatan berkisar 1,72 - 2,10 t/m³.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan pada nilai sudut geser residual dan density dapat ditentukan dengan pengujian sampel yang menyerupai kondisi residual, yaitu dengan metode *slurry*. Kayyal & Wright (1991) telah membuktikan bahwa kekuatan geser pada tanah lempung di wilayah Beaumont-Paris yang mengalami siklus basah-kering sangat mirip dengan kekuatan geser dari spesimen yang dikonsolidasi secara normal dari *slurry*. Hasil penelitian yang dilakukan Jackson (2015) di Universitas Kota London, sudut kerucut tempat sampel akhirnya menurun mendekati sudut gesekan melunak sepenuhnya, sedangkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai tanah *clayshale* dengan metode *slurry* pada uji sudut geser di daerah Bawen, hasilnya adalah nilai sudut geser residual, semakin tinggi nilai batas cair (*plasticity index*), nilai sudut geser residual



Gambar 2. Hubungan antara sudut geser dengan indeks plastisitas (Carter & Bentley, 2016)

akan semakin rendah, sedangkan hubungan antara nilai *free swell*, *liquid limit*, dan *shrinkage limit* menunjukkan semakin besar nilai *free swell*, semakin besar nilai *liquid limit* dan *shrinkage limit*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya menunjukkan, bahwa tanah merah pada kondisi residual masih jarang dilakukan di Indonesia, khususnya di Kabupaten Semarang dan masih sedikitnya referensi metode untuk menentukan nilai sudut geser residual, maka dilakukan pengujian analisis uji geser tanah merah residual dengan metode *slurry* di daerah kabupaten Semarang.

2. Bahan dan Metode

Pengambilan tanah untuk penelitian diambil dari tiga kecamatan yaitu kecamatan Ungaran Timur (L1), kecamatan Bergas (L2), dan kecamatan Bawen (L3), kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Lokasi pengambilan sampel pada Gambar 1 (Google Earth, 2019).

Tanah lempung mempunyai tingkat kembang susut yang tinggi akibat pengaruh cuaca di Indonesia yaitu musim penghujan dan musim kemarau. maka diperlukan pengklasifikasian derajat pengembangan uji *free swell* dapat dilihat pada Tabel 2 (Holtz & Gibbs 1956).

Di dalam komposisi tanah mempunyai 3(tiga) fase yaitu udara, air dan *solid* (butiran), sedangkan yang termasuk di bidang geoteknik dalam pengklasifikasikan tipe tanah berdasarkan nilai *Atterberg* dapat dilihat pada Tabel 3 (Budhu, 2010). Jenis tanah lempung berdasarkan unsur mineralnya dan nilai berat spesifik secara umum dapat dilihat pada Tabel 4 (Das & Sobhan, 2014).

Tabel 3. Klasifikasi derajat pengembangan (Holtz and Gibbs 1956)

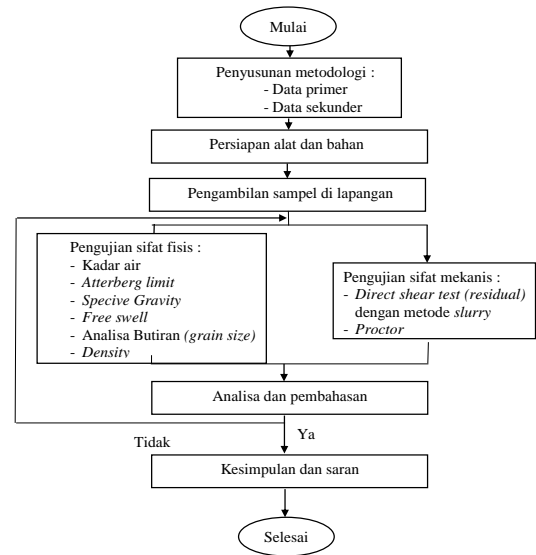
Derajat Pengembangan	Swelling Potensial (%)
Rendah	< 50
Sedang	50 – 100
Tinggi	100 – 200
Sangat Tinggi	> 200

Tabel 2. Tipe tanah berdasarkan hasil *atterberg limit test* (Budhu, 2010)

Tipe Tanah	Liquid Limit (%)	Plasticity Limit (%)	Plasticity Index (%)
Pasir (<i>Sand</i>)		<i>Nonplastic</i>	
Lanau (<i>Silt</i>)	30 – 40	20 – 25	10 – 15
Lempung (<i>Clay</i>)	40 – 150	25 – 50	15 – 100

