

**Perbandingan Yield Stress dan Viskositas menggunakan  
Vane Shear Test dan Flow Box Test untuk Menjelaskan  
Perilaku Mudflow**



**Budijanto Widjaja, Ph.D.  
Prof. Paulus P. Rahardjo, Ph.D  
Adinda Raditya Putri (NPM 2010410039)  
David Wibisono Setiabudi (NPM 2010410015)  
Ivan Octora (NPM 2010410130)**

**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat  
Universitas Katolik Parahyangan  
2014**

# **Perbandingan Yield Stress dan Viskositas menggunakan Vane Shear Test dan Flow Box Test untuk Menjelaskan Perilaku Mudflow**

**Budijanto Widjaja, Ph.D**  
**Prof. Paulus P. Rahardjo, Ph.D**  
**Adinda Raditya Putri**  
**David Wibisono S.**  
**Ivan Octora**

---

## **ABSTRAK**

Di Indonesia ini seperti yang kita ketahui banyak daerah yang rawan *Mudflow* merupakan bentuk perpindahan material tanah yang berupa alirantanah pada tanah berbutir halus jenuh air. *Mudflow* terjadi saat tanah berada pada kondisi *viscous liquid* atau nilai indeks kecairan lebih dari 1. *Mudflow* yang terjadi di Sukaresmi, Cianjur pada Januari 2013 akan dianalisis pergerakannya dari daerah inisiasi hingga berhenti di daerah deposisi menggunakan bantuan program FLO-2D dengan parameter reologi berupa viskositas ( $\eta$ ) dan *yield stress* ( $\tau_y$ ) yang didapatkan dari hasil uji *Flow Box*. Simulasi akan dilakukan pada 3 Skenario berbeda, yaitu saat kadar air ( $w$ ) lebih kecil dari batas cair (LL), wsama dengan LL, dan wlebih besar dari LL. Sehingga dapat dilakukan suatu verifikasi dan validasi hasil uji *Flow Box* menggunakan program FLO-2D. Dari hasil simulasi program dapat diketahui bahwa *mudflow* terjadi saat kadar air sama dengan atau melebihi batas cair, dan nilai parameter reologi berpengaruh terhadap perilaku aliran *mudflow*.

*Kata kunci: Mudflow, kadar air, batas cair, FLO-2D, viskositas, yield stress*

# DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Inti Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
BAB II.....	4
2.1 Definisi <i>Mudflow</i> .....	4
2.2 Sumber <i>Mudflow</i> .....	6
2.3 Reologi <i>Mudflow</i> .....	7
2.3.1 Pengertian Reologi .....	7
2.3.2 Viskositas .....	7
2.3.3 Yield Stress .....	9
2.4 Uji Geser Baling-Baling ( <i>Vane Shear Test</i> ).....	9
2.4.1 Manfaat dan Penggunaan <i>Vane Shear Test</i> .....	9
2.4.2 Konfigurasi Alat.....	11
2.4.3 Interpretasi Hasil <i>Vane Shear Test</i> Terhadap Kuat Geser Tak Terdrainase.....	14
2.5 Metode Bingham.....	18
2.6 Flow Box Test.....	18
2.6.1 Pengertian Flow Box Test.....	18

2.6.2	Perangkat Alat <i>Flow Box Test</i> .....	20
2.6.3	Interpretasi Hasil Uji <i>Flow Box</i> .....	22
BAB III .....		26
3.1	Tahap-Tahap Penelitian .....	26
3.2	Pemodelan Uji Geser Baling-Baling.....	28
3.3	Prosedur Penelitian Uji Geser Baling-Baling .....	34
3.4	Prosedur Pengujian <i>Flow Box</i> .....	38
BAB IV .....		57
4.1	Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	57
BAB V.....		58
5.1	Hasil Uji Indeks Propertis.....	58
5.2	Output Bacaan Uji Geser Baling-Baling.....	61
5.2.1	Kaolin.....	61
5.2.2	Parakan Muncang.....	67
5.3	Analisis Hasil Penelitian Uji Geser Baling-Baling.....	72
5.3.1	Analisis Area Pengaruh.....	72
5.4	Analisis Nilai Kuat Geser Tak Terdrainase ( $s_u$ ), <i>Yield Stress</i> ( $\tau_y$ ), dan Viskositas ( $\eta$ ) Pada Kaolin dan Tanah Longsor Parakan Muncang .....	75
5.4.1	Kaolin.....	75
5.4.2	Parakan Muncang.....	76
5.5	Data <i>Yield Stress</i> dari Uji Geser Baling-Baling Untuk Perhitungan Viskositas <i>Flow Box</i> .....	76
5.6	Hasil Uji <i>Flow Box</i> .....	78
5.6.1	Hasil Uji <i>Flow Box</i> Tanah Kaolin.....	78
5.6.2	Hasil Uji <i>Flow Box</i> Tanah Longsor Parakan Muncang .....	80
5.7	Perbandingan Nilai Viskositas.....	82

5.7.1	Perbandingan Nilai Viskositas Tanah Kaolin .....	82
5.7.2	Perbandingan Nilai Viskositas Tanah Longsoran Parakan Muncang 84	
5.8	Membandingkan Hasil Viskositas Dari Uji Geser Baling-Baling dan <i>Flow Box Test</i> Terhadap Data Terpublikasi.....	87
6.1	Kesimpulan .....	110
6.2	Saran .....	59
	DAFTAR PUSTAKA .....	55

## DAFTAR GAMBAR

1.1 Hubungan Antara <i>Yield Stress</i> dan <i>Shear Strain Rate</i> dengan Uji Geser Baling-Baling (Skempton and Northey, 1952).....	2
Gambar 2.1 Pergerakan <i>Mudflow</i> (Widjaja, 2013) .....	5
Gambar 2.2 Konfigurasi <i>Vane Shear Test</i> (Scnaid, 2009) .....	13
Gambar 2.3 Tipe baling-baling <i>Vane Shear Test</i> (ASTM D2573) .....	14
Gambar 2.4 Hasil Kuat Geser Tak Terdrainase dari uji VST (Ortigao dan Collet, 1987) .....	16
Gambar 2.5 Penentuan Nilai Viskositas Dengan <i>Bingham Model</i> (Widjaja & Lee, 2013) .....	18
Gambar 2.6 Alat Uji <i>Flow box</i> (Widjaja dan Lee, 2013).....	22
Gambar 2.7 Tahap-tahap Menentukan Viskositas (Widjaja dan Lee, 2013) .....	22
Gambar 2.8 Hubungan antara viskositas dan LI (Widjaja dan Lee, 2013) .....	25

## DAFTAR TABEL

2.1	Errol pada pengujian <i>vane shear test</i> (ASTM D2573).....	11
2.2	Rekomendasi ukuran baling-baling VST (ASTM D2573) .....	13
2.3	Sensitivitas tanah lempung (Skempton dan Northey, 1952).....	17
5.1	Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi.....	62
5.2	Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 61.08% .....	63
5.3	Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi.....	64
5.4	Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi.....	65
5.5	Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 79.28% .....	66
5.6	Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi.....	68
5.7	Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi.....	69
5.8	Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 62.65% .....	70
5.9	Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada .....	71
5.10	Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada .....	72
5.11	Nilai <i>Yield Stress</i> yang Digunakan untuk Perhitungan Viskositas ( $\eta$ ) Tanah Kaolin pada Uji <i>Flow Box</i> .....	77
5.12	Nilai <i>Yield Stress</i> Yang Digunakan Untuk Perhitungan Viskositas ( $\eta$ ) Tanah Longsor Parakan Muncang Pada Uji <i>Flow Box</i> .....	78
5.13	<i>Liquidity Index (LI)</i> , <i>Yield Stress</i> , dan Viskositas ( $\eta$ ) Tanah Kaolin .....	79
5.14	Hasil Viskositas ( $\eta$ ) Tanah Longsor Parakan Muncang Berdasarkan <i>Flow Box</i> .....	81

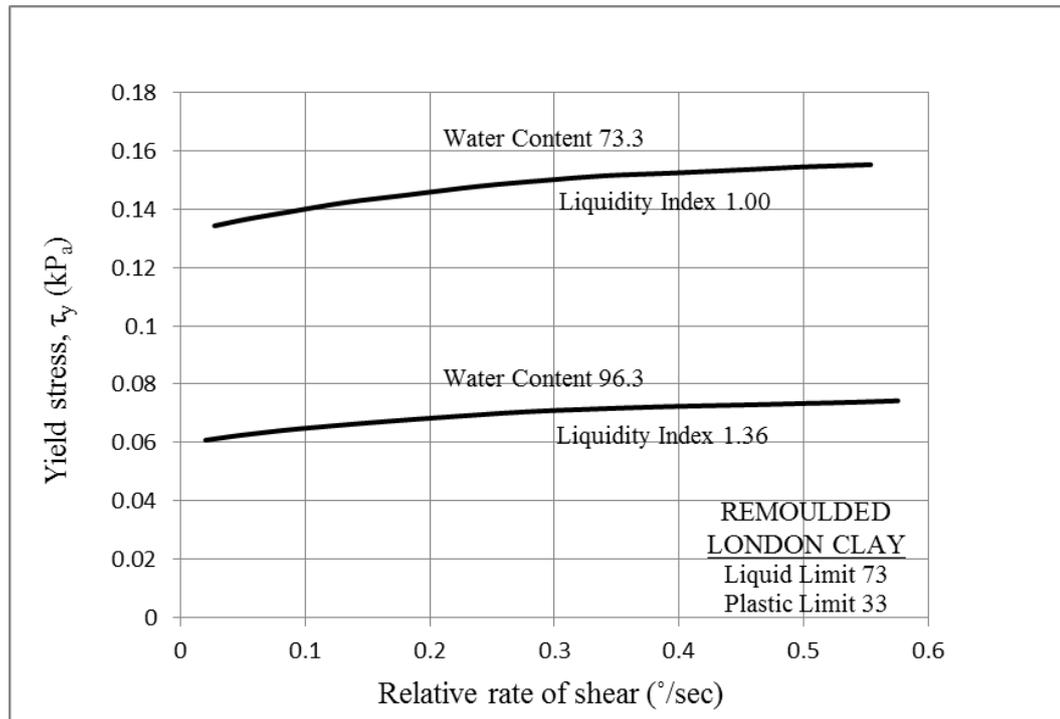
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Longsoran pada umumnya dibagi menjadi 3 tipe longsoran, yaitu longsoran tipe aliran lambat (*slow flowage*), tipe aliran cepat (*rapid flowage*), tipe luncuran (*landslide*). Longsoran tipe cepat (*rapid flowage*) terdiri dari : aliran lumpur (*mudflow*), aliran campuran massa tanah dan batuan (*debris flow*). *Mudflow* adalah longsoran dengan tipe aliran cepat dengan kondisi kadar air sama atau lebih dari batas cair (*liquid limit*). Menurut Hung et al. (2001), kecepatan *mudflow* adalah sangat cepat dengan kecepatan melebihi 5 cm/s. Di Indonesia, bencana besar *mudflow* pernah terjadi di Karanganyar (2007) dan Ciwidey (2010) dengan panjang transportasi sebesar 260 meter dan 3300 meter (Widjaja., et al., 2013).

Ide awal penelitian ini berasal dari penelitian Skempton and Northey (1952) seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1. Hasil penelitian mereka berupa kurva reologi hubungan antara *yield stress* dan *shear strain rate* yang digunakan untuk menurunkan parameter reologi yaitu *yield stress* ( $\tau_y$ ) dan viskositas ( $\eta$ ) dari uji geser baling-baling (VST).



**Gambar 1.1** Hubungan Antara *Yield Stress* dan *Shear Strain Rate* dengan Uji Geser Baling-Baling (Skempton and Northey, 1952)

Untuk mengetahui kecepatan pergerakan dari tanah longsor itu tergantung dari viskositas tanah tersebut. Adapun menurut Cruden and Varnes (1996) dan Varnes (1978), kecepatan aliran dari *mudflow* tergantung dari parameter viskositas aliran. Oleh karena itu, untuk mengetahui kecepatan *mudflow* atau tanah longsor tersebut dibutuhkan parameter viskositas. Dalam mendapatkan parameter viskositas ( $\eta$ ) aliran tanah longsor atau *mudflow* tersebut dilakukan penelitian menggunakan uji *flow box*. Sebelum mendapatkan parameter dari viskositas tersebut harus mendapatkan terlebih dahulu parameter input reologi yang dibutuhkan yaitu *yield stress* ( $\tau_y$ ). Pada penelitian ini untuk mendapatkan

nilai dari *yield stress* harus dilakukan uji geser baling-baling (*vane shear test*). Penelitian ini dilakukan dengan lima sampel kadar air yang berbeda yaitu pada kondisi 0.8LL, 0.9LL, 1.0LL, 1.1LL, dan 1.2LL.

## 1.2 Inti Permasalahan

Inti permasalahan adalah nilai kuat geser (*yield stress*) ( $\tau_y$ ) dan viskositas ( $\eta$ ) yang didapat dari uji *vane shear* aplikatif atau tidak untuk kasus longsor.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Untuk mengetahui pengaruh dari nilai kuat geser tanah (*yield stress*) dan viskositas dari uji geser baling-baling dibandingkan dengan data terpublikasi kuat geser dan viskositas dari penelitian yang telah ada.
2. Mendapatkan nilai viskositas ( $\eta$ ) tanah berdasarkan uji *flow box* dengan menggunakan data *yield stress* yang diturunkan dari uji geser baling-baling.
3. Membandingkan nilai viskositas tanah berdasarkan uji *flow box* dan uji geser baling-baling.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

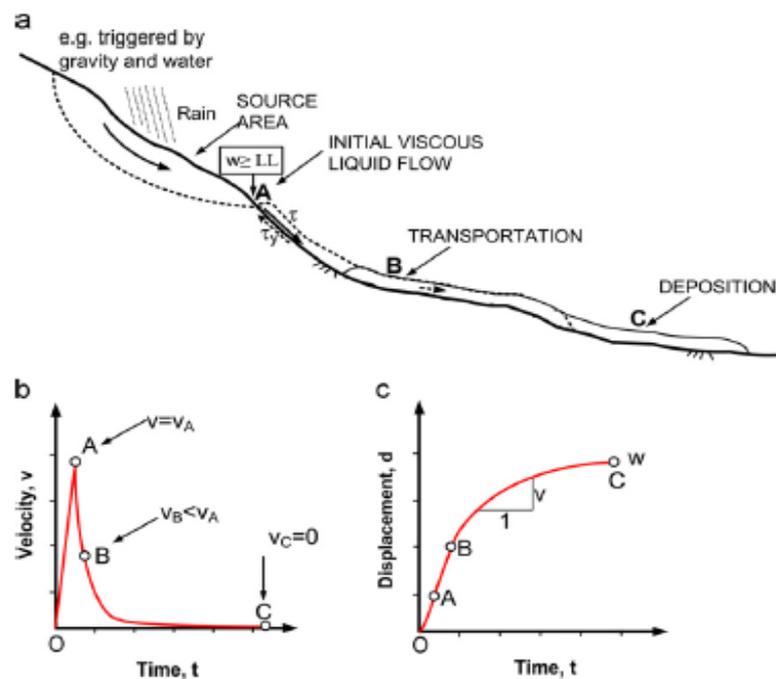
#### 2.1 Definisi *Mudflow*

Pergerakan tanah di daerah pegunungan dan perbukitan yang dapat mengakibatkan keruntuhan atau kegagalan lereng digolongkan berdasarkan dengan jenis pergerakan dan material yang dibawanya, salah satunya adalah *mudflow* (Varnes, 1978). *Mudflow* adalah pergerakan berupa aliran material tanah yang 80% nya berupa butiran tanah berukuran kurang dari 2 milimeter (Shroder, 1971) yang jenuh air hingga akhirnya mengalir dalam kondisi cairan kental (Hutchinson and Bhandari, 1971; Keefer and Johnson, 1983; e.g., Hutchinson, 1998). *Mudflow* terjadi saat kadar air sama atau melebihi batas cair tanah tersebut (Hungry et al., 2001). Sharma (2010) menyimpulkan bahwa *mudflow* dalam keadaan *viscous liquid* akan mulai mengalami pergerakan jika kadar airnya sudah melebihi 50%.

Kecepatan aliran dari *mudflow* ini bisa sangat cepat,  $v \geq 0.05$  m/detik (*very rapid*) bahkan sangat cepat sekali,  $v \geq 5$  m/detik (*extremely rapid*) tergantung dari viskositas aliran (Cruden and Varnes, 1996; Varnes, 1978). Karena pergerakan aliran tanah yang sangat cepat dan dapat bersifat tiba-tiba, *mudflow* sangat berpotensi menyebabkan kerusakan yang besar bagi area yang terkena oleh alirannya.

Hujan lebat bisa berperan sebagai pemicu terjadi *mudflow* dan dapat bergerak dengan ketebalan yang tergantung pada kondisi tanah di lokasi (Liu and Mason, 2009). Kecuraman lereng rawan *mudflow* biasanya berkisar antara  $25^\circ$  –  $53^\circ$  (Liu and Mason, 2009) atau  $25^\circ$  –  $40^\circ$  (Schroot et al., 1996).

*Mudflow* tidak selalu tersusun dari butiran halus tapi bisa juga terdiri dari campuran batuan kecil atau kerikil (Fang and Daniels, 2006). Tetapi itu semua tidak berpengaruh terhadap perilaku dari cairan *mudflow* tersebut (O'Brien, 2003). Analisis *mudflow* mempertimbangkan tiga area utama yaitu daerah sumber *mudflow*, daerah transportasi, dan daerah deposisi. Siklus terjadinya *mudflow* yaitu pertama daerah yang terjadinya *mudflow* itu diakibatkan oleh gravitasi dan hujan yang sangat lebat sehingga kadar air pada daerah tersebut meningkat dari kondisi biasanya. Akibat dari kadar air meningkat maka tegangan geser bisa saja melampaui dari *yield stress* pada tanah tersebut sehingga tanah yang jenuh air akibat meningkatnya kadar air (*mudflow*) akan bergerak sepanjang permukaan tanah atau daerah transportasi *mudflow*. Setelah melewati daerah transportasi *mudflow*, maka *mudflow* tersebut akan berhenti. Daerah pemberhentian *mudflow* tersebut dinamakan dengan daerah deposisi.