Tabel 4. Berat Spesifik Mineral – mineral (Das & Sobhan, 2014)

Mineral	Berat Spesifik
	G_s
Quartz (kwarsa)	2,65
Kaolinite	2,6
Illite	2,8
Montmorillonite	2,65-2,8
Halloysite	2,0-2,55
Potassium feldspar	2,57
Sodium dan kalsium feldspar	2,62-2,76
Chlorite	2,6-2,9
Biotite	2,8-3,2
Muscovite	2,76-3,1
Hornblende	3,0-3,47
Limonite	3,6-4,0
Olivine	3,27-3,37



Gambar 3. Flowchart Tahapan Penelitian.

Dari hasil pengujian tes kuat geser tanah dengan indeks plasistitas, Penelitian yang telah dilakukan oleh Carter and Bentley pada tahun 2016, dihasilkan ubungan antara kuat geser dan indeks plastisitas, dapat dilihat pada Gambar 2 (Carter & Bentley, 2016).

Pada penelitian ini, dilakukan dengan langkah-langkah pengujian tes sesuai alur penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Pengujian sifat fisis dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengklarifikasikan jenis tanah, meliputi : kadar air (ASTM International D2216-19, 2019), batas konsistensi atterberg (ASTM International D4318, 2005), berat spesifik tanah (ASTM International D854, 2010), sedangkan sifat mekanis meliputi : *Free Swell Test* (IS 2720-40, 1977), pemadatan *Proctor Standard* (ASTM International D1557, 2012), *Direct Shear* (ASTM Standard D3080/D3080M - 11, 2012).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Sifat Fisis

Hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium mekanika tanah di departemen teknik sipil Universitas Diponegoro Semarang, rekapitulasi hasil uji sifat fisis tanah residual dapat dilihat di Tabel 5.

- a. Kadar Air, Berat Spesifik (G_s), *Atterberg Limit*, dan *Grain Size*

Berdasarkan klasifikasi tipe tanah pada Tabel 3, sampel L1, L2, dan L3 termasuk dalam jenis lempung (*clay*) (Budhu, 2010) dengan jenis mineral berupa *kaolinite* pada Tabel 4 (Das & Sobhan, 2014). Nilai-nilai *LL* dan *PI* kemudian dimasukkan kedalam

klasifikasi USCS dan AASHTO dengan *A-line chart* pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Berdasarkan Sistem Klasifikasi USCS, semua sampel berada di atas garis A-line dan berada di sebelah kanan 50% LL sehingga ketiga sampel dikategorikan sebagai lempung anorganik dengan plastisitas tinggi atau CH, sedangkan berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO, semua sampel berada di atas garis dan berada di sebelah kiri garis diagonal sehingga ke 3 (tiga) sampel dikategorikan sebagai A-7-6 termasuk tanah berlempung.

- b. *Free Swell*

Dari hasil pengujian, didapatkan nilai *free swell* pada Tabel 2, berdasarkan klasifikasi derajat pengembangan semua sampel di 3 (tiga) lokasi memiliki derajat pengembangannya sedang. Tanah yang memiliki derajat pengembangan sedang dapat digunakan sebagai stabilitas lereng (Holtz and Gibbs 1956).

- c. *Pengujian Density*

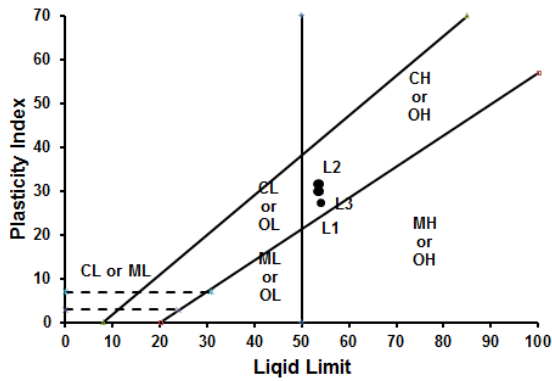
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai yang terjadi pada tanah asli dan tanah yang sudah di *slurry*, dan ternyata dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4. Nilai γ_b dan γ_d mengalami penurunan pada tanah yang sudah di *slurry* sebesar 9,5 % dan 9,0 % dari tanah asli dan untuk γ_d Proctor mengalami kenaikan sebesar = 4,3 % dari tanah asli.

3.2. Sifat Mekanis

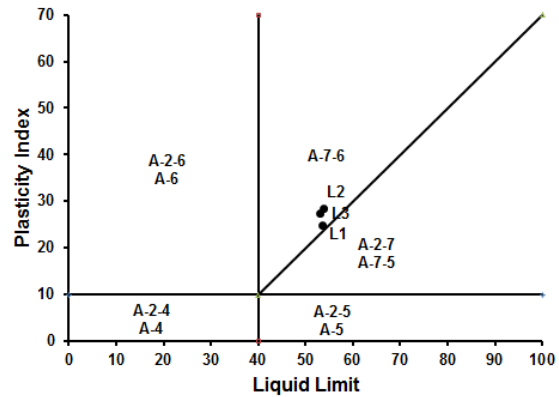
Dari hasil penelitian uji sifat mekanis tanah merah residual yang telah dilakukan, dibagi menjadi dua bagian, yaitu *Standard Proctor* dan *Direct Shear*.

- a. *Standard Proctor*

Pemadatan tanah untuk penentuan kadar air optimum (OMC) pada penelitian ini menggunakan



Gambar 4. Grafik plastisitas sampel setiap titik sistem USCS (Das & Sobhan, 2014)



Gambar 5. Grafik plastisitas sampel setiap titik sistem AASHTO (Das & Sobhan, 2014)

metode *Standard Proctor*. Nilai kadar air optimum (OMC) digunakan sebagai campuran untuk *direct shear* (*peak*) pada lokasi 1. Grafik penentuan kadar air optimum pada Gambar 6

Dari hasil *plotting* grafik diatas pada lokasi 1, lokasi 2 dan lokasi 3 didapatkan hasil kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering pada uji *standard Proctor*, dapat dilihat pada Tabel 6.

b. *Direct Shear* (Residual)

Langkah awal dari pengujian uji *direct shear*, terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk menentukan kecepatan penggeseran (V_g), dengan melakukan pengujian konsolidasi terlebih dahulu pada beban normal 5 kg, 10 kg, dan 15 kg pada masing-masing lokasi. Sebagai contoh hasil pengujian konsolidasi dengan beban 5 kg L1 pada Gambar 7.

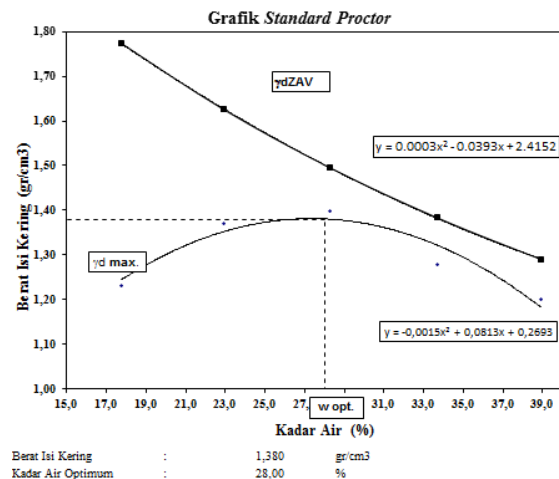
Dengan melakukan pengujian yang sama pada

10 kg dan 15 kg pada lokasi 2 dan lokasi 3, rekapitulasi hasil kecepatan pergeseran selengkapnya, dapat dilihat Tabel 7.

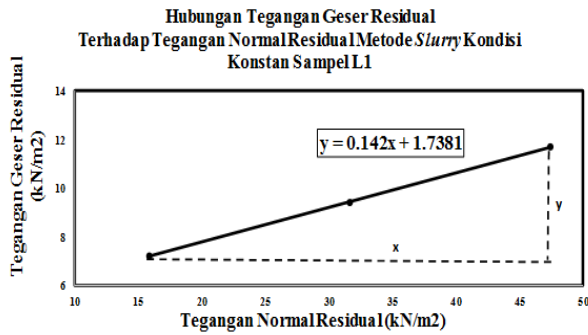
Setelah mengetahui kecepatan pergeseran (V_g), dilanjutkan dengan pengujian *direct shear test*, Hasil pengujian *direct shear test* dengan metode *slurry berulang-ulang*, sehingga nilai gaya normal dan gaya geser sudah konstan, maka dapat digambarkan sesuai pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10. Pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10, memperlihatkan proses pengujian pada masing-masing pembebanan memiliki nilai gaya geser puncak atau *peak strength* dengan beberapa siklus, akibat gaya geser pada kecepatan pergeseran (V_g), maka nilai gaya geser mengalami penurunan, sehingga nilai gaya geser tidak mengalami perubahan signifikan. Hasil perbandingan antara gaya normal / gaya geser per satuan luas sampel disebut tegangan normal / tegangan geser.