Gambar 2.1 Pergerakan *Mudflow* (Widjaja, 2013)

## 2.2 Sumber *Mudflow*

Pemicu terjadinya *mudflow* digolongkan menjadi dua menurut Terzaghi (1950), Krynine et al. (1957), Fritz dan Moore (1988). Day (1999), dan Woo (1999):

1. Pemicu internal:
  - a. Longsor (*landslides*) atau pergerakan tanah rayapan (*creep*)
  - b. Jenis tanah dan ketebalan *source area*
  - c. Kecuraman dan panjang lereng di *source area*
2. Pemicu eksternal:
  - a. Jumlah dan intensitas dari curah hujan  
Terutama saat curah hujan tinggi pada satu daerah dengan tingkat vegetasi yang rendah.
  - b. Getaran  
Gempa, letusan gunung berapi, pemancangan tiang.
  - c. Perubahan iklim  
Erosi, penggundulan hutan akibat kebakaran hutan atau penebangan, dan faktor-faktor lain akibat tindakan manusia

Penyebab terjadinya *mudflow* juga berhubungan erat dengan perubahan kondisi alam seperti intensitas curah hujan, penggundulan hutan, aktivitas tektonik yang berkaitan dengan aktivitas gunung berapi, kondisi geologi, dan kondisi tanah (Sidle dan Ochiai, 2006; Marfai et al., 2008). Karena kondisi yang sulit diprediksi dan kompleks, pemantauan dan memperoleh data pada permulaan *mudflow* sangat sulit (Hough, 1957).

Pergerakan *mudflow* yang seperti aliran (Gambar 2.2a), biasanya berbentuk seperti sungai kecil dan dangkal mengikuti geometri lereng, kemudian menyebar jika telah mencapai area yang datar, meskipun ketebalan material

*mudflow* sudah sangat tipis namun material akan tetap bergerak mencari daerah yang lebih rendah karena pengaruh gaya gravitasi. Jika aliran berada pada kondisi lereng yang lebih curam, material akan bergerak mengalir membentuk suatu saluran yang agak dalam (*channel*).

## **2.3 Reologi *Mudflow***

### **2.3.1 Pengertian Reologi**

*Mudflow* merupakan salah satu longsoran yang dikarenakan dalam keadaan *liquidity index* sama dengan 1 atau *liquidity index* melebihi 1. Pendekatan Mohr Coulomb untuk mendapatkan nilai kuat geser yang terjadi di *mudflow* tidak berlaku. Oleh karena itu, pendekatan yang digunakan oleh *mudflow* yaitu pendekatan model reologi. Reologi (hukum konstitutif) didefinisikan sebagai ilmu yang menangani deformasi dan aliran material atau studi tentang sifat-sifat aliran dan deformasi dari suatu tekanan (Vyalov, 1986; Lorenzini dan Mazza, 2004). Adapun dua parameter reologi *mudflow* yaitu viskositas, dan *yield stress*. Selain itu studi mengenai reologi dari *mudflow* yaitu fluida Non-Newtonian, fluida Newtonian, reologi Bingham, dan Herschel-Bulkley.

### **2.3.2 Viskositas**

Viskositas bisa diartikan sebagaimana bertindak sebagai daya hambat suatu fluida untuk mengalir, dengan analogi yang sama sebagai suatu gesekan untuk benda padat, dengan kata lain viskositas merupakan ketidakmampuan untuk

mendukung tegangan geser di dalam kesetimbangan statis. Viskositas disebabkan karena kohesi dan pertukaran momentum molekuler diantara lapisan layer fluida pada saat fluida tersebut mengalir (Setiawan, 2008). Adapun penyebab lainnya terjadi viskositas yaitu temperatur, bentuk partikel, konsentrasi larutan, dan lain-lain. *Viscometry* adalah ilmu yang mempelajari viskositas atau kekentalan zat cair memandang cairan sebagai suatu lapisan-lapisan yang saling menumpuk. Pada saat lapisan atas digerakkan maka antar permukaan ini saling bergesekan, hal inilah yang diukur sebagai viskositas atau kekentalan. Untuk kasus *mudflow* atau longSORAN jika nilai viskositas tinggi maka pergerakan dari *mudflow* atau longSORAN tersebut akan bergerak lambat sedangkan apabila nilai viskositas rendah maka *mudflow* atau longSORAN akan bergerak lebih cepat.

Viskositas digambarkan menjadi dua bentuk yaitu:

1. Viskositas dinamik, yaitu perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya nilai viskositas dinamik tergantung dari temperatur, konsentrasi larutan, bentuk partikel dan sebagainya. Satuan dari viskositas dinamik yaitu  $\text{Pa}\cdot\text{s}$  ( $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0.1 \text{ P (poise)} = 1 \text{ N/m}^2 \text{ s}$ ).
2. Viskositas kinematik, yaitu perbandingan viskositas dinamik terhadap kerapatan massa jenis dari fluida tersebut. Viskositas kinematik mempunyai sebuah satuan  $\text{m}^2/\text{s}$ .

Adapun pengukuran laboratorium mengenai viskositas yaitu dengan menggunakan alat *viscometer*, dan MBT (*moving ball test*). Selain model pengukuran tersebut, untuk pengukuran viskositas pada penelitian ini yaitu menggunakan *flow box test* dan *vane shear test*.

### 2.3.3 Yield Stress

*Yield stress* ( $\tau_y$ ) merupakan salah satu parameter reologi yang harus diketahui untuk menghitung viskositas *mudflow* atau longsoran. Untuk kasus lumpur (*mud*), jika tegangan geser material lebih rendah dari *yield stress*, material lumpur tersebut tidak berada dalam kondisi mengalir, sedangkan jika tegangan geser material lebih tinggi dari *yield stress*, maka material lumpur tersebut akan berperilaku mengalir.

## 2.4 Uji Geser Baling-Baling (*Vane Shear Test*)

### 2.4.1 Manfaat dan Penggunaan *Vane Shear Test*

*Vane Shear Test* (VST) merupakan alat *in-situ* yang digunakan untuk menentukan nilai kuat geser tak terdrainase dari suatu tanah. Kapasitas VST dapat mencapai pada kuat geser hingga 200 kPa pada tanah lunak jenuh air. Dari penelitian sebelumnya, pengujian VST pada tanah dengan konsistensi medium hingga lempung lunak diperoleh nilai  $s_u \leq 50$  kPa. VST juga dapat digunakan pada tanah lanau, gembur dan material tanah lainnya yang dapat diprediksi kekuatan geser tak terdrainase-nya. Metode penggunaan VST ini tidak dapat diaplikasikan pada

tanah pasir, gravel, dan jenis tanah lainnya yang memiliki permeabilitas tinggi. Pada penelitian sebelumnya diperoleh bahwa alat VST memang dibutuhkan untuk tes pada tanah yang memiliki permeabilitas rendah untuk respon dari suatu pengujian untuk menggambarkan kuat geser tak terdrainase.

Tes ini dilakukan pada tahun 1919 di Swedia kemudian dikembangkan oleh John Olsson (di Flodin dan Broms, 1981). VST terdiri dari empat baling-baling (*blade*) berbentuk persegi panjang dengan sudutnya  $90^\circ$ , baling-baling tersebut kemudian akan didorong masuk ke dalam tanah kemudian diikuti dengan pengukuran torsi yang dibutuhkan pada prosedur uji ketika baling-baling menggeser tanah. Torsi yang didapat dapat mengukur seberapa besar perlawanan tanah yang muncul akibat pergeseran yang diterima dari baling-baling.

Beberapa keuntungan dari penggunaan VST ini adalah

1. Salah satu metode *in-situ* yang ekonomis dan cukup cepat dalam prosedur pengujian di lapangan.
2. Dapat mengukur kuat geser tanah dalam kapasitas yang besar hingga 200 kPa.
3. VST dapat menentukan propertis tanah lunak sensitif yang sulit dilakukan di laboratorium tanpa perlakuan yang halus.

4. Salah satu alat yang sering digunakan dalam menganalisis kuat geser tak terdrainase.

Adapun beberapa kekurangan dari penggunaan VST ini adalah

1. VST dapat terjadi kesalahan (error) yang diakibatkan oleh kelebihan gaya gesek pada batang VST, kalibrasi torsi yang tidak sesuai, derajat putaran yang tidak memenuhi standar.
2. Sangat tergantung pada operator dalam memutar VST sehingga keakuratan hasil sangat dipengaruhi pada operator yang melakukan.

ASTM D2573 memberikan beberapa sumber-sumber mayor mengenai eror yang terjadi di alat uji *vane shear*.

**Tabel 2.1** Eror pada pengujian *vane shear test* (ASTM D2573)

Masalah	Efek	Pengaruh pada ukuran kekuatan
Pergeseran antara torsi pada batang vst dan tanah	Pengukuran termasuk ketidakakuratan bacaan tahanan tanah	Meningkat
Putaran baling-baling terlalu cepat	Tanah bergeser terlalu cepat	Meningkat
Tes dilakukan pada tanah terganggu	Struktur tanah rusak	Menurun
Tidak diketahui jenis tanah pasir/lanau	Terjadi drainase saat pengujian	Meningkat

#### 2.4.2 Konfigurasi Alat

*Vane shear test* terdiri atas *measuring unit*, *protection pipe*, *rod*, *ball bearing*, *protection shoe*, *vane* (baling-baling). Adapun beberapa variasi baling-baling yang

dijijinkan pada pengujian ini, yaitu tipe baling-baling menyudut (*tapered vane*) dan tipe baling-baling persegi panjang (*rectangular vane*). Tipe baling-baling menyudut, pada bagian sisi tepi baling-baling memiliki ukuran sudut  $90^\circ$ . Tinggi baling-baling lebih baik berukuran  $2D$  di mana  $D$  adalah diameter dari baling-baling.

Baling-baling harus terhubung pada bagian *measuring unit* dengan tambahan batang besi (*rod*), batang besi tersebut harus memiliki diameter tertentu sehingga batas elastis batang besi tidak terlampaui kapasitasnya ketika baling-baling menekan tanah. Torsi yang terletak pada *measuring unit* juga harus terhubung pada batang besi dan baling-baling. Akurasi pembacaan torsi harus sedemikian rupa sehingga akan menghasilkan kekuatan geser tidak melebihi 1.2 kPa.

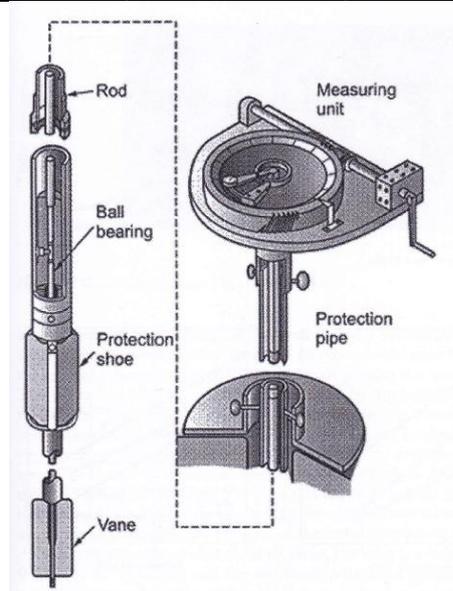
Untuk melakukan putaran atau torsi lebih baik dengan cara otomatis karena dapat berpengaruh pada pengukuran kuat geser tak terdrainase, jika dilakukan putaran atau torsi secara manual harus dilakukan dengan persyaratan yang ada. Lamanya putaran atau torsi yang dilakukan harus dikontrol dengan persyaratan yang ada. Durasi putaran yang diijinkan oleh ASTM D2573 adalah sebesar  $0.1^\circ/s$  atau setara dengan  $6^\circ/\text{menit}$ .

Ukuran baling-baling harus diperhatikan karena ukuran baling-baling memberikan efek yang signifikan terhadap pengukuran kuat geser tak terdrainase.

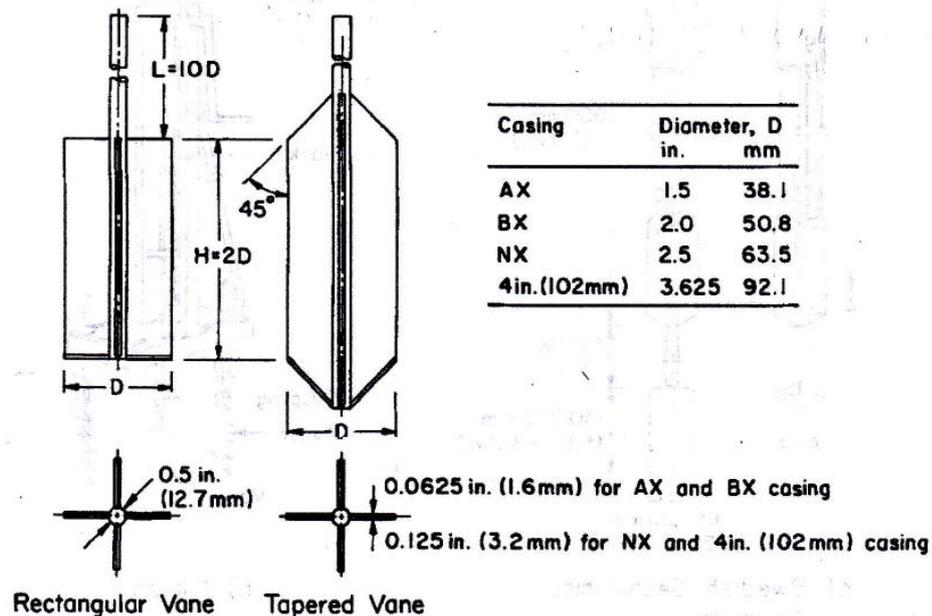
Adapun beberapa ukuran yang direkomendasikan oleh ASTM D2573 tentang ukuran baling-baling yang ditentukan pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2 Rekomendasi ukuran baling-baling VST (ASTM D2573)**

Type Ukuran	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Tebal baling-baling (mm)	Diameter <i>vane rod</i> (mm)
AX	38.1	76.2	1.6	12.7
BX	50.8	101.6	1.6	12.7
NX	63.5	127.0	3.2	12.7
101.6 mm	92.1	184.1	3.2	12.7



**Gambar 2.2 Konfigurasi Vane Shear Test (Scnaid, 2009)**



Gambar 2.3 Tipe baling-baling *Vane Shear Test* (ASTM D2573)

### 2.4.3 Interpretasi Hasil *Vane Shear Test* Terhadap Kuat Geser Tak Terdrainase

Dalam penentuan nilai kuat geser tak terdrainase yang didapat dari pengukuran torsi, sebaiknya menentukan beberapa asumsi terlebih dahulu

1. Tanah dalam keadaan tak terdrainase, tidak ada konsolidasi pada saat melakukan uji geser baling-baling.
2. Tidak ada gangguan dikarenakan operasi bor atau pemasangan baling-baling.
3. Zona *remolded* disekeliling baling-baling sangat kecil.
4. Tidak ada kesalahan saat melakukan uji yang dapat berdampak pada nilai torsi yang berpengaruh pada perhitungan kuat geser tanah.
5. Kondisi *isotropic* pada massa tanah.

Pada perhitungan kuat geser tak terdrainase pada uji geser baling-baling, besarnya nilai kuat geser tak terdrainase dipengaruhi oleh torsi maksimum dan luas permukaan pada jenis baling-baling tipe tertentu.

Tipe *rectangular* :

$$(s_u)_{fv} = \frac{6 \cdot \tau_{\max}}{7 \cdot \Pi \cdot D^3} \quad (2.1)$$

Di mana :

$(s_u)_{fv}$  = kuat geser tak terdrainase dari VST

$\tau_{\max}$  = nilai torsi maksimum yang didapat dari pengujian

$D$  = diameter baling-baling

Tipe *tappered* :

$$(s_u)_{fv} = \frac{12 \cdot \tau_{\max}}{\pi D^2 \left( \frac{D}{\cos(iT)} + \frac{D}{\cos(iB)} + 6H \right)} \quad (2.2)$$

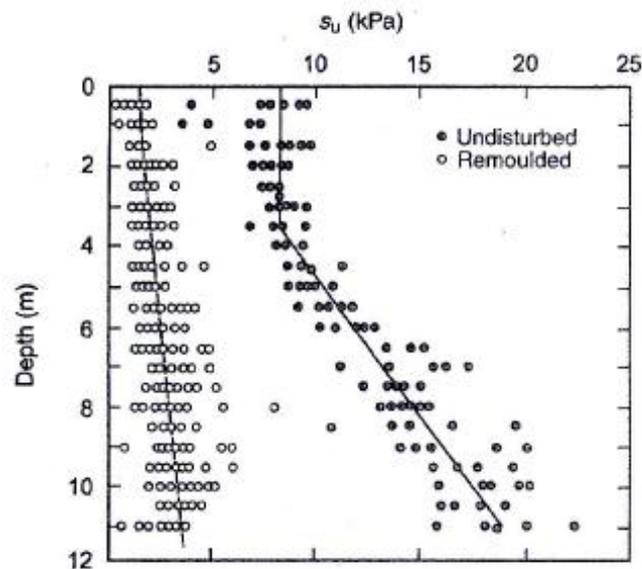
Di mana :

$H$  = tinggi baling-baling

$iT$  = sudut dari baling-baling bagian atas

$iB$  = sudut dari baling-baling bagian bawah

Persamaan 2.1 dan 2.2 dapat digunakan untuk menghitung kuat geser tak terdrainase pada kondisi *undisturbed* dan kondisi *remolded* dimana kondisi *remolded* didapat dari rotasi yang dilakukan setelah pengujian kondisi *undisturbed* sebanyak 5-10 kali rotasi.



**Gambar 2.4** Hasil Kuat Geser Tak Terdrainase dari uji VST (Ortigao dan Collet, 1987)

Pada gambar 2.4 menunjukkan bahwa nilai *residual strength* adalah 4 atau 6 kali lebih kecil dari nilai *peak strength*, perbedaannya semakin besar seiring dengan pertambahan kedalaman. Pada saat nilai kuat geser tak terdrainase pada kondisi *undisturbed* ( $s_u$ ) dan kondisi *remolded* ( $s_{ur}$ ) sudah diketahui, maka nilai sensitivitas ( $s_t$ ) pada tanah dapat diestimasi dengan persamaan (2.3).

$$s_t = s_u / s_{ur} \quad (2.3)$$

Skempton dan Northey (1952) mengklasifikasikan nilai sensitivitas ( $s_t$ ) dari berbagai macam jenis tanah.

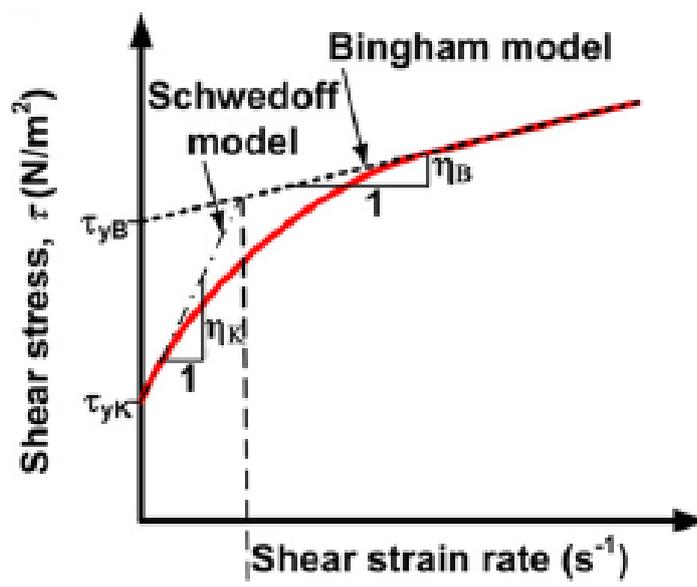
Selama hasil uji geser baling-baling lapangan memberikan hasil yang dapat dipercaya, dapat dilakukan pengukuran ulang dengan biaya yang rendah, ada baiknya untuk tetap melakukan evaluasi efek yang dapat berdampak pada ilai pengukuran dengan cara melakukan perhitungan geoteknik. Efek kecepatan putaran, tanah *anisotropy*, dan drainase parsial adalah faktor penting yang memberikan pengaruh pada nilai kuat geser tak terdrainase pada uji geser baling-baling.

**Tabel 2.3** Sensitivitas tanah lempung (Skempton dan Northey, 1952)

<i>Sensitivity</i>	$S_t$
<i>Insensitivity clays</i>	1.0
<i>Low sensitivity</i>	1-2
<i>Medium sensitivity</i>	2-4
<i>Sensitive</i>	4-8
<i>Extra sensitivity</i>	>8
<i>Quick clays</i>	>16

## 2.5 Metode Bingham

Penentuan nilai viskositas dari uji geser baling-baling digunakan teori dari *Bingham model*, yaitu dengan menarik garis singgung sehingga didapatkan nilai *yield stress* ( $\tau_y$ ) dan kemiringan garis singgung itulah yang dapat ditentukan nilai viskositasnya.



**Gambar 2.5** Penentuan Nilai Viskositas Dengan *Bingham Model* (Widjaja & Lee, 2013)

## 2.6 Flow Box Test

### 2.6.1 Pengertian Flow Box Test

*Flow box test* merupakan alat uji laboratorium untuk mengukur viskositas dari *mudflow* atau longoran. Alat *flow box* merupakan gabungan konsep model *trap door* (Terzaghi, 1943) dan model reologi Bingham untuk sampel tanah *clay*.

Persamaan dari pengembangan alat *flow box* ini yaitu teori *trap door* Terzaghi dan reologi Bingham adalah sebagai berikut:

$$\frac{d\sigma_v}{dz} + C_1 \times \sigma_v = \gamma + 2C\sqrt{Ka} \frac{P}{A} \quad (2.4)$$

$$C_1 = \frac{P}{A} Ka \quad (2.5)$$

di mana:  $\sigma_v$  = tegangan vertikal total

$\gamma$  = berat isi tanah

$Ka$  = koefisien tekanan tanah aktif

$P$  = keliling

$A$  = luas yang tegak lurus dengan gaya vertikal

$C_1$  = konstanta *flow box*

Kecepatan aliran *mudflow* atau longsor sangat berpengaruh pada viskositas. Apabila viskositas tinggi maka kecepatan aliran dari *mudflow* atau longsor semakin lambat, dan apabila viskositas rendah maka kecepatan dari aliran *mudflow* atau longsor semakin cepat. Untuk mengetahui kecepatan dari aliran *mudflow* atau longsor tersebut bisa dilihat pada Persamaan 2.6.

$$v(t_2) = \frac{-c\left(2 + \frac{H}{BC_2}\right) + q - \frac{\gamma}{C_1} + \frac{\gamma H}{C_2}}{\frac{\eta \times H}{B^2 \times C_2}} + v(t_1) \quad (2.6)$$

$$C_2 = (1 - e^{-C_1 \times H}) \quad (2.7)$$

di mana:  $c$  adalah nilai kohesi (*yield stress*),  $H$  adalah tinggi kotak bawah *flow box*,  $B$  adalah lebar *trap door*,  $\gamma$  adalah *unit weight*,  $\eta$  adalah viskositas,  $C_1$  dan

$C_2$  adalah konstanta *flow box*. Nilai kohesi ( $c$ ) pada persamaan diatas berdasarkan hasil dari uji geser baling-baling yang dilakukan oleh Setiabudi (2014).

*Flow box test* ini memberikan keuntungan untuk mengukur viskositas dalam kondisi plastis dan kondisi cair dengan menggunakan data *displacement*.

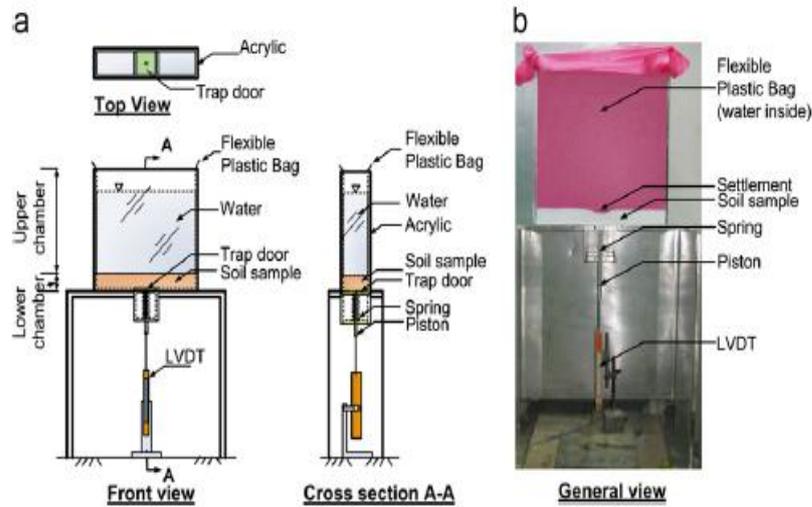
Asumsi dari alat *flow box* ini yaitu:

1. Kondisi *plane strain* adalah dalam 2D.
2. Materialnya adalah *isotropic* pada keadaan diam atau dalam keadaan bergerak.
3. Bidang keruntuhan yang terjadi yaitu vertikal.
4. Viskositas tergantung pada waktu.
5. *Trap door* bergerak menjauhi dari tanah (kondisi aktif).
6. *Yield stress* konstan dalam keadaan diam atau bergerak, tapi viskositas berubah pada kondisi bergerak.
7. Temperatur konstan.

### **2.6.2 Perangkat Alat *Flow Box Test***

Alat dari uji *flow box* ini terdiri dari dua *box* yang berbeda yang terbuat dari bahan *acrylic* dengan tebal 1 cm. Kotak bagian atas memiliki dimensi yaitu tinggi 40 cm, lebar 8 cm, dan panjang 10 cm. Kotak bagian atas berfungsi untuk menerima atau menyimpan beban sebesar 14 kg, biasanya beban yang dipakai berupa air 14 kg. Kemudian kotak bagian bawah memiliki dimensi yaitu

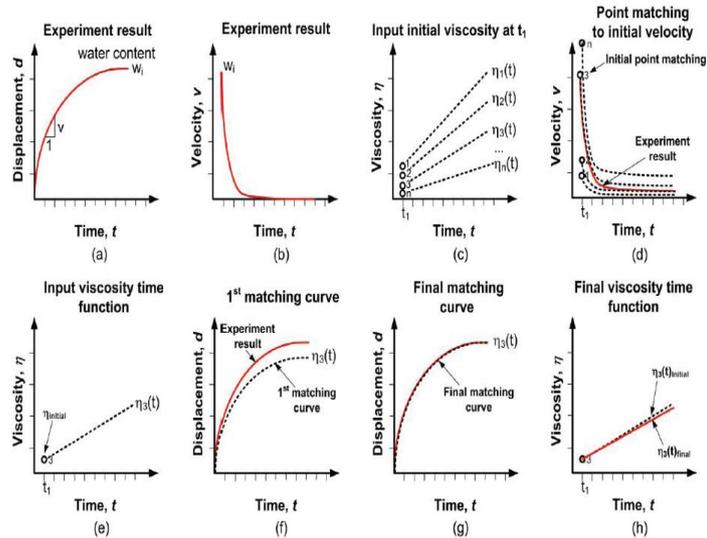
panjang sebesar 40 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 5 cm. Kotak bagian bawah ini berfungsi untuk menyimpan sampel tanah *mudflow* atau longsoran yang akan diuji. Selain itu juga kotak bagian bawah dilengkapi dengan *trap door* yang memiliki dimensi yaitu lebar sebesar 8 cm, dan panjang 10 cm. *Trap door* ini diletakkan pada bagian tengah kotak bawah. *Trap door* ini dilengkapi dengan piston, tetapi piston itu dilengkapi dengan pegas agar sewaktu pengujian dapat menahan kecepatan dari aliran *mudflow* atau longsoran. Piston tersebut dihubungkan ke LVDT (*Linear Variable Deformation Transformer*) dan LVDT tersebut terhubung dengan laptop atau komputer. Untuk terhubung ke komputer, LVDT tersebut harus terhubung terlebih dahulu ke *Digital Reading DI-10P*. Fungsi dari LVDT tersebut yaitu untuk membaca *displacement* yang terjadi pada tanah *mudflow* atau longsoran tersebut melalui *Digital Reading DI-10P* sehingga terbaca pada komputer atau laptop. Bisa dilihat gambar mengenai alat uji *flow box* pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Alat Uji Flow box (Widjaja dan Lee, 2013)

2.6.3 Interpretasi Hasil Uji Flow Box

Hasil dari uji flow box yaitu berupa nilai displacement terhadap waktu. Untuk mengetahui nilai viskositas tanah mudflow atau longSORAN yang diuji dengan flow box, bisa dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Tahap-tahap Menentukan Viskositas (Widjaja dan Lee, 2013)

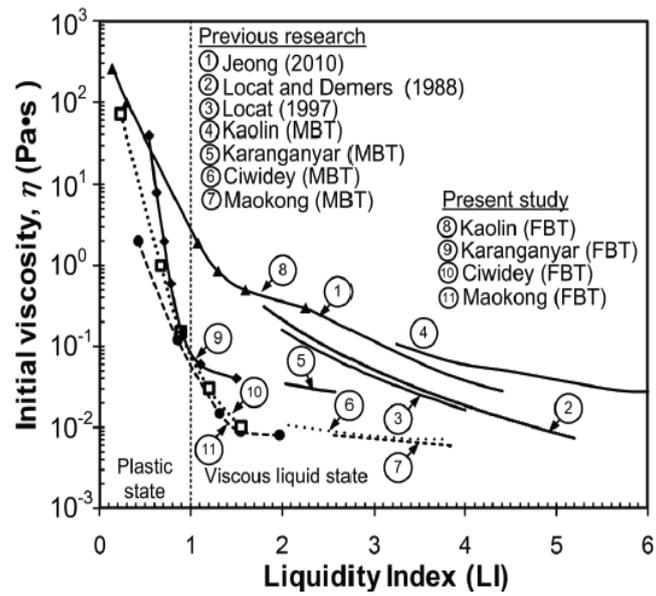
Menurut Widjaja dan Lee (2013) penjelasan dari Gambar 2.12 tentang tahap-tahap penentuan viskositas tanah *mudflow* atau longsor yang diuji yaitu sebagai berikut:

1. Pada Gambar 2.7.a merupakan hasil dari uji *flow box* yaitu berupa kurva hubungan antara *displacement* dan waktu.
2. Pada Gambar 2.7.b merupakan turunan pertama berupa hubungan kecepatan terhadap waktu.
3. Diasumsikan bahwa viskositas merupakan hubungan linear terhadap waktu, bisa dilihat pada Gambar 2.7.c, viskositas dihitung dengan menggunakan persamaan yang diturunkan dari persamaan utama dari *flow box test*. Kemudian kecepatan dihitung dengan menggunakan nilai viskositas dari Gambar 2.7.c.
4. Perhitungan dihentikan jika titik awal dari hasil pengujian *flow box* dan hasil perhitungan kecepatan *matching* atau sama. Titik 3 pada Gambar 2.7.d adalah titik yang dimaksud.
5. Kemudian dapat dipilih persamaan viskositas yang memuat informasi awal dari titik 3 tersebut, bisa dilihat pada Gambar 2.7.e.
6. Selanjutnya hubungan *displacement*-waktu dapat digambarkan sebagai integral dari hubungan kecepatan-waktu. Dapat dilihat pada kurva yang ada pada Gambar 2.7.f.

7. Dengan cara *trial-error* dengan mengaplikasikan modifikasi model Herscell-Bulkley, ditentukan kurva hasil perhitungan hingga sepadan dengan kurva hasil pengujian *flow box*, bisa dilihat pada kurva yang ada pada Gambar 2.7.g.

8. Kemudian viskositas perlu dimodifikasi nilainya dengan menggunakan hasil *matching curve* dari langkah sebelumnya (Gambar 2.7.h). Setelah itu, dapat ditentukan nilai viskositas awal pada waktu  $t=0$ . Nilai viskositas inilah yang dicari pada penelitian ini.

Adapun hasil viskositas menggunakan *flow box test* yang telah dilakukan, bisa dilihat pada Gambar 2.8. Dalam kurva tersebut terdapat hubungan antara nilai *liquidity Index* (LI) dan viskositas. Pada saat kadar air sama dengan batas cair, *liquidity index* adalah sama dengan satu, sedangkan apabila dalam kondisi plastis nilai dari *liquidity index* yaitu kurang dari satu. Untuk lebih besar dari satu maka kondisi tersebut yaitu berada dalam kondisi cair. Untuk kasus *mudflow*, *mudflow* terjadi pada kondisi nilai *liquidity index* sama dengan 1 atau pada saat batas cair. Pada Gambar 2.8 nilai viskositas pada saat  $LI < 1$  lebih besar daripada pada saat  $LI > 1$ .



**Gambar 2.8** Hubungan antara viskositas dan LI (Widjaja dan Lee, 2013)

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tahap-Tahap Penelitian**

Penelitian ini dilakukan melalui tahap-tahap yang harus dikerjakan. Tahap-tahap penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Tahap pertama sebelum melakukan penelitian ini yaitu membaca literatur terlebih dahulu mengenai studi yang akan diteliti agar dapat membahas dan mempermudah mengenai permasalahan pada penelitian ini. Literatur yang dipakai yaitu berupa jurnal, skripsi, artikel, buku, dan internet mengenai kaolin, longsoran, *mudflow*, *flow box*, uji geser baling-baling, dan uji indeks propertis tanah.
2. Kemudian pengambilan sampel tanah longsoran yang akan diuji pada penelitian ini. Sampel tanah yang digunakan yaitu kaolin dan tanah longsoran yang berasal dari daerah Parakan Muncang Kabupaten Sumedang.



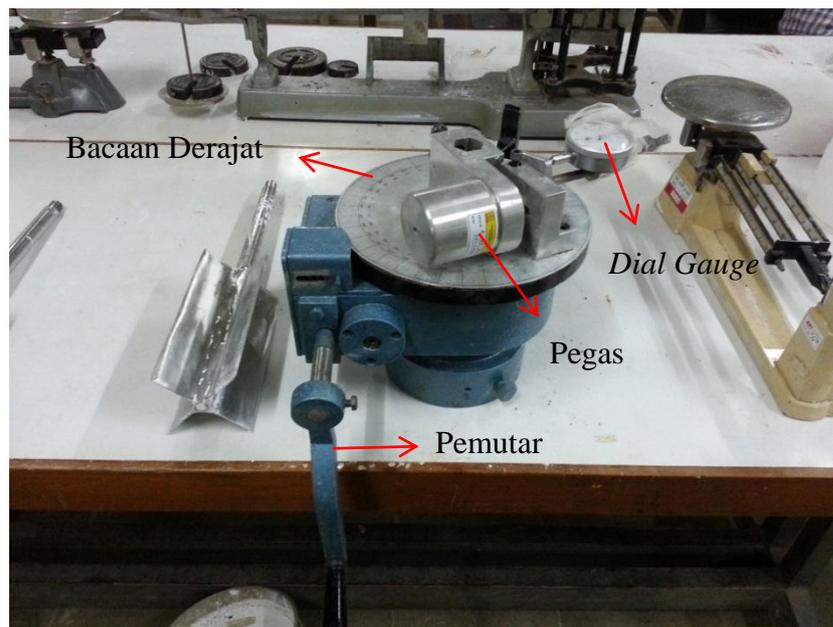
**Gambar 3.1** Pengambilan Sampel Tanah Longsor Parakan Muncang

3. Tahap selanjutnya yaitu mulai dilakukan pengujian laboratorium tahap pertama yaitu berupa uji indeks propertis tanah. Pengujian indeks propertis yang akan diuji yaitu berupa uji kadar air ( $w$ ), uji berat jenis ( $G_s$ ), uji saringan dan hidrometer, dan terakhir uji batas-batas Atterberg yaitu berupa batas cair ( $LL$ ), dan batas plastis ( $PL$ ).
4. Kemudian diambil lima ukuran sampel yang akan diuji pada *vane shear* dan *flow box* dengan variasi *water content* yang berbeda yaitu dua *water content* yang berada pada kondisi plastis yaitu pada  $0.8LL$  (54.4%), dan  $0.9LL$  (61.2%), kemudian pada kondisi batas cair  $1.0 LL$  (68%), dan berada pada kondisi cair yaitu  $1.1LL$  (74.8%), dan  $1.2LL$  (81.6%).

### 3.2 Pemodelan Uji Geser Baling-Baling

Persiapan model uji dilakukan dengan mempersiapkan beberapa alat dan bahan, antara lain :

#### 1. Alat Uji Geser Baling-Baling



**Gambar 3.2**Alat Uji Geser Baling-Baling

Terdiri dari : alat pemutar, bacaan derajat, *dial gauge*, pegas, *rod*, dan baling-baling.

#### 2. Drum

Drum yang digunakan berukuran diameter 60 cm dan tinggi 90 cm.