Tabel 5 Rekapitulasi Sifat Fisis Tanah Merah Residual

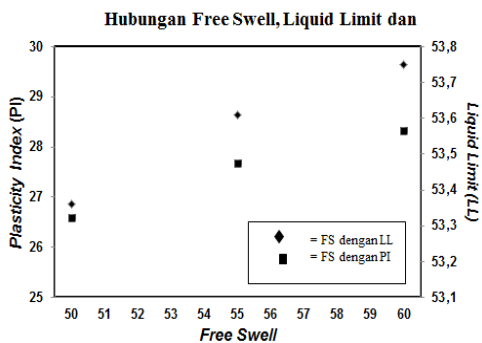
Sampel		L1	L2	L3
Kadar Air (%)		26,19	26,91	27,87
Berat Spesifik (Gs)		2,59	2,61	2,60
Batas Cair (%)		53,36	53,75	53,01
Batas Plastis (%)		26,77	25,42	24,33
Indeks Plastis (%)		26,59	28,33	27,68
Grainsize	Gravel (%)	0,80	0,26	0,40
	Sand (%)	26,36	16,96	40,10
	silt (%)	56,33	66,82	41,31
	clay (%)	16,51	15,96	18,19
Free Swell (%)		50,00	60,00	55,00
Density	γ_b Tanah Asli	1,72	1,66	1,70
	γ_d Tanah Asli	1,36	1,30	1,33
	γ_b Tanah Slurry	1,55	1,50	1,53
	γ_d Tanah Slurry	1,23	1,19	1,20
	γ_d proctor	1,38	1,45	1,34



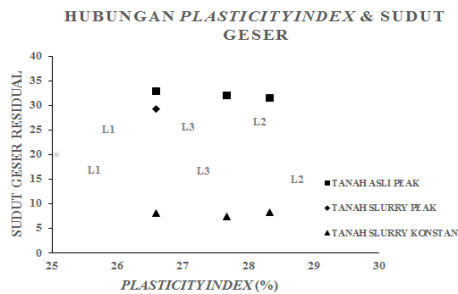
Gambar 6. Grafik *Standard Proctor* di Lokasi 1



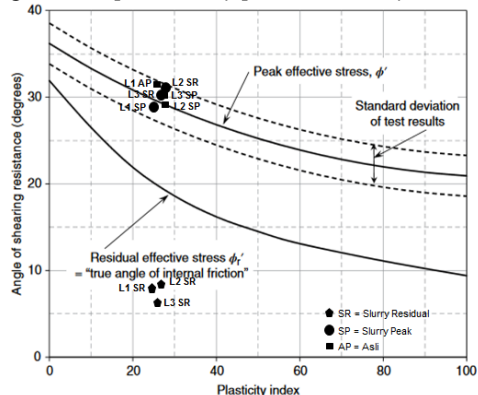
Gambar 7. Grafik hubungan tegangan normal residual terhadap tegangan geser residual sampel 11



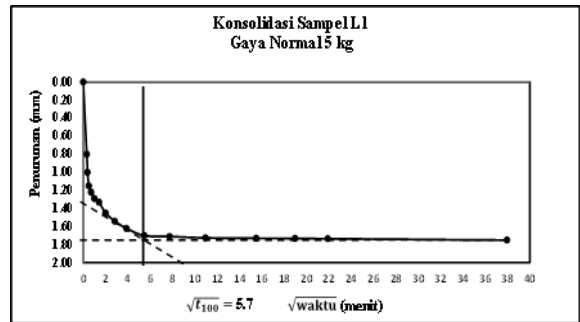
Gambar 8. Hubungan pengujian plasticity index dengan free swell