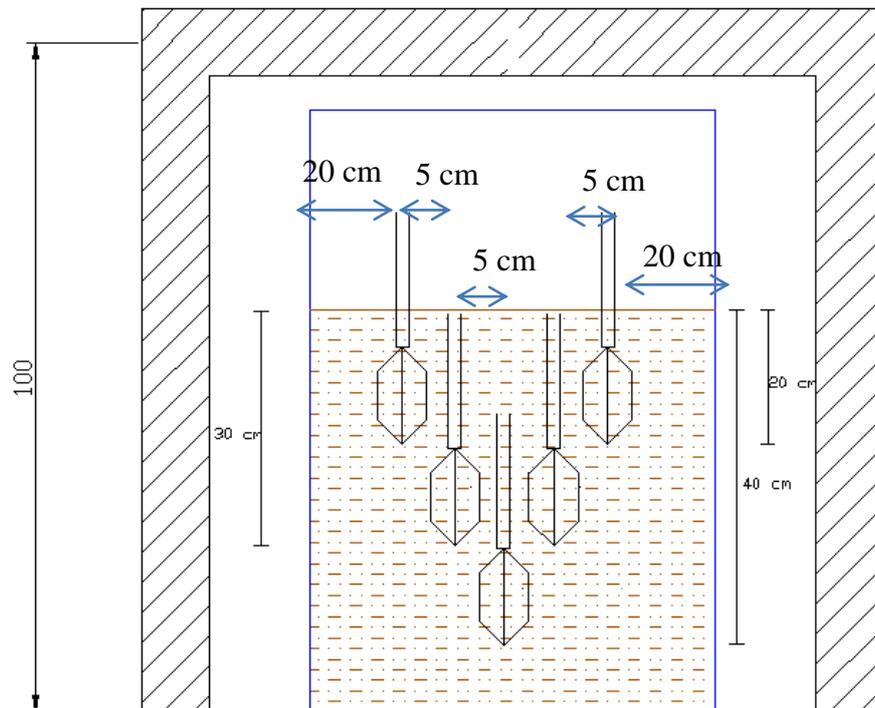


**Gambar 3.3**Drum model uji

3. Pemasangan meteran pada drum untuk mengetahui ketinggian tanah di dalam drum. Dan penentuan kedalaman *blade* untuk variasi kecepatan putaran.



**Gambar 3.4** Pemasangan meteran pada drum



**Gambar 3.5** Penentuan Lokasi Kedalaman *Blade* Untuk Variasi Kecepatan Putaran

4. Pemberian tanda pada baling-baling dan *rod* untuk penentuan kedalaman tusukan



**Gambar 3.6**Pemberian Tanda pada Baling-Baling

5. Persiapan dudukan untuk Uji Geser Baling-Baling

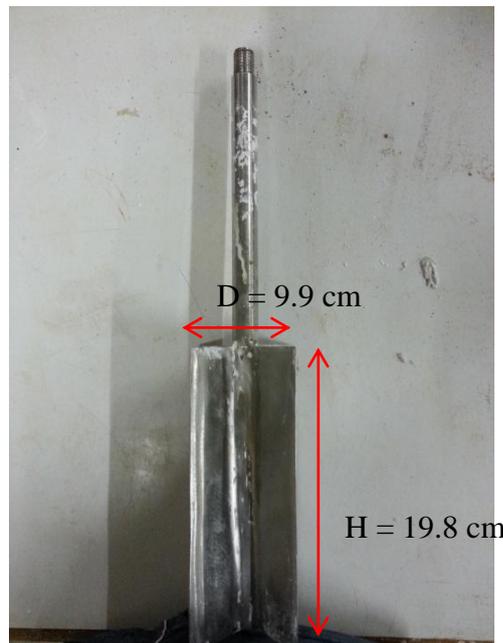


**Gambar 3.7**Dudukan untuk Uji Geser Baling-Baling

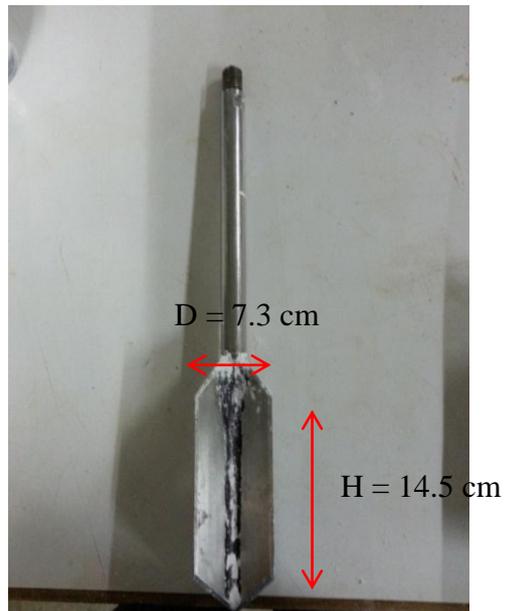
#### 6. Persiapan baling-baling dan *rod*

Baling-baling yang digunakan ada 2 tipe yaitu : tipe *rectangular* dan tipe *tapered*. Adapun ukuran dari masing-masing tipe baling-baling adalah

- Tipe *rectangular* : diameter (D) = 9.9 cm, tinggi (H) = 19.8 cm
- Tipe *tapered* : diameter (D) = 7.3 cm, tinggi (H) = 14.5 cm



**Gambar 3.8**Baling-baling Tipe *Rectangular*



**Gambar 3.9**Baling-baling Tipe *Tapered*



**Gambar 3.10**Rod yang digunakan untuk pengujian

## 7. Pemodelan Fisik Uji Geser Baling-Baling



**Gambar 3.11** Pemodelan Fisik Uji Geser Baling-Baling

### 3.3 Prosedur Penelitian Uji Geser Baling-Baling

Tahapan-tahapan dalam menjalankan penelitian ini adalah :

1. Mempersiapkan tanah yang akan digunakan dalam penelitian kali ini, yaitu kaolin dan tanah longsor Parakan Muncang.
2. Kedua tanah tersebut diuji indeks propertis tanah untuk mendapatkan jenis dan konsistensi dari kedua tanah tersebut.

3. Kedua tanah tersebut kemudian dilakukan proses homogenisasi untuk mendapatkan variasi kadar air yang ditentukan yaitu : 0.8LL, 0.9LL, LL, 1.1LL, 1.2LL.



**Gambar 3.12**Proses Homogenisasi Tanah

4. Memasukan tanah kedalam drum yang sudah disiapkan kemudian ditutup rapat sehingga kadar air terjaga, dan didiamkan selama  $\pm 24$  jam.
5. Merancang konfigurasi alat-alat yang akan digunakan. Pertama persiapan rangka kayu untuk meletakkan dudukan uji geser baling-baling, kedua yaitu memasang dudukan uji geser baling-baling pada rangka kayu, ketiga mengikat rangka kayu dan dudukan uji geser baling-baling agar selama proses pengujian dalam kondisi *steady*.



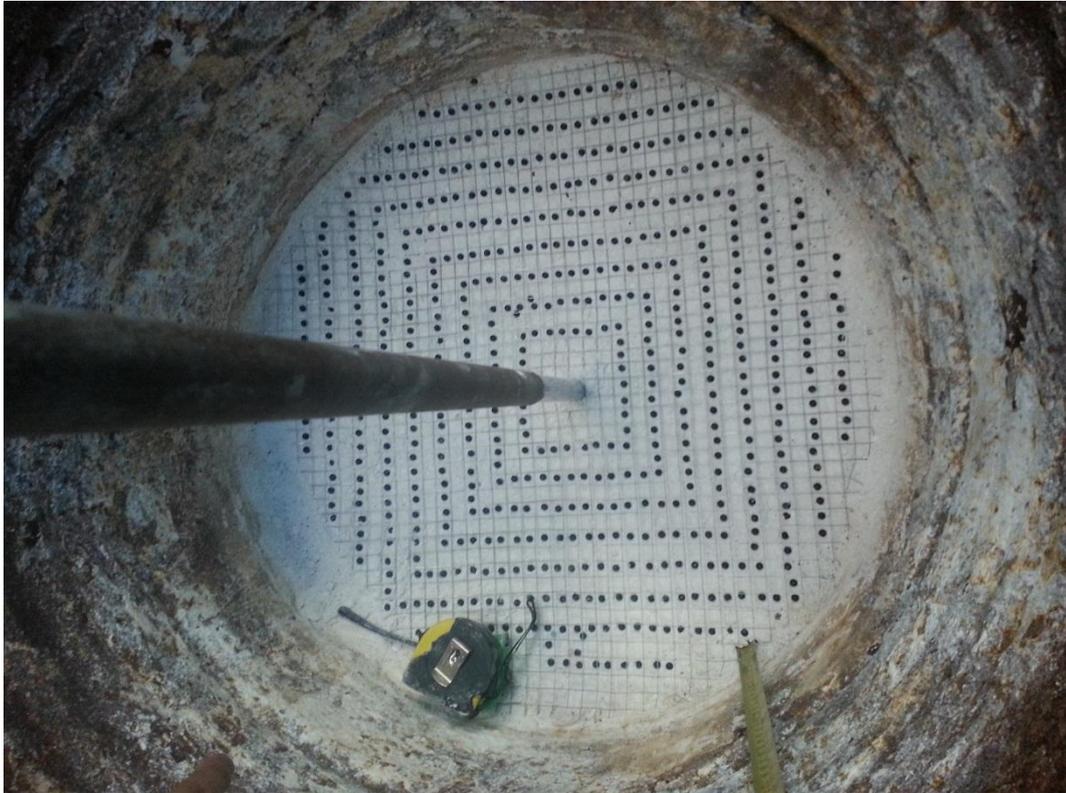
**Gambar 3.13**Pemasangan Konfigurasi Alat Pada Drum

6. Memasang *rod* dan baling-baling, kemudian memberikan tanda pada baling-baling agar dapat memprediksi kedalaman penetrasi dari baling-baling.
7. Memasukkan *rod* dan baling-baling kedalam tanah dengan kedalaman penetrasi bervariasi mulai dari 20 cm, 30 cm, 40 cm. Tujuan dari variasi kedalaman penetrasi ini untuk memberikan variasi kecepatan putaran pada tanah yang diuji.



**Gambar 3.14**Rod dan Baling-baling Dimasukkan Ke Dalam Tanah

8. Memberikan butiran-butiran hitam di sekitar baling-baling untuk menentukan seberapa besar *boundary effect* baling-baling terhadap perlawanan tanah.



**Gambar 3.15** Butir Hitam Untuk Memprediksi *Boundary Effect* Uji Geser Baling-baling

9. Setelah semua konfigurasi alat sudah siap, kemudian dilakukan pengujian VST dengan variasi kecepatan yaitu :  $3^\circ/\text{menit}$ ,  $6^\circ/\text{menit}$ ,  $12^\circ/\text{menit}$ ,  $24^\circ/\text{menit}$ , dan  $48^\circ/\text{menit}$ . Dari variasi kecepatan tersebut akan mendapat nilai bacaan *dial* yang kemudian dikonversikan menjadi nilai torsi.



**Gambar 3.16** Bekas Penetrasi Uji Geser Baling-baling Pada Titik yang Ditentukan

#### **3.4** Prosedur Pengujian *Flow Box*

Untuk mengetahui nilai viskositas pada penelitian ini yaitu menggunakan *flow box*. Adapun prosedur untuk menggunakan alat uji *flow box* yaitu sebagai berikut:

1. Siapkan sampel tanah kering yang lolos saringan no #40 sebanyak  $\pm 5$  kg.



**Gambar 3.17** Tanah Kering Kaolin Lolos Saringan #40

2. Kemudian hitung berat air dengan kadar air yang diinginkan misalkan pada kondisi  $LL$ . Adapun rumus untuk menghitung berat air yang diinginkan yaitu:

$$w_w = W \times \left( \frac{1-w_{opt}}{1+w_o} \right) \quad (3.1)$$

di mana:  $w_o$ = kadar air sebelum uji *flow box* (%)

$w_{opt}$ = kadar air yang diinginkan (%)

$W$ = berat tanah (g)

$w_w$ = berat air (g)

3. Setelah didapat berat air yang diinginkan campurkan pada tanah yang telah disaring menggunakan saringan no #40. Aduk sampai homogen tanah tersebut, bisa dilihat pada Gambar 3.18 tanah yang sudah homogen.



**Gambar 3.18**Kaolin Dengan Kadar Air 73.38%

4. Kemudian tanah yang sudah dihomogenkan diamkan selama 24 jam.

5. Selanjutnya set alat *flow box* tersebut, seperti memasang LVDT (*Linear Variable Deformation Transformer*) dan kemudian sambungkan ke komputer untuk mengetahui *displacement* yang terjadi, kemudian *box* bawah yang ada piston tersebut dipasang isolatif terlebih dahulu, agar tidak menekan LVDT sebelum pembacaan atau pengujian dimulai.



**Gambar 3.19** Isolatif yang Terpasang pada Piston

6. Setelah langkah lima selesai semua, langkah selanjutnya yaitu masukan tanah yang sudah homogen yang didiamkan selama 24 jam dan dimasukkan kedalam *box* bawah sampai rata, bisa dilihat pada Gambar 3.20 tanah homogen yang sudah rata berada dalam *box* bawah.



**Gambar 3.20**Kaolin yang Homogen yang Sudah Berada Pada *Box* Bawah

7. Setelah sampel dimasukkan kedalam *box* bagian bawah secara merata, kemudian *box* bagian atas mulai diletakkan dan ditutup *trashbag* untuk penyimpanan air sebagai beban, beban yang digunakan yaitu sebesar 14 kg. Beban 14 kg tersebut sebagai beban yang mewakili kondisi di lapangan contohnya beban air saat terjadi hujan, kemudian beban tersebut memberikan gaya geser supaya tegangan gesernya membesar sehingga tanah terjadi *flow*. Bisa dilihat pada Gambar 3.21 proses penyimpanan air pada *box* bagian atas yang ditutup *trashbag*.



**Gambar 3.21** Proses Penuangan Air Kedalam *Box* Bagian Atas yang Ditutup *Trashbag*



**Gambar 3.22** *Box* Bagian Atas yang Sudah Terisi Beban 14 kg

8. Setelah beban dimasukkan ke dalam *box*, lalu mulai dilakukan pengujian dengan menjalankan program dan melepaskan isolatif pada piston. Program tersebut membaca *displacement* yang terjadi.



**Gambar 3.23**Melepas Isolatif pada Piston

9. Pengujian akan diberhentikan apabila *displacement* yang terjadi konstan. Adapun gambar mengenai sampel tanah setelah pengujian bisa dilihat pada Gambar 3.24.



**Gambar 3.24** Sampel Kaolin Dengan Kadar Air 73.38% Setelah Pengujian

10. Setelah pengujian berhenti maka ambil tiga *container* yang telah ditimbang dan ring gama yang telah diukur tinggi, diameter dan beratnya lalu masukkan sampel tanah kedalam tiga *container* tersebut dan ke dalam ring gamma, setelah itu timbang semuanya. Tujuannya yaitu untuk menghitung kadar air dan berat isi tanah.



**Gambar 3.25** Pengambilan Sampel Kaolin Setelah Uji *Flow Box* untuk Menentukan Kadar Air

11. Hasil dari uji *flow box* yaitu berupa *displacement* terhadap waktu, kemudian lakukan analisis untuk menghasilkan nilai viskositas dari hasil uji *flow box* dan parameter *yield stress* yang diturunkan dari data uji geser baling-baling (Setiabudi, 2014).



## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Uji Indeks Propertis

Uji Indeks Propertis tanah dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai kadar air alami tanah, berat isi tanah, berat jenis tanah, nilai batas-batas *Atterberg*, dan karakteristik tanah melalui uji saringan basah dan uji hidrometer.

##### 1. Uji Kadar Air Tanah

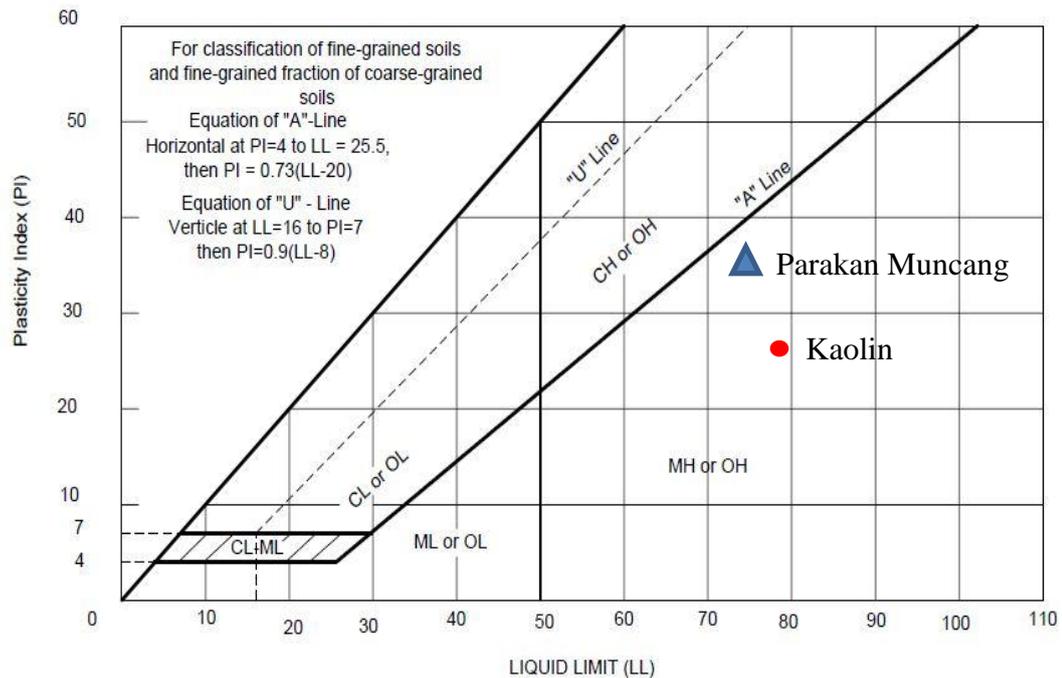
Uji kadar air tanah ini dilakukan pada dua jenis tanah, yaitu kaolin dan tanah longsor di Parakan Muncang. Dari hasil uji kadar air tanah, pada tanah longsor di Parakan Muncang adalah 48.47%.

##### 2. Uji Berat Jenis Tanah

Pengujian berat jenis tanah menggunakan alat uji piknometer, dari uji berat jenis tanah didapatkan nilai berat jenis ( $G_s$ ) kaolin adalah 2.61. Nilai berat jenis ( $G_s$ ) tanah longsor Parakan Muncang adalah 2.6.