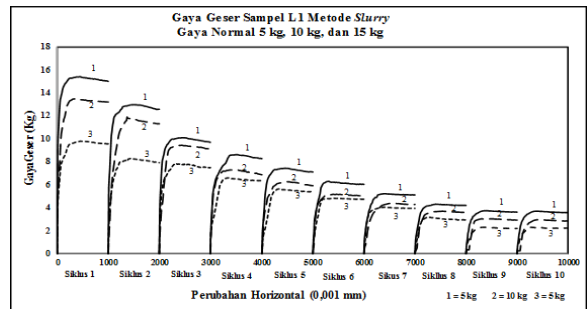
Gambar 9. Hubungan plasticity index dan sudut geser asli peak, slurry peak dan slurry konstan



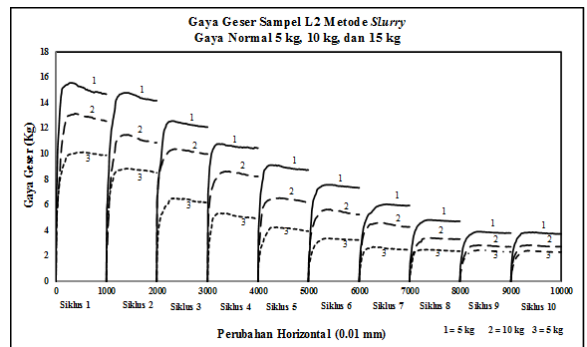
Gambar 10. Grafik hubungan plasticity index dan sudut geser residual peak (Carter & Bentley, 2016)



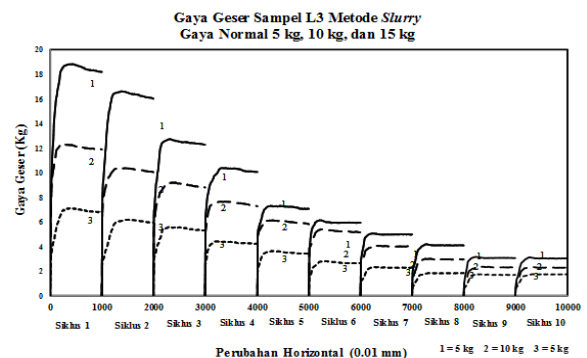
Gambar 11. Grafik hubungan akar waktu dengan penurunan sampel 11 dengan gaya normal 5 kg



Gambar 12. Grafik hubungan gaya normal dan gaya geser metode slurry pada sampel 11 beban 5 kg, 10 kg, dan 15 kg.



Gambar 131. Grafik hubungan gaya normal dan gaya geser metode slurry pada sampel 12 beban 5 kg, 10 kg, dan 15 kg.



Gambar 14. Grafik hubungan gaya normal dan gaya geser metode slurry pada sampel 13 beban 5 kg, 10 kg, dan 15 kg.

Tabel 7. Rekapitulasi Kecepatan Penggeseran (V_g)

Lokasi	Gaya Normal (Kg)	V_g (Mm/Menit)
L1	5	0,0097
	10	0,0143
	15	0,0218
L2	5	0,0094
	10	0,0156
	15	0,0243
L3	5	0,0131
	10	0,0163
	15	0,0218

Tegangan geser akhir yang diambil adalah tegangan geser pada siklus ke 10 sebagai tegangan geser residual. Hasil tegangan residual pada masing – masing sampel pada Tabel 8. Kemudian hasil antara tegangan normal residual dan tegangan geser residual pada Tabel 8, dilakukan penggambaran antara nilai tagangan normal residual sebagai absis dan nilai tegangan geser residual sebagai ordinat, sebagai contoh pada lokasi L1, menghasilkan nilai sudur geser residual kondisi puncak (*peak*), dapat dilihat Gambar 11, sedangkan hasil selengkapnya untuk 3(tiga) lokasi, dapat dilihat pada Tabel 9, sedangkan pada Tabel 10, merupakan hasil nilai sudut geser tanah kondisi konstan. Pengujian uji *direct shear* yang telah dilakukan pada kondisi tanah asli untuk sampel di lapangan, nilai sudut geser tanah asli dan hasil selengkapnya pada Tabel 11.

Berdasarkan Tabel 9 dan Tabel 11, menunjukkan hasil nilai sudut geser *peak* tanah asli dibandingkan dengan sudur geser residual pada kondisi puncak, nilai sudut geser residual *peak* lebih kecil.