##### 3. Uji Batas-batas *Atterberg*

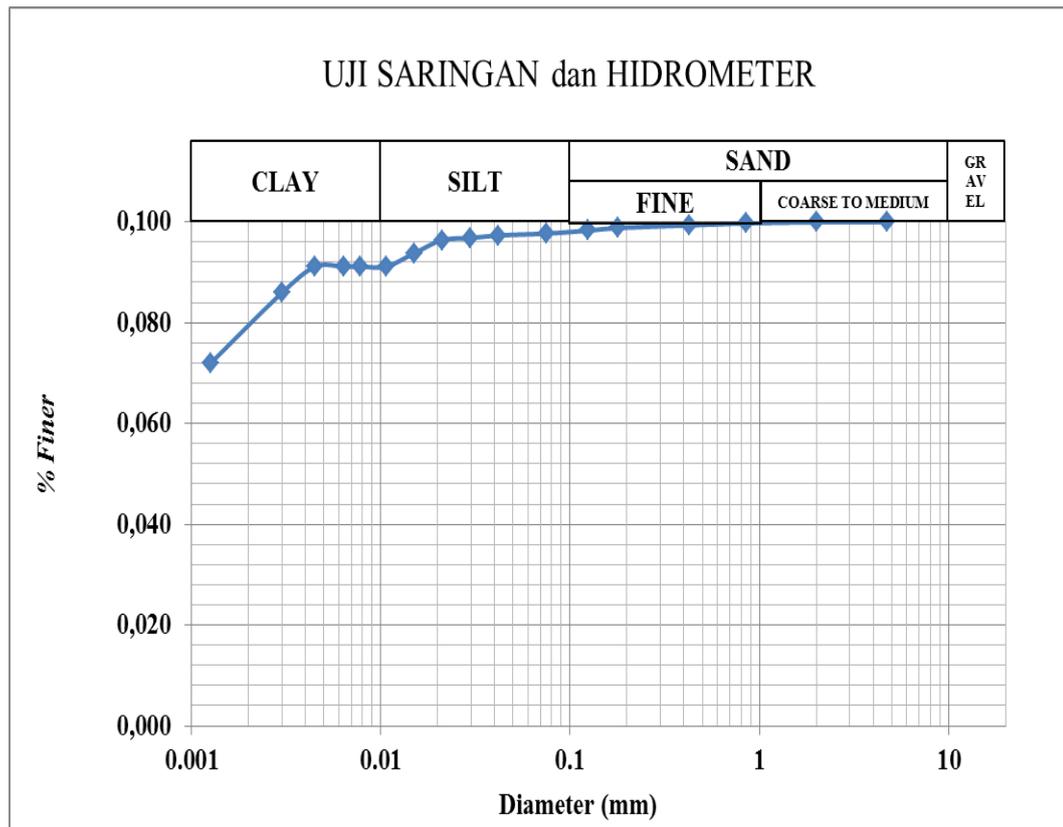
Dari uji batas-batas *Atterberg* diperoleh nilai batas plastis (PL), dan batas cair (LL). Besarnya nilai batas-batas *Atterberg* pada kaolin adalah PL = 38, LL = 68, dan PI = 30. Berdasarkan pada pengujian batas-batas *Atterberg* pada kaolin, kaolin tergolong pada jenis tanah *MH*. Besarnya nilai batas-batas *Atterberg* pada tanah longsor Paraka Muncang adalah PL = 29.28, LL = 66.64, dan PI = 37.36. Berdasarkan pada pengujian batas-batas *Atterberg* pada tanah longsor Parakan Muncang, tanah longsor Parakan Muncang tergolong pada jenis tanah *CH*.



**Gambar 5.1** Bagan Plastisitas pada Kaolin dan Tanah Longsor Parakan Muncang (Budhu, Muni 2000)

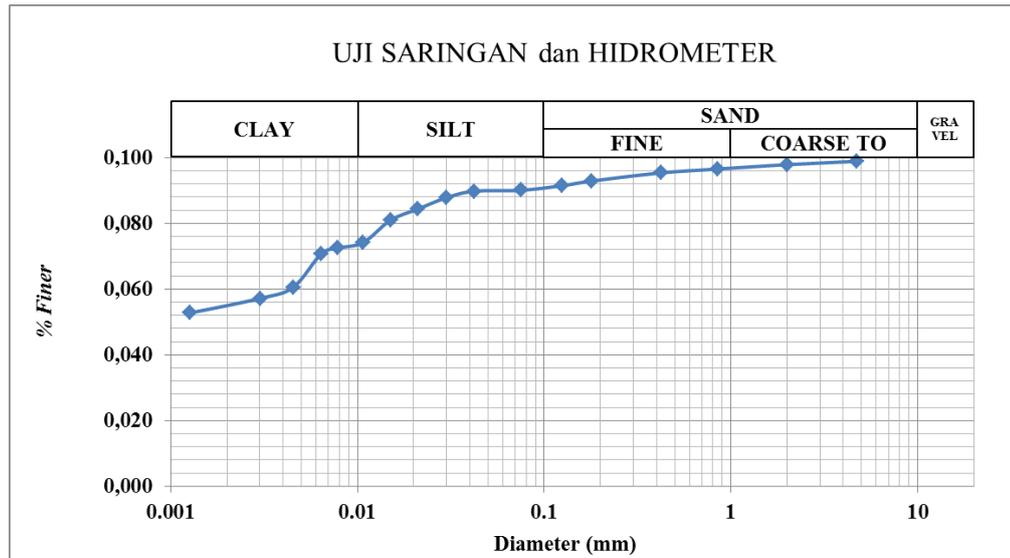
#### 4. Uji Saringan Basah dan Uji Hidrometer

Uji saringan basah dan hidrometer digunakan untuk menentukan jenis atau klasifikasi pada tanah yang dilakukan pengujian. Hasil dari uji saringan basah dan hidrometer pada kaolin adalah kaolin tergolong pada jenis tanah *silty-clay* dengan presentase 97.70%, presentase *fine-sand* 1.64%, presentase *coarse to medium sand* 0.643%, dan presentase *gravel* 0.017%.



**Gambar 5.2** Klasifikasi Kaolin dari Uji Saringan Basah dan Hidrometer

Hasil daripada uji saringan basah dan hidrometer tanah longsor Parakan Muncang adalah tanah longsor Parakan Muncang tergolong pada jenis tanah *silty-clay* dengan presentase 90.067%, presentase *fine-sand* 5.314%, presentase *coarse to medium sand* 3.522%, dan presentase *gravel* 1.097%.



**Gambar 5.3** Klasifikasi Tanah Longsor Parakan Muncang dari Uji Saringan Basah dan Hidrometer

Sampel tanah terganggu yang diperoleh dari area *mudflow* merupakan lanau kepasiran. *Flow box test*(FBT) dilakukan untuk mengetahui viskositas dari aliran *mudflow*. Tanah ini memiliki persentasi lanau lebih tinggi sebesar 70.13% dibandingkan dengan lempung sebesar 26.6% dan berdasarkan Unified Soil Classification System (USCS) digolongkan sebagai lanau dengan plastisitas tinggi (MH). Tabel 5.1 menyajikan parameter-parameter tanah tersebut.

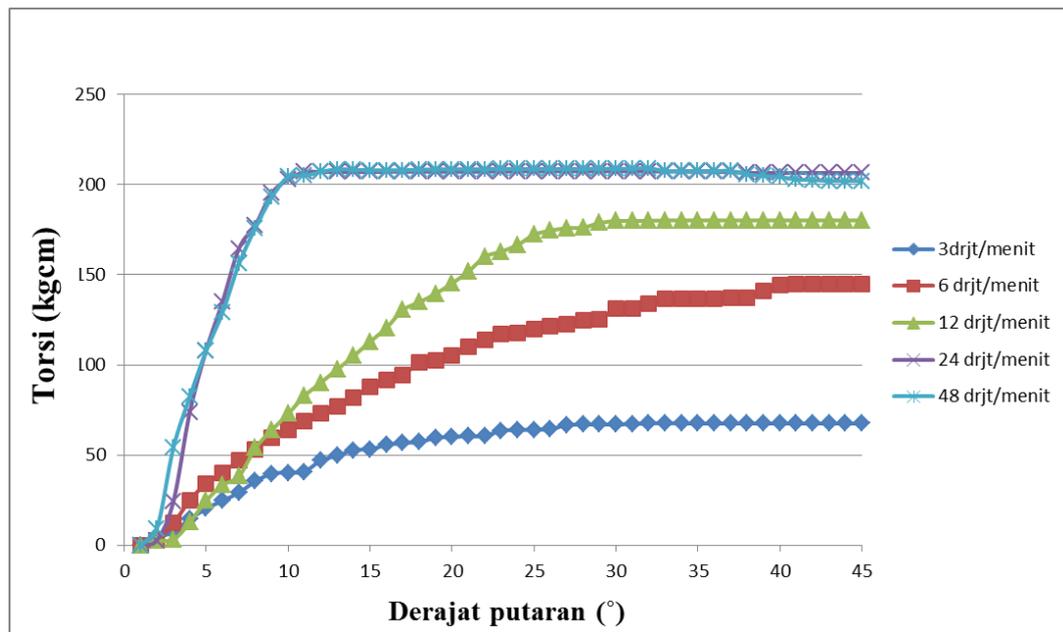
## 5.2 Output Bacaan Uji Geser Baling-Baling

### 5.2.1 Kaolin

Hasil bacaan uji geser baling-baling ini terdiri dari bacaan pada variasi kadar air dan variasi kecepatan putaran. Bacaan uji geser baling-baling ini dilakukan dengan melakukan putaran pada alat uji dan membaca *dial gauge* yang menunjukkan besarnya nilai perlawanan tanah. Data hasil bacaan uji geser baling-baling diperoleh dari kaolin dan tanah longsor Parakan Muncang.

1. Kadar Air Aktual 50.4%

Pengujian kaolin dengan kadar air aktual 50.4% dilakukan dengan 5 variasi kecepatan, yaitu : 3°/menit, 6°/menit, 12°/menit, 24°/menit, dan 48°/menit. Berikut merupakan hasil bacaan uji geser baling-baling dengan hasil berupa grafik antara derajat putaran (°) dan torsi (kgcm).



**Gambar 5.4** Hasil Bacaan Derajat Putaran dan Torsi Pada Kaolin dengan Kadar Air 50.4%

Hasil torsi maksimum pada masing-masing kecepatan putaran adalah sebagai berikut.

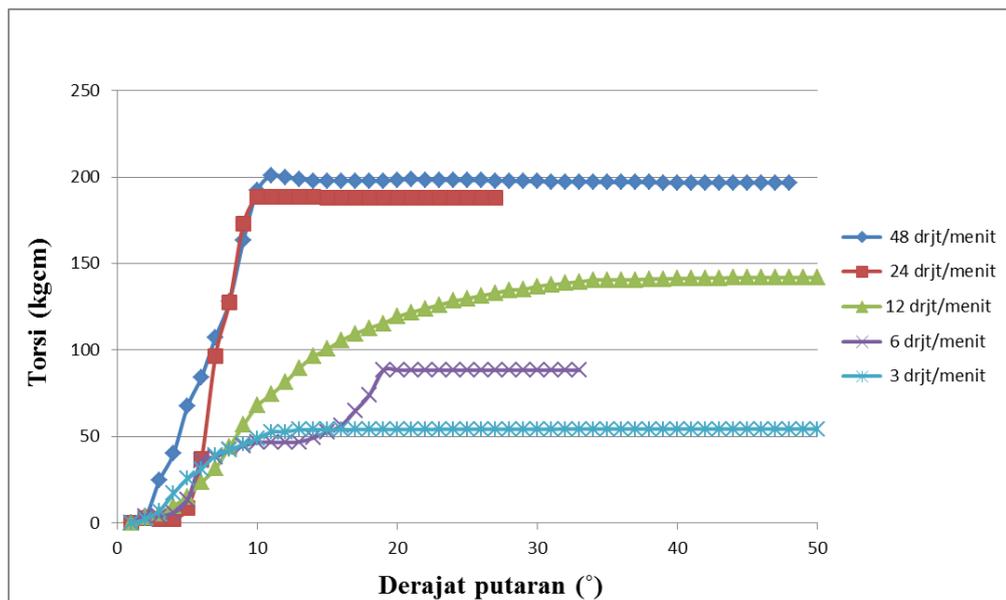
**Tabel 5.1** Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 50.4%

Kecepatan Putaran (°/menit)	Torsi Maksimum (kgcm)
3	67.812
6	145.555
12	180.17
24	207.408
48	208.543

## 2. Kadar Air Aktual 61.08%

Pengujian kaolin dengan kadar air aktual 61.08% dilakukan dengan 5 variasi kecepatan, yaitu : 3°/menit, 6°/menit, 12°/menit, 24°/menit, dan 48°/menit.

Berikut merupakan hasil bacaan uji geser baling-baling dengan hasil berupa grafik antara derajat putaran (°) dan torsi (kgcm).



**Gambar 5.5** Hasil Bacaan Derajat Putaran dan Torsi Pada Kaolin dengan Kadar Air 61.08%

Hasil torsi maksimum pada masing-masing kecepatan putaran adalah sebagai berikut.

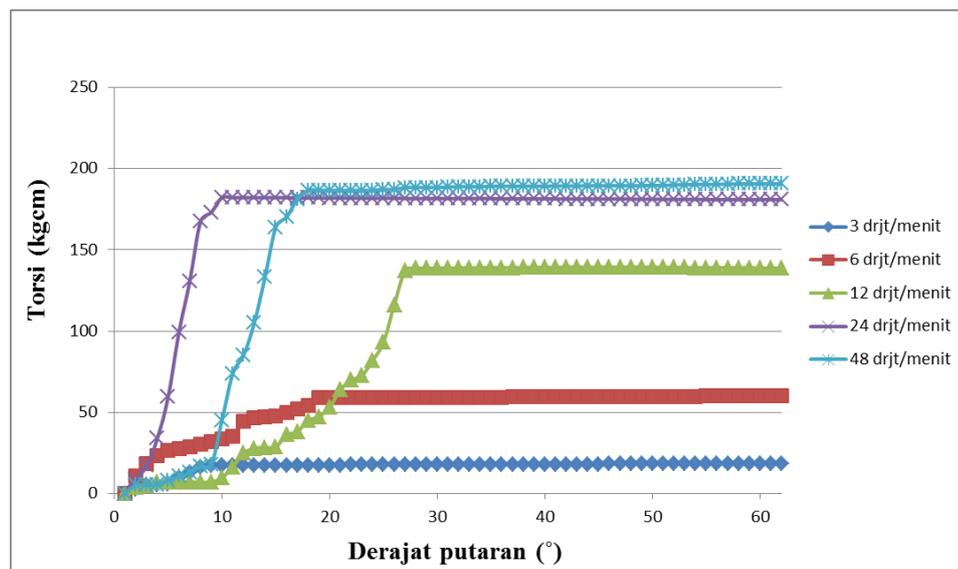
**Tabel 5.2** Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 61.08%

Kecepatan Putaran (°/menit)	Torsi Maksimum (kgcm)
3	54.42
6	88.383
12	141.819
24	188.682
48	198.613

### 3. Kadar Air Aktual 67.09%

Pengujian kaolin dengan kadar air aktual 67.09% dilakukan dengan 5 variasi kecepatan, yaitu : 3°/menit, 6°/menit, 12°/menit, 24°/menit, dan 48°/menit.

Berikut merupakan hasil bacaan uji geser baling-baling dengan hasil berupa grafik antara derajat putaran (°) dan torsi (kgcm).



**Gambar 5.6** Hasil Bacaan Derajat Putaran dan Torsi Pada Kaolin dengan Kadar Air 67.09%

Hasil torsi maksimum pada masing-masing kecepatan putaran adalah sebagai berikut.

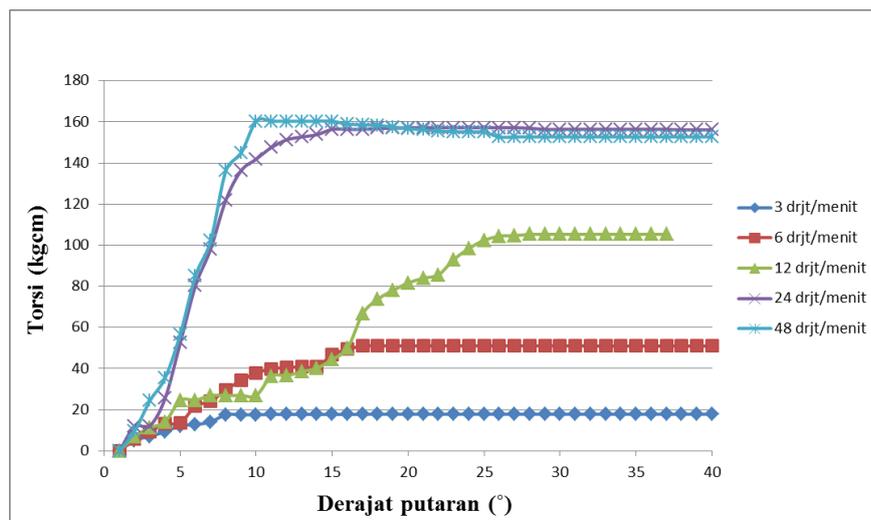
**Tabel 5.3** Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 67.09%

Kecepatan Putaran (°/menit)	Torsi Maksimum (kgcm)
3	20.712
6	60.293
12	139.313
24	182.156
48	190.952

#### 4. Kadar Air Aktual 73.63%

Pengujian kaolin dengan kadar air aktual 73.63% dilakukan dengan 5 variasi kecepatan, yaitu : 3°/menit, 6°/menit, 12°/menit, 24°/menit, dan 48°/menit.

Berikut merupakan hasil bacaan uji geser baling-baling dengan hasil berupa grafik antara derajat putaran (°) dan torsi (kgcm).



**Gambar 5.7** Hasil Bacaan Derajat Putaran dan Torsi Pada Kaolin dengan Kadar Air 73.63%

Hasil torsi maksimum pada masing-masing kecepatan putaran adalah sebagai berikut.

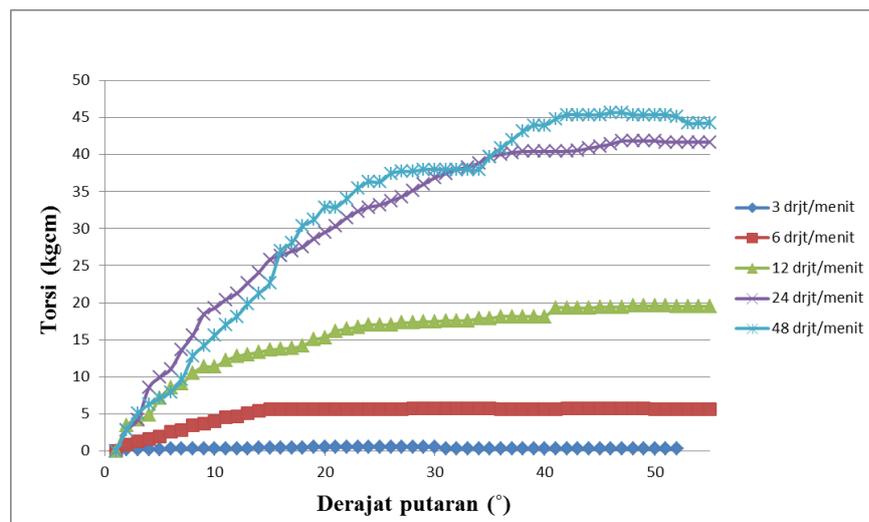
**Tabel 5.4** Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 73.63%

Kecepatan Putaran (°/menit)	Torsi Maksimum (kgcm)
3	18.67
6	51.072
12	105.265
24	157.188
48	160.309

5. Kadar Air Aktual 79.28%

Pengujian kaolin dengan kadar air aktual 79.28% dilakukan dengan 5 variasi kecepatan, yaitu : 3°/menit, 6°/menit, 12°/menit, 24°/menit, dan 48°/menit.

Berikut merupakan hasil bacaan uji geser baling-baling dengan hasil berupa grafik antara derajat putaran (°) dan torsi (kgcm).



**Gambar 5.8** Hasil Bacaan Derajat Putaran dan Torsi Pada Kaolin dengan Kadar Air 79.28%

Hasil torsi maksimum pada masing-masing kecepatan putaran adalah sebagai berikut.

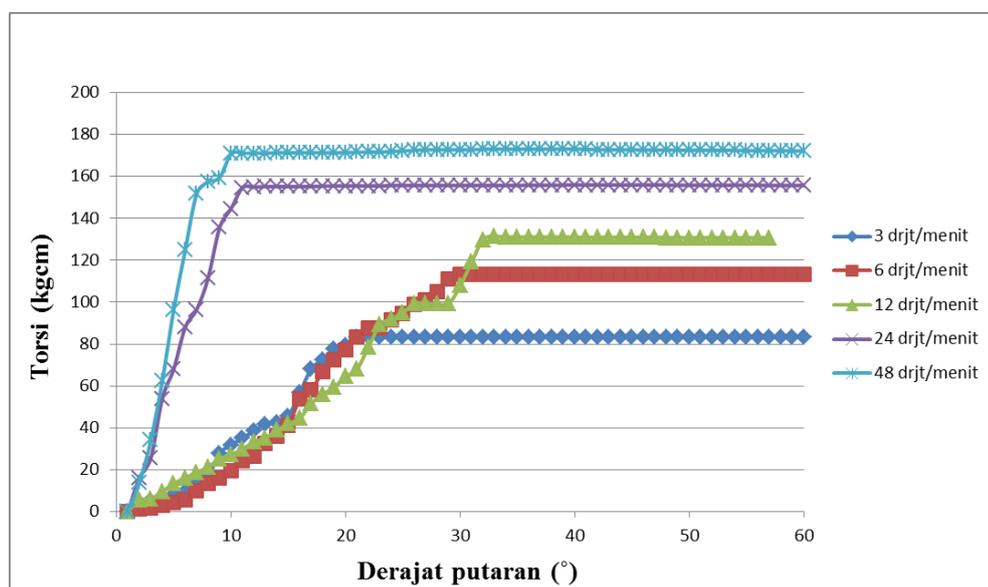
**Tabel 5.5** Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 79.28%

Kecepatan Putaran (°/menit)	Torsi Maksimum (kgcm)
3	0.511
6	5.703
12	19.578
24	41.85
48	45.681

## 5.2.2 Parakan Muncang

### 1. Kadar Air Aktual 51.04%

Pengujian tanah longsoran Parakan Muncang dengan kadar air aktual 51.04% dilakukan dengan 5 variasi kecepatan, yaitu : 3°/menit, 6°/menit, 12°/menit, 24°/menit, dan 48°/menit. Berikut merupakan hasil bacaan uji geser baling-baling dengan hasil berupa grafik antara derajat putaran (°) dan torsi (kgcm).



**Gambar 5.9** Hasil Bacaan Derajat Putaran dan Torsi Pada Tanah Longsor Parakan Muncang dengan Kadar Air 51.04%

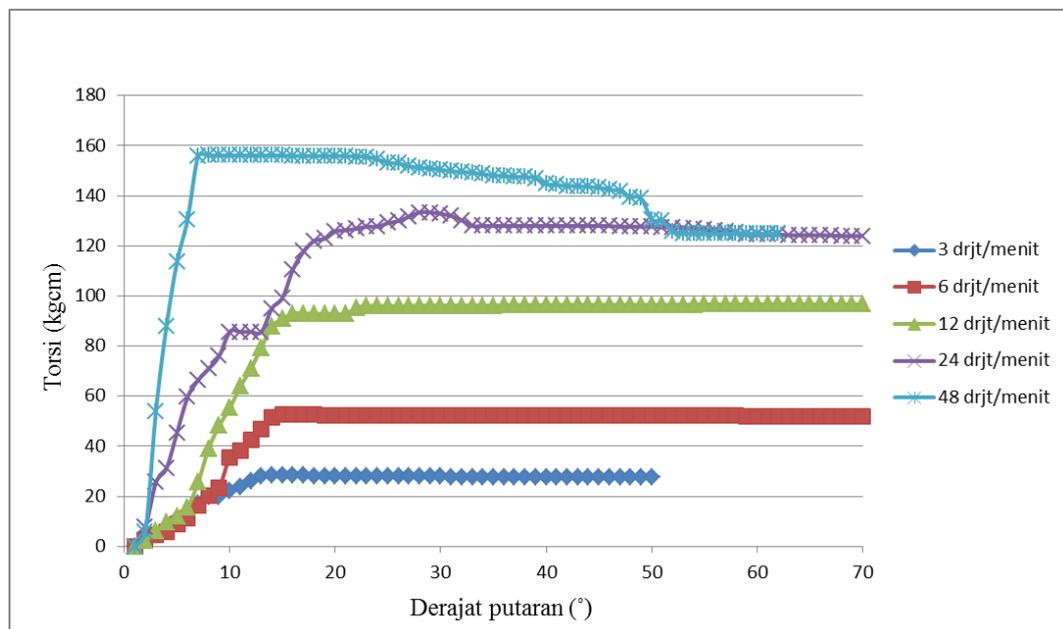
Hasil torsi maksimum pada masing-masing kecepatan putaran adalah sebagai berikut.

**Tabel 5.6** Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 51.04%

Kecepatan Putaran ( $^{\circ}$ /menit)	Torsi Maksimum (kgcm)
3	83.417
6	113.436
12	131.368
24	155.911
48	174.077

2. Kadar Air Aktual 54.51%

Pengujian tanah longsoran Parakan Muncang dengan kadar air aktual 54.51% dilakukan dengan 5 variasi kecepatan, yaitu :  $3^{\circ}$ /menit,  $6^{\circ}$ /menit,  $12^{\circ}$ /menit,  $24^{\circ}$ /menit, dan  $48^{\circ}$ /menit. Berikut merupakan hasil bacaan uji geser baling-baling dengan hasil berupa grafik antara derajat putaran ( $^{\circ}$ ) dan torsi (kgcm).



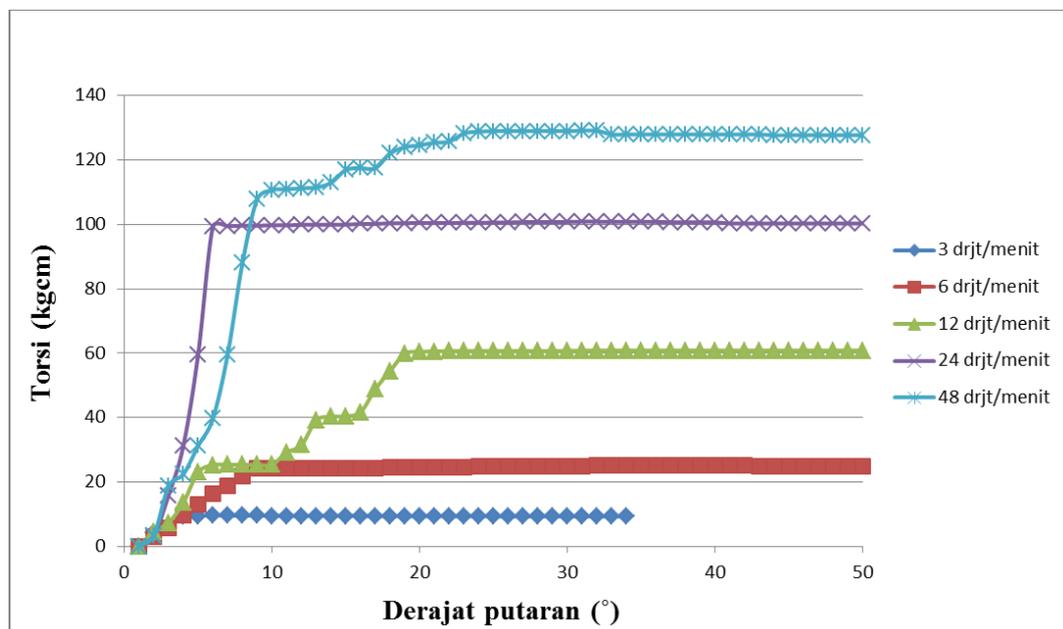
**Gambar 5.10** Hasil Bacaan Derajat Putaran dan Torsi Pada Tanah Longsor Parakan Muncang dengan Kadar Air 54.51%

**Tabel 5.7** Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 54.51%

Kecepatan Putaran ( $^{\circ}$ /menit)	Torsi Maksimum (kgcm)
3	28.373
6	52.490
12	96.753
24	133.354
48	156.053

### 3. Kadar Air Aktual 62.65%

Pengujian tanah longsor Parakan Muncang dengan kadar air aktual 62.65% dilakukan dengan 5 variasi kecepatan, yaitu :  $3^{\circ}$ /menit,  $6^{\circ}$ /menit,  $12^{\circ}$ /menit,  $24^{\circ}$ /menit, dan  $48^{\circ}$ /menit. Berikut merupakan hasil bacaan uji geser baling-baling dengan hasil berupa grafik antara derajat putaran ( $^{\circ}$ ) dan torsi (kgcm).



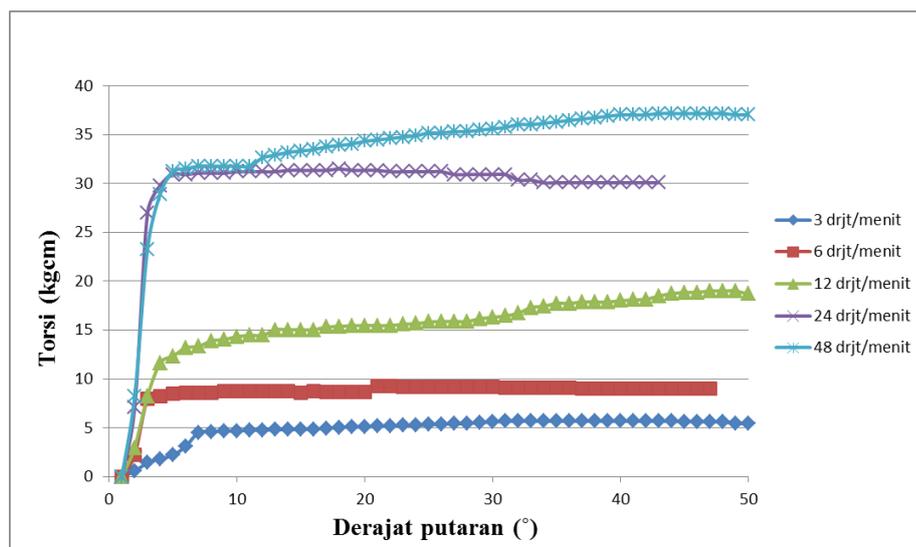
**Gambar 5.11** Hasil Bacaan Derajat Putaran dan Torsi Pada Tanah Longsor Parakan Muncang dengan Kadar Air 62.65%

**Tabel 5.8** Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 62.65%

Kecepatan Putaran ( $^{\circ}$ /menit)	Torsi Maksimum (kgcm)
3	9.647
6	25.195
12	60.861
24	100.867
48	129.098

4. Kadar Air Aktual 69.28%

Pengujian tanah longsor Parakan Muncang dengan kadar air aktual 69.28% dilakukan dengan 5 variasi kecepatan, yaitu :  $3^{\circ}$ /menit,  $6^{\circ}$ /menit,  $12^{\circ}$ /menit,  $24^{\circ}$ /menit, dan  $48^{\circ}$ /menit. Berikut merupakan hasil bacaan uji geser baling-baling dengan hasil berupa grafik antara derajat putaran ( $^{\circ}$ ) dan torsi (kgcm).



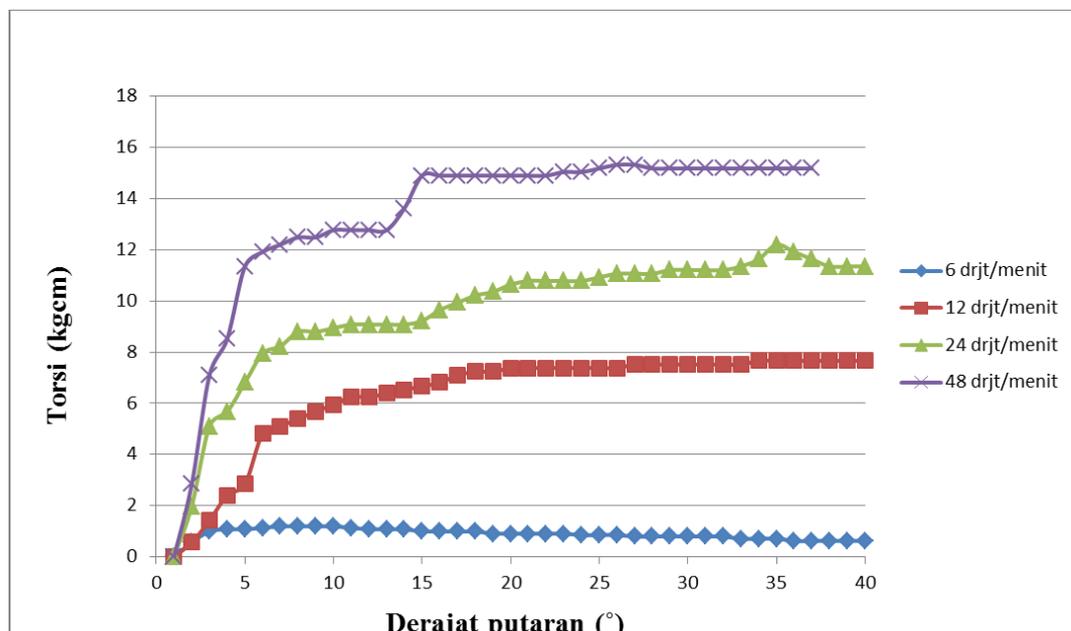
**Gambar 5.12** Hasil Bacaan Derajat Putaran dan Torsi Pada Tanah Longsor Parakan Muncang dengan Kadar Air 69.28%

**Tabel 5.9** Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 69.28%

Kecepatan Putaran (°/menit)	Torsi Maksimum (kgcm)
3	5.675
6	9.306
12	19.01
24	31.494
48	37.169

5. Kadar Air Aktual 77.53%

Pengujian tanah longsor Parakan Muncang dengan kadar air aktual 77.53% dilakukan dengan 5 variasi kecepatan, yaitu : 3°/menit, 6°/menit, 12°/menit, 24°/menit, dan 48°/menit. Berikut merupakan hasil bacaan uji geser baling-baling dengan hasil berupa grafik antara derajat putaran (°) dan torsi (kgcm).



**Gambar 5.13** Hasil Bacaan Derajat Putaran dan Torsi Pada Tanah Longsor Parakan Muncang dengan Kadar Air 77.53%

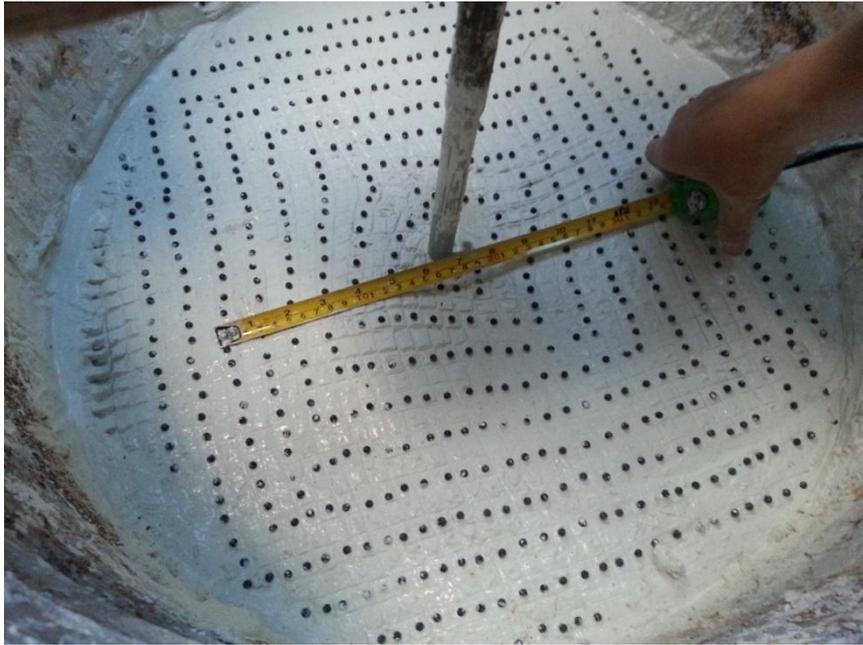
**Tabel 5.10** Torsi Maksimum Dengan Variasi Kecepatan Putaran Pada Kondisi Kadar Air 77.53%

<b>Kecepatan Putaran (<math>^{\circ}</math>/menit)</b>	<b>Torsi Maksimum (kgcm)</b>
3	0
6	1.192
12	7.803
24	12.2
48	15.322

### 5.3 Analisis Hasil Penelitian Uji Geser Baling-Baling

#### 5.3.1 Analisis Area Pengaruh

Dalam penentuan nilai torsi dengan variasi kecepatan putaran, dilakukan pengukuran uji geser baling-baling dalam titik yang berbeda-beda. Penentuan titik tersebut ditentukan berdasarkan area pengaruh yang terjadi saat baling-baling dari alat uji geser baling-baling berputar. Percobaan dalam penentuan area pengaruh dilakukan pada 5 variasi kadar air pada tanah.