3.3. Hubungan antara pengujian.

a. Hubungan *Plasticity Index* dengan *Free Swell*

Hubungan hasil uji *plasticity index*, uji *liquid limit* sebagai sumbu ordinat dan uji *free swell* sebagai sumbu absis, diplotkan pada Gambar 12, menghasilkan grafik hubungan antara uji *plasticity index*, uji *liquid limit* dan

Tabel 8. Nilai Sudut Geser Residual (ϕ_r) *Peak*

Lokasi	L 1	L 2	L 3	Satuan
$\tan \phi$	0,560	0,609	0,624	0
Φ_r	29,248	31,341	31,964	

Tabel 9. Nilai Sudut Geser Residual (ϕ_r) Konstan

Lokasi	L1	L2	L3	Satuan
$\tan \phi$	0,142	0,143	0,128	0
ϕ_r	8,082	8,138	7,294	

Tabel 6. Nilai Tegangan Nomal Residual dan Tegangan geser Residual

Sampel	Tegangan Normal Residual	Tegangan Geser Residual
	(kN/m^2)	(kN/m^2)
L1	15,79	7,23
	31,58	9,41
	47,36	11,71
L2	15,79	7,61
	31,58	8,90
	47,36	12,13
L3	15,79	5,94
	31,58	7,42
	47,36	9,98

uji free swell

Berdasarkan Gambar 12, bahwa semakin besar nilai *plasticity index* terhadap nilai *free swell*, semakin besar *plasticity index*, maka semakin besar pula nilai *swell*, semakin besar pula nilai *liquid limit*, maka nilai *free swell* semakin besar pula. *free swell*, demikian pula *liquid limits* terhadap nilai *free*

b. Hubungan *Plasticity Index* dengan Sudut Geser

Hubungan hasil uji antara nilai *Plasticity Index* dengan sudut geser *asli peak*, *slurry peak* dan *slurry* konstan yang diplotkan pada Gambar 13, menghasilkan grafik hubungan antara *plasticity index* dan nilai sudut geser tanah asli *peak*, *slurry peak* dan *slurry* konstan.

Berdasarkan Gambar 13, dapat menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai *plasticity index*, nilai sudut geser residual tanah asli sesuai kaidah maka akan semakin rendah, untuk nilai sudut geser residual *peak* tanah *slurry* tidak sesuai kaidah, sedangkan nilai sudut geser residual konstan tanah *slurry* hasilnya mendarat.

Perbandingan hasil pengujian nilai *plasticity index* dengan sudut geser residual tanah asli *peak*, tanah *slurry peak* dan konstan diplotkan grafik Carter & Bentley (2016) dapat dilihat pada Gambar 14. Menurut Gambar 14 dari Carter & Bentley (2016), hasil penelitian tanah *slurry* dan tanah asli pada 3 lokasi menunjukkan bahwa hasil sudut geser *peak* dan *Plasticity Index* masih dalam lingkup *standart* deviasi hasil pengujian, sedangkan nilai sudut geser residual konstan dengan metode *slurry* jauh lebih kecil dari grafik hasil pengujian.

Tabel 10. Nilai Sudut Geser (ϕ) *Peak* Tanah Asli

Lokasi	L 1	L 2	L 3	Satuan
$\tan \phi$	0,645	0,549	0,558	0
Φ_r	32,822	31,442	31,983	

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan pada pengujian sifat fisis dan mekanis menunjukkan bahwa sampel tanah termasuk jenis lempung (*clay*) dengan mineral penyusun *kaolinite* dan kemampuan mengembang sedang, dan pengujian *direct shear* dari lokasi L1, L2, dan L3 didapatkan nilai sudut geser *residual peak* dengan metode *slurry* sebesar 29.249°; 31.341°; 31.964° dan nilai sudut geser residual konstan sebesar 8.082°; 8.138°; 7.294°, nilai sudut geser tanah asli memiliki nilai sebesar 32.82°; 31.44°; 31.98, Sedangkan hubungan antara nilai *plasticity index* dengan *free swell peak*, semakin tinggi nilai *plasticity index* maka nilai *free swell* akan semakin tinggi, dan hubungan antara *plasticity index* dengan nilai sudut geser *residual peak* menunjukkan hasil sudut geser *peak* dan *plasticity index* masih didalam lingkup standart deviasi hasil pengujian, sedangkan nilai sudut geser residual konstan dengan metode *slurry* jauh lebih kecil dari grafik hasil pengujian.

Ucapan Terima Kasih

Tertuju kepada semua dosen dan staf laboratorium Mekanika Tanah dan civitas akademik Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro dan Fakultas Teknik Undip yang telah mendanai keberlangsungan jurnal ini.

Daftar Pustaka

- Adelia, P. F., Koesriharti, Sunaryo. (2013). Penambahan Unsur Hara Mikro (Fe dan Cu) dalam Media Paitan Cair dan Kotoran Sapi Cair terhadap Pertumbuhan dan Hasil Bayam Merah (*amaranthus tricolor* L.) dengan Sistem Hidroponik Rakit Apung. *Jurnal Produksi Tanaman*, 1(3), 48–58.
- Adilaksono, I. C., Susilo, B., Sugiarto, Y. (2014). Rancang Bangun Mesin Pasteurisasi Jus Buah Otomatis dengan Teknologi berbasis Ohmic Heating. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 15(2), 121–128.
- ASTM International D1557. (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)). *ASTM International*. <https://doi.org/10.1520/D1557-12.1.3.1.3>
- ASTM International D2216-19. (2019). ASTM D2216-19 - Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. *ASTM International*, 7. <https://doi.org/10.1520/D2216-10>
- ASTM International D4318. (2005). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. *Report*, 04(March 2010), 1–14. <https://doi.org/10.1520/D4318-10>.
- ASTM International D854. (2010). Standard Test for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. In *ASTM International*. <https://doi.org/10.1520/D0854-1>
- ASTM Standard D3080/D3080M - 11. (2012). *Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. <https://doi.org/10.1520/D3080>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2018). *Data Bencana Tanah Longsor Kabupaten Semarang Tahun 2018*.
- Badan Pusat Statistik Jawa Tengah. (2018). *Jumlah Kejadian Bencana Alam Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah 2018*. <https://jateng.bps.go.id/indicator/152/511/1/jumlah-kejadian-bencana-alam-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-jawa-tengah.html>.
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundations*. United Kingdom: Wiley.
- Carter, M., Bentley, S. P. (2016). Soil Properties and their Correlations: Second Edition. In *Soil Properties and their Correlations: Second Edition*. <https://doi.org/10.1002/9781119130888>.
- Sobhan, K., Das, B. M. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering*. United States: Cengage Learning.
- Hani'ah, Firdaus, H. S., Nugraha, A. L. (2017). Analysis of Environmental Vulnerability in the Landslide Areas (Case Study: Semarang Regency). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 98(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012013>.
- Holtz, W. G., Gibbs, H. J. (1956). Triaxial shear tests on pervious gravelly soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 82(1), 867–1.
- IS 2720-40. (1977). *Determination of Free Swell Index of Soils*.
- Jackson, R. (2015). *Manual of Soil Laboratory Testing. Environmental & Engineering Geoscience*. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.21.3.247>.
- Kayyal, M. K., & Wright, S. G. (1991). *Investigation of Long-Term Strength Properties of Paris and Beaumont Clays in Earth Embankments*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Pardoyo, B. & Hardiyati, S. (2020). *The Effect of Swelling on the Composition of a Mixed White Soil with Expansive Clays in the Godong - Purwodadi Area Km 49, Grobogan Regency*. <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/34001/18826>.
- Pardoyo, B., Sadono, K.W., & Fahreza, D. M. T. (2020). The Effect of Clay Shale Drying on the Reduction of Compressive Strength and Durability in Bawen Sub-District, Semarang Regency. *Civil Engineering and Architecture*, vol 8 no.6, 1359–

1369. [https://doi.org/DOI:
10.13189/cea.2020.080619](https://doi.org/DOI:10.13189/cea.2020.080619).
- Tribun Jateng. (2017). *Data Kecamatan Rawan Longsor Pada Kabupaten Semarang*.
- Wesley, L. D. (2010). *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan & Residu*. Yogyakarta: Andi.
- Winduhutomo, S., Puswanto, E., Widiyanto, K., Raharjo, P. D. (2010). *Analisis Geologi Teknik Kegagalan Lereng Pada Karangsembung (Studi Kasus : Instabilitas Embung dan Cara Mengatasinya)*. 978–979.
- WSP International. (2001). *Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak. Pusat Litbang Prasarana Transportasi*.