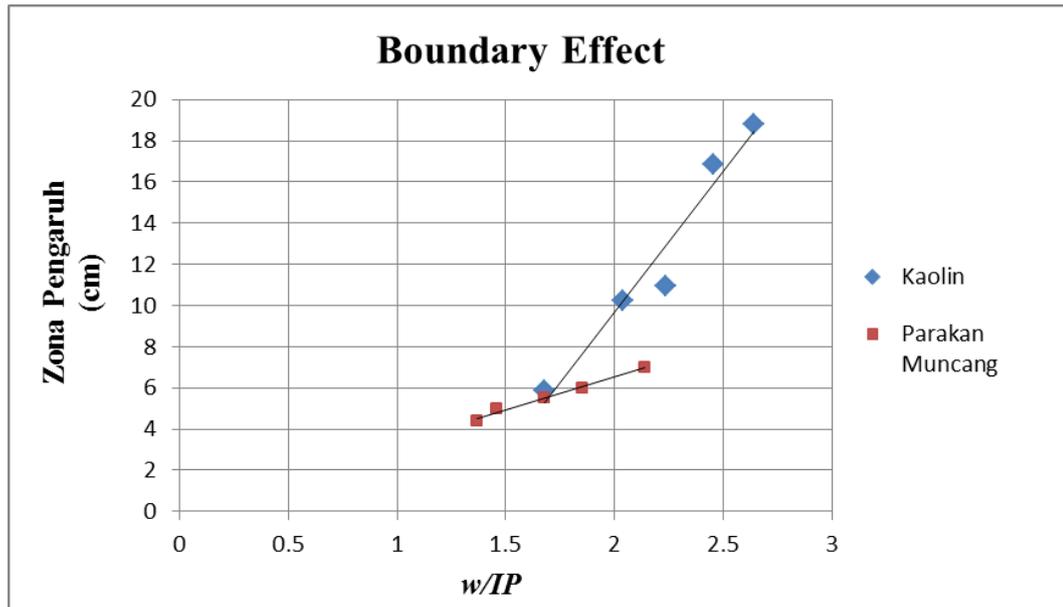


**Gambar 5.14** Area Pengaruh Pada Kondisi Kadar Air Aktual 73.63%



**Gambar 5.15** Area Pengaruh Pada Kondisi Kadar Air Aktual 69.28%

Dari analisis mengenai *boundary effect*, dapat dibuat grafik yang menggambarkan hubungan antara kadar air dan *boundary effect* pada kaolin dan tanah longsor Parakan Muncang.

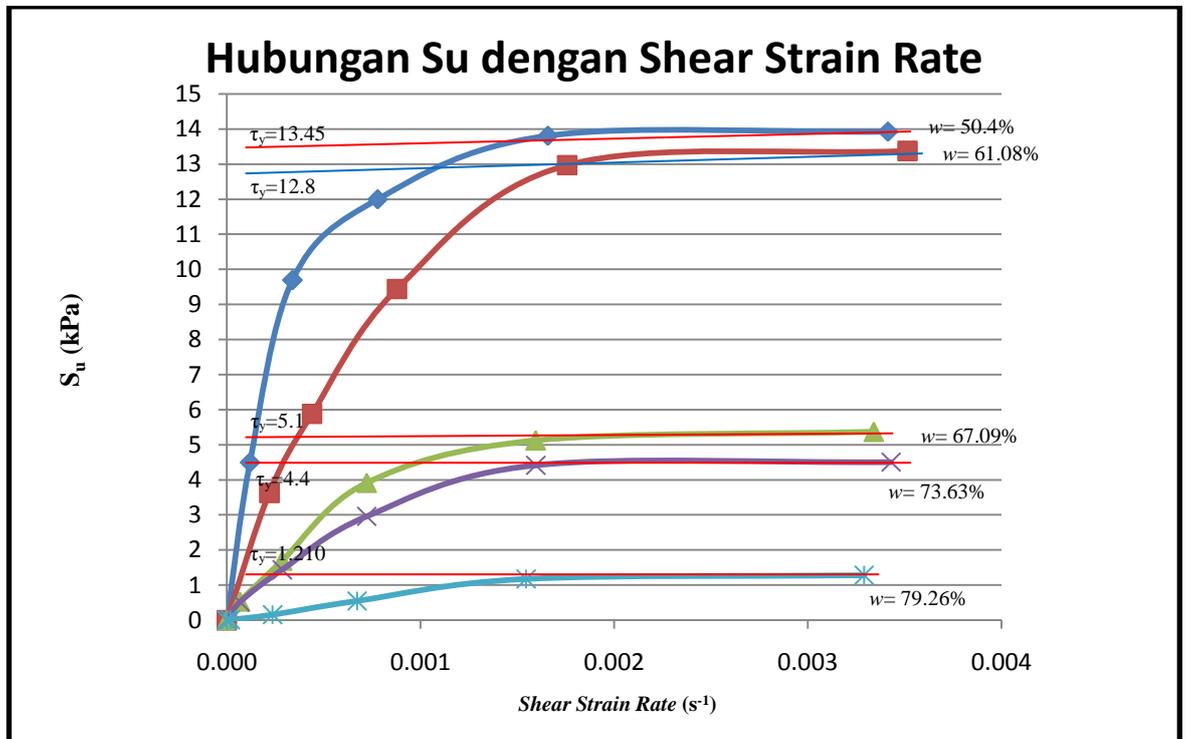


**Gambar 5.16** *Boundary Effect* Pada Kaolin dan Tanah Longsor Parakan Muncang

Dari gambar 5.16 dapat dijelaskan bahwa peningkatan kadar air mempengaruhi peningkatan *boundary effect* baik pada tanah kaolin maupun tanah longsor Parakan Muncang. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan peningkatan jumlah kadar air maka ikatan partikel antar tanah semakin rendah sehingga saat dilakukan uji geser baling-baling *boundary effect* akan semakin besar.

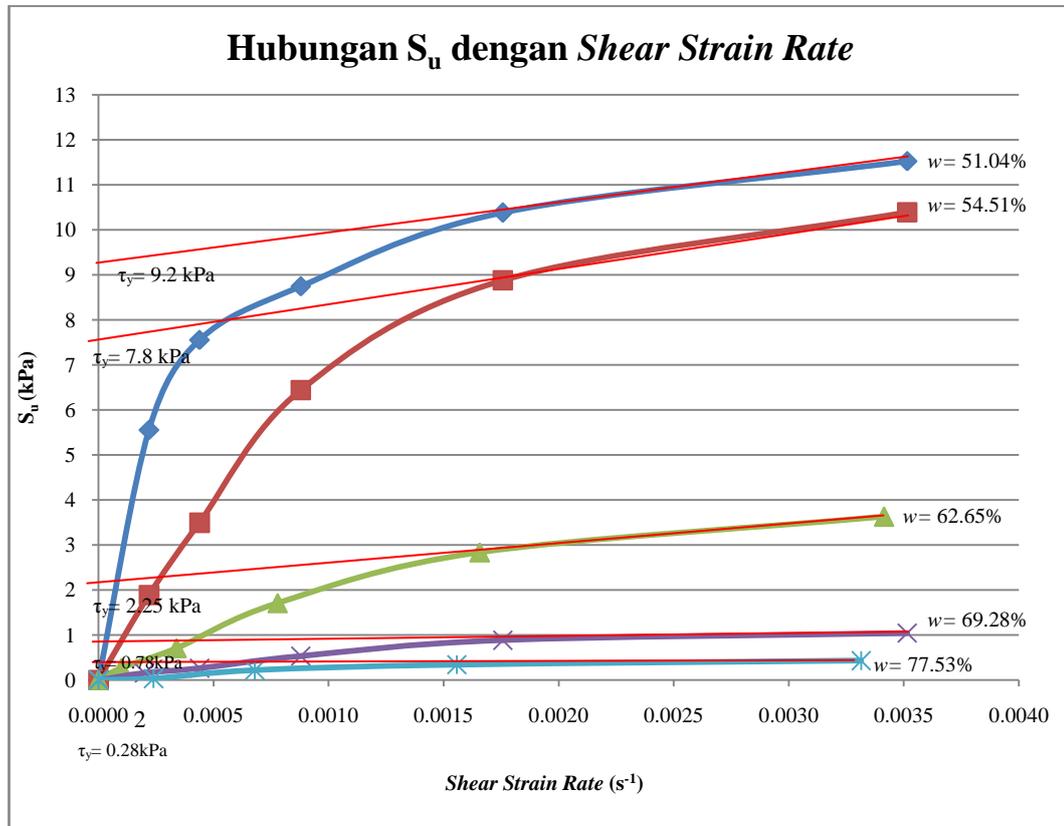
#### 5.4 Analisis Nilai Kuat Geser Tak Terdrainase ( $s_u$ ), *Yield Stress* ( $\tau_y$ ), dan Viskositas ( $\eta$ ) Pada Kaolin dan Tanah Longsor Parakan Muncang

##### 5.4.1 Kaolin



**Gambar 5.17** Hubungan  $S_u$  dengan *Shear Strain Rate* Tanah Kaolin

#### 5.4.2 Parakan Muncang

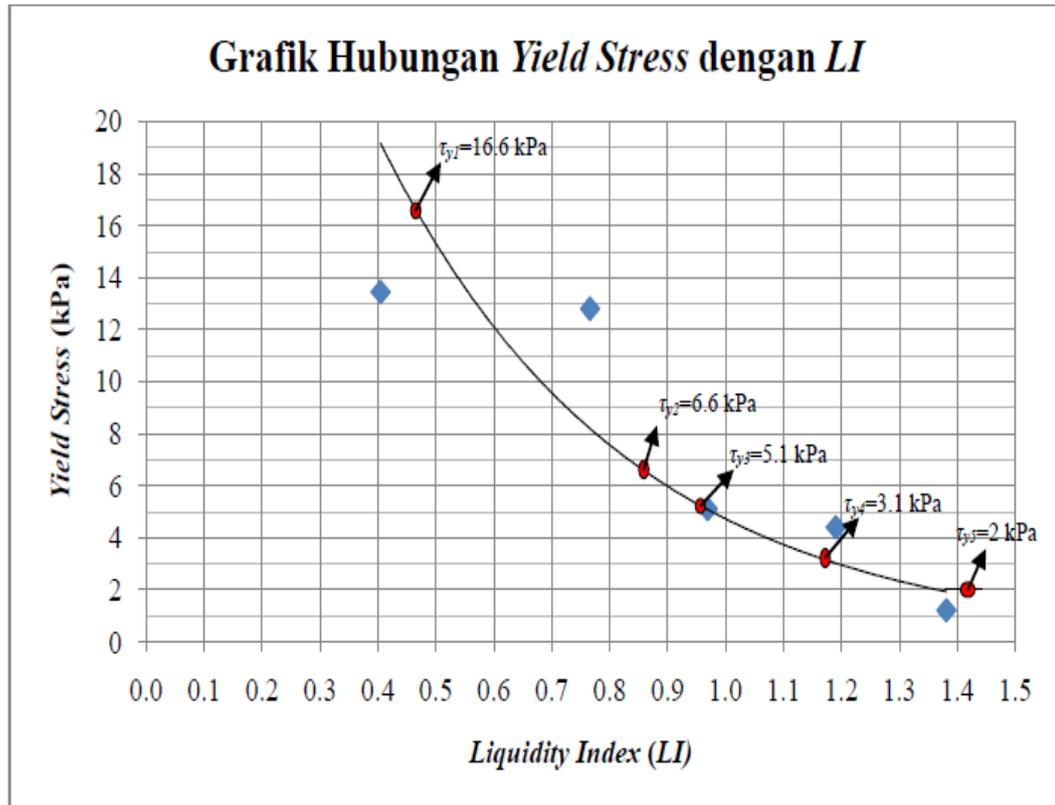


**Gambar 5.18** Hubungan  $S_u$  dengan *Shear Strain Rate* Tanah Parakan Muncang

#### 5.5 Data *Yield Stress* dari Uji Geser Baling-Baling Untuk Perhitungan Viskositas *Flow Box*

Nilai *yield stress* yang digunakan untuk perhitungan pada uji *flow box* merupakan hasil dari uji geser baling-baling. Nilai *yield stress* yang digunakan untuk uji *flow box* dilakukan dengan cara membuat hubungan kurva *trendline* antara *liquidity index* ( $LI$ ) dengan *yield stress* dari hasil uji geser baling-baling seperti yang tertera pada Gambar 5.19. Bentuk kurva *trendline* yang digunakan yaitu merujuk kepada hubungan nilai viskositas terhadap  $LI$  kaolin dan Maokong FBT yang sudah dilakukan oleh Widjaja (2013) bisa dilihat pada Gambar 5.19. Sebagai contoh nilai

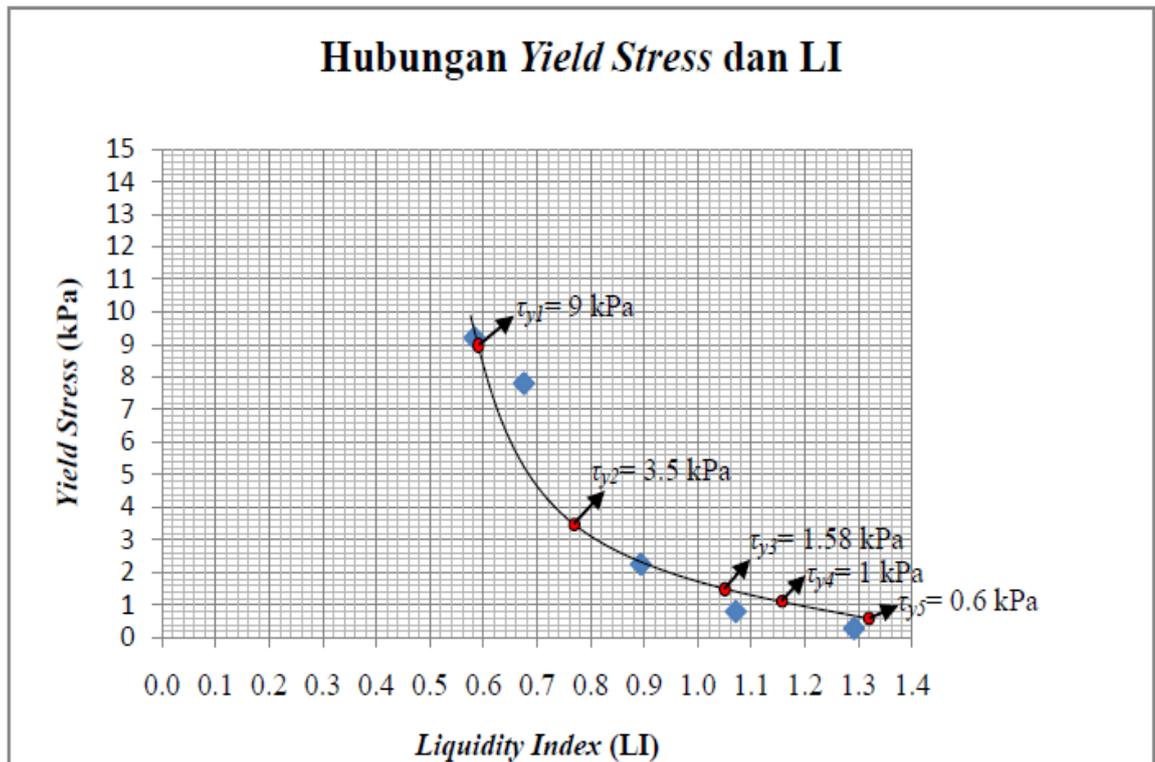
kadar air aktual tanah kaolin pada *flow box* sebesar 52.84% menghasilkan nilai *liquidity index (LI)* sebesar 0.487, dengan nilai *yield stress* sebesar 16.6 kPa.



**Gambar 5.19** Hubungan *Yield Stress* dengan *Liquidity Index* Tanah Kaolin

**Tabel 5.11** Nilai *Yield Stress* yang Digunakan untuk Perhitungan Viskositas ( $\eta$ ) Tanah Kaolin pada Uji *Flow Box*

Kadar Air Aktual, $w$ (%)	$LI$	<i>Yield Stress</i> , $\tau_y$ (kPa)
52.84	0.487	16.6
63.89	0.861	6.6
66.56	0.951	5.1
73.38	1.182	3.1
80.66	1.428	2.0



**Gambar 5.20** Hubungan *Yield Stress* dengan *Liquidity Index* Tanah Longsor Parakan Muncang

**Tabel 5.12** Nilai *Yield Stress* Yang Digunakan Untuk Perhitungan Viskositas ( $\eta$ ) Tanah Longsor Parakan Muncang Pada Uji *Flow Box*

Kadar air aktual (%)	<i>LI</i>	<i>Yield Stress</i> (kPa)
51.36	0.591	9
58.04	0.77	3.5
68.73	1.056	1.58
72.65	1.16	1
78.48	1.32	0.6

## 5.6 Hasil Uji *Flow Box*

### 5.6.1 Hasil Uji *Flow Box* Tanah Kaolin

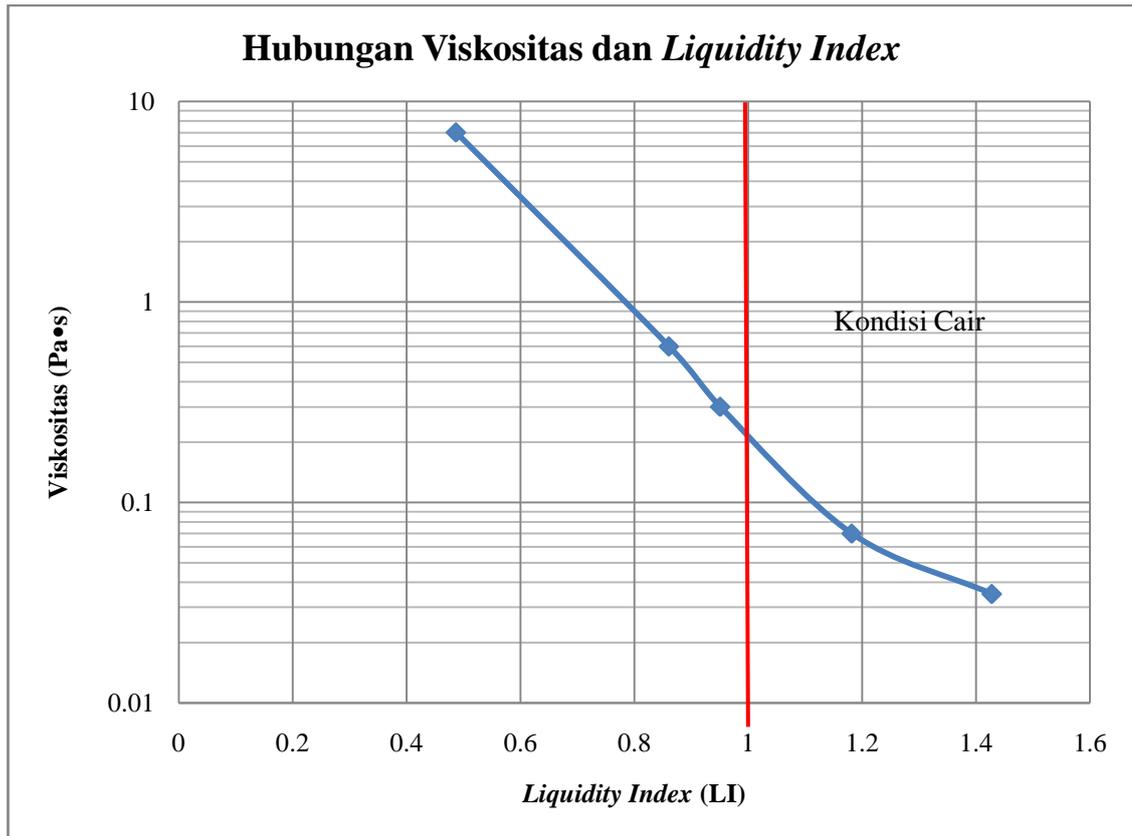
Gambar 5.21 merupakan hasil akhir dari uji flow box yaitu berupa grafik hubungan antara viskositas dan *liquidity index*. Pada gambar tersebut membagi

menjadi dua kondisi yaitu saat kondisi plastis ( $LI < 1$ ) dan pada saat kondisi cair ( $LI > 1$ ). Pada saat kondisi plastis, nilai viskositas ( $\eta$ ) lebih tinggi daripada pada saat kondisi cair. Sebagai perbandingan, nilai viskositas pada tanah kaolin untuk kondisi plastis yaitu untuk  $LI = 0.861$  memiliki viskositas sebesar  $0.6 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , sedangkan untuk kondisi cair yaitu pada saat  $LI = 1.182$  memiliki nilai viskositas sebesar  $0.07 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  (atau lebih rendah 12.3 kali lipatnya).

Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan kadar air, sehingga menyebabkan viskositas ( $\eta$ ) pada saat kondisi cair lebih rendah dan akan menyebabkan pula kecepatan pada tanah kaolin semakin cepat. Dengan semakin rendahnya nilai viskositas ( $\eta$ ), tanah tersebut terdapat kemungkinan besar akan terjadi *mudflow*.

**Tabel 5.13** *Liquidity Index (LI), Yield Stress, dan Viskositas ( $\eta$ ) Tanah Kaolin*

Kadar Air Aktual (%)	$LI$	<i>Yield Stress</i> , $\tau_y$ (kPa)	Viskositas, $\eta$ ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )
52.84	0.487	16.6	7
63.89	0.861	6.6	0.6
66.56	0.951	5.1	0.3
73.38	1.182	3.1	0.07
80.66	1.428	2.0	0.035



**Gambar 5.21** Hubungan Viskositas ( $\eta$ ) dan *Liquidity Index* Tanah Kaolin Berdasarkan Uji *Flow Box*

### 5.6.2 Hasil Uji *Flow Box* Tanah Longsor Parakan Muncang

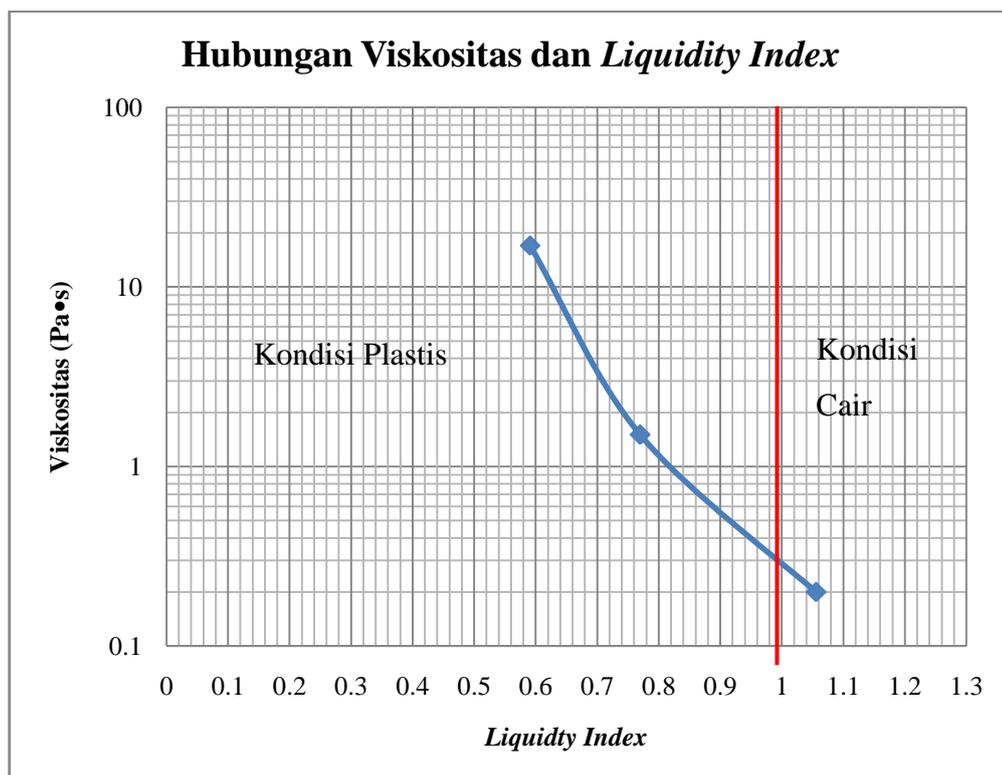
Pada saat kondisi plastis, nilai viskositas ( $\eta$ ) lebih tinggi daripada pada saat kondisi cair, bisa dilihat pada Gambar 5.22. Sebagai perbandingan, nilai viskositas pada tanah longsor Parakan Muncang untuk kondisi plastis yaitu untuk  $LI=0.591$  memiliki viskositas sebesar 17 Pa•s, sedangkan untuk kondisi cair yaitu pada saat  $LI=1.056$  memiliki nilai viskositas sebesar 0.2 Pa•s (atau lebih rendah 85 kali lipatnya).

Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan kadar air, sehingga menyebabkan viskositas ( $\eta$ ) pada saat kondisi cair lebih rendah dan akan

menyebabkan pula kecepatan pada tanah longsor Parakan Muncang semakin cepat.

**Tabel 5.14** Hasil Viskositas ( $\eta$ ) Tanah Longsor Parakan Muncang Berdasarkan *Flow Box*

Kadar Air Aktual, $w$ (%)	$LI$	Yield Stress, $\tau_y$ (kPa)	Viskositas, $\eta$ (Pa•s)
51.36	0.591	9	17
58.04	0.77	3.5	1.5
68.73	1.056	1.58	0.2



**Gambar 5.22** Hubungan Viskositas ( $\eta$ ) dan *Liquidity Index* Tanah Longsor Parakan Muncang Berdasarkan Uji *Flow Box*

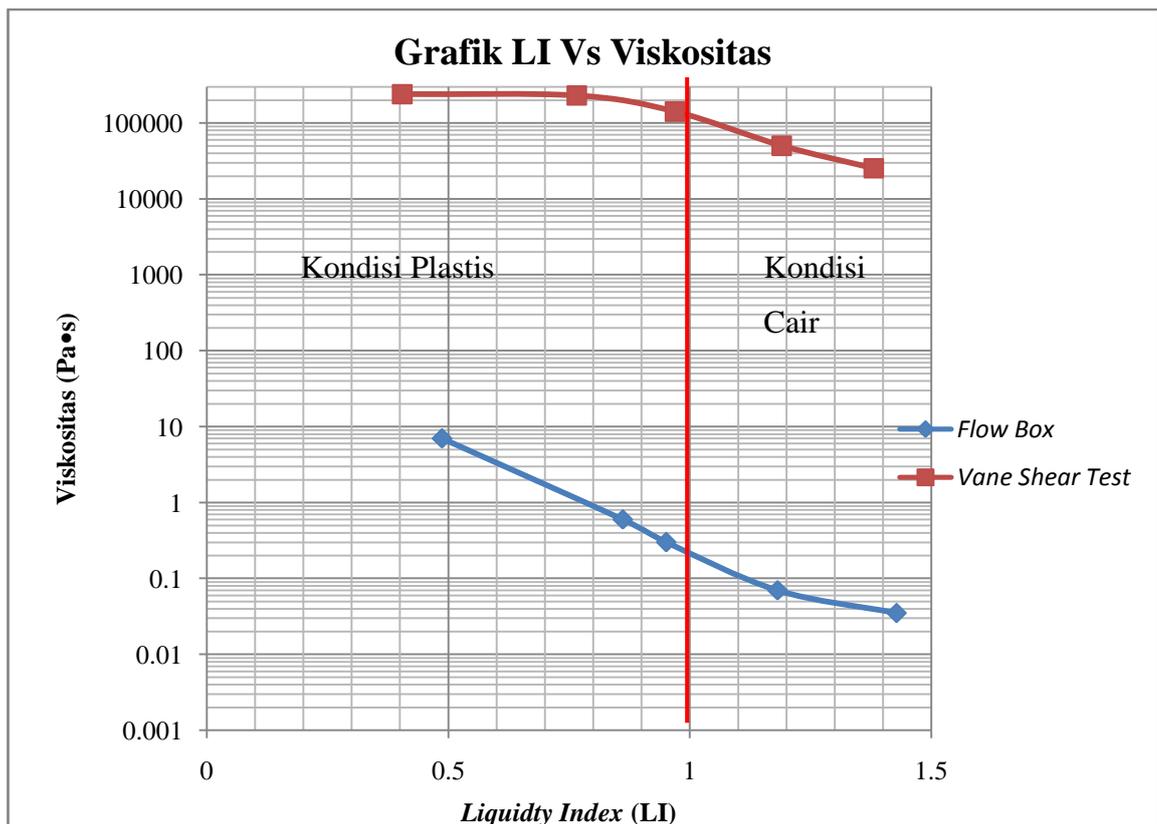
## 5.7 Perbandingan Nilai Viskositas

### 5.7.1 Perbandingan Nilai Viskositas Tanah Kaolin

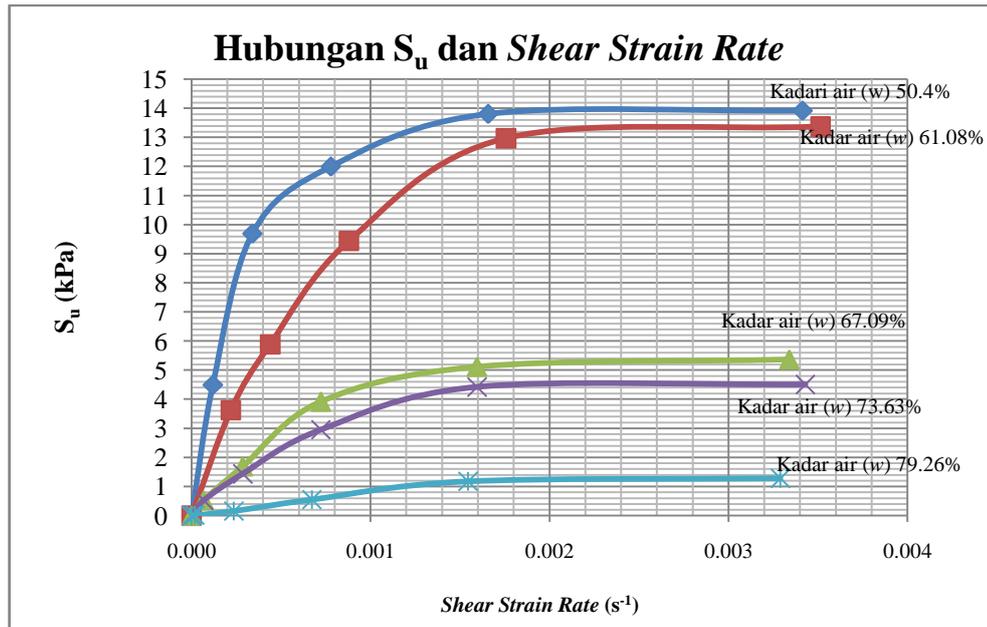
Pada Gambar 5.8 menunjukkan bahwa adanya perbedaan hasil nilai viskositas pada tanah kaolin berdasarkan hasil perhitungan dari uji *flow box* dengan hasil perhitungan dari uji geser baling-baling. Sebagai perbandingan, nilai viskositas tanah kaolin pada kondisi plastis berdasarkan perhitungan uji *flow box* adalah berada dalam rentang  $0.22 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 7 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , sedangkan pada kondisi plastis berdasarkan perhitungan dari hasil uji geser baling-baling adalah berada dalam rentang  $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 2.41 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . Perbandingan nilai maksimum dan minimum viskositas tanah kaolin untuk kondisi plastis adalah  $3.4 \times 10^4$  kali lipat dan  $5.5 \times 10^5$  kali lipat.

Selain itu juga, perbandingan nilai viskositas untuk tanah kaolin pada saat kondisi cair yaitu berdasarkan hasil perhitungan dari uji *flow box* nilai viskositas tanah kaolin yaitu berada dalam rentang  $0.035 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 0.22 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , sedangkan berdasarkan hasil perhitungan dari uji geser baling-baling yaitu berada dalam rentang  $2.55 \times 10^4 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 1.2 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . Perbandingan nilai maksimum dan minimum nilai viskositas tanah kaolin pada saat kondisi cair yaitu  $5.5 \times 10^5$  kali lipat, dan  $7.28 \times 10^5$  kali lipat. Dari kedua kondisi yaitu pada saat kondisi plastis dan kondisi cair, perbandingan nilai viskositas antara hasil perhitungan berdasarkan hasil uji *flow box* dan hasil perhitungan berdasarkan uji geser baling-baling ternyata sangatlah jauh berbeda.

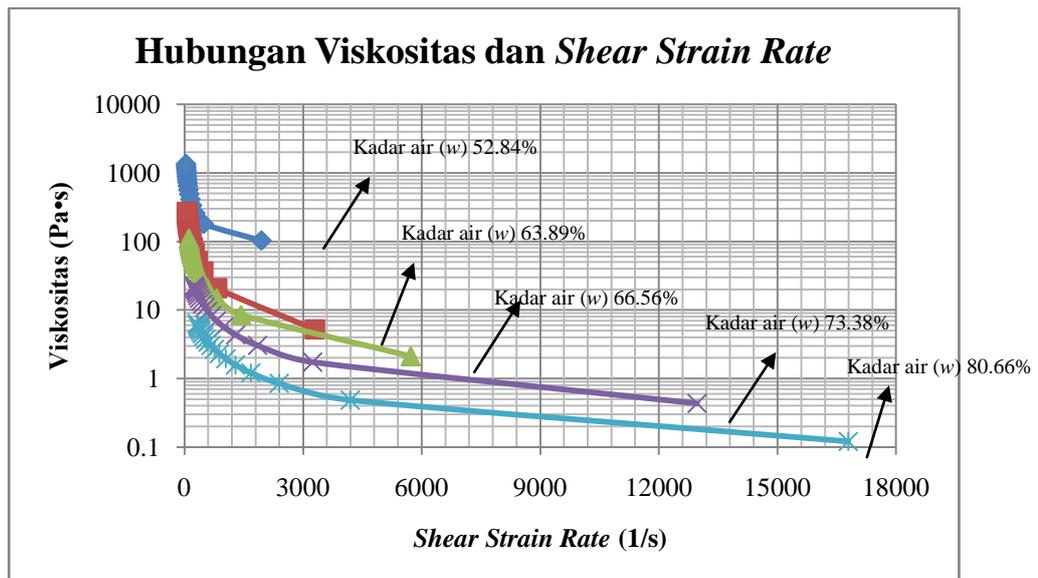
Perbedaan tersebut dikarenakan *shear strain rate* yang sangat jauh berbeda antara uji geser baling-baling (*vane shear test*) dengan uji *flow box*. Nilai maksimum *shear strain rate* yang terjadi pada uji geser baling-baling  $0.0035 \text{ s}^{-1}$ , sedangkan nilai *shear strain rate* maksimum yang terjadi pada uji *flow box* yaitu sebesar  $16794.1038 \text{ s}^{-1}$  pada saat kadar air 80.66%. Oleh karena itu, nilai viskositas pada uji *flow box* dan uji geser baling-baling sangat jauh berbeda. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 5.23 mengenai grafik hubungan  $S_u$  dengan *shear strain rate* pada uji geser baling-baling, dan Gambar 5.24 tentang grafik hubungan viskositas dengan *shear strain rate*.



**Gambar 5.23** Grafik Perbandingan Nilai Viskositas Tanah Kaolin Antara Uji *Flow Box* dengan Uji Geser Baling-Baling



**Gambar 5.24** Hubungan  $S_u$  dan *Shear Strain Rate* Tanah Kaolin pada Uji Geser Baling-Baling (Setiabudi, 2014)



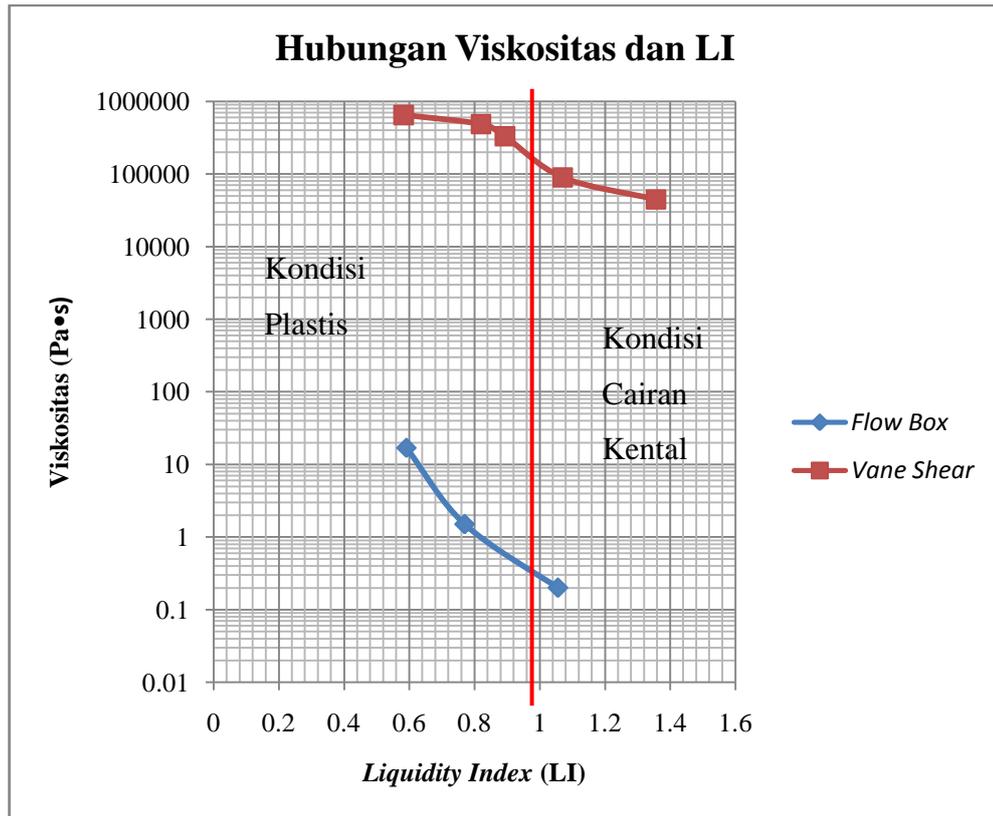
**Gambar 5.25** Hubungan Viskositas dan *Shear Strain Rate* Tanah Kaolin pada Uji *Flow Box*

### 5.7.2 Perbandingan Nilai Viskositas Tanah Longsor Parakan Muncang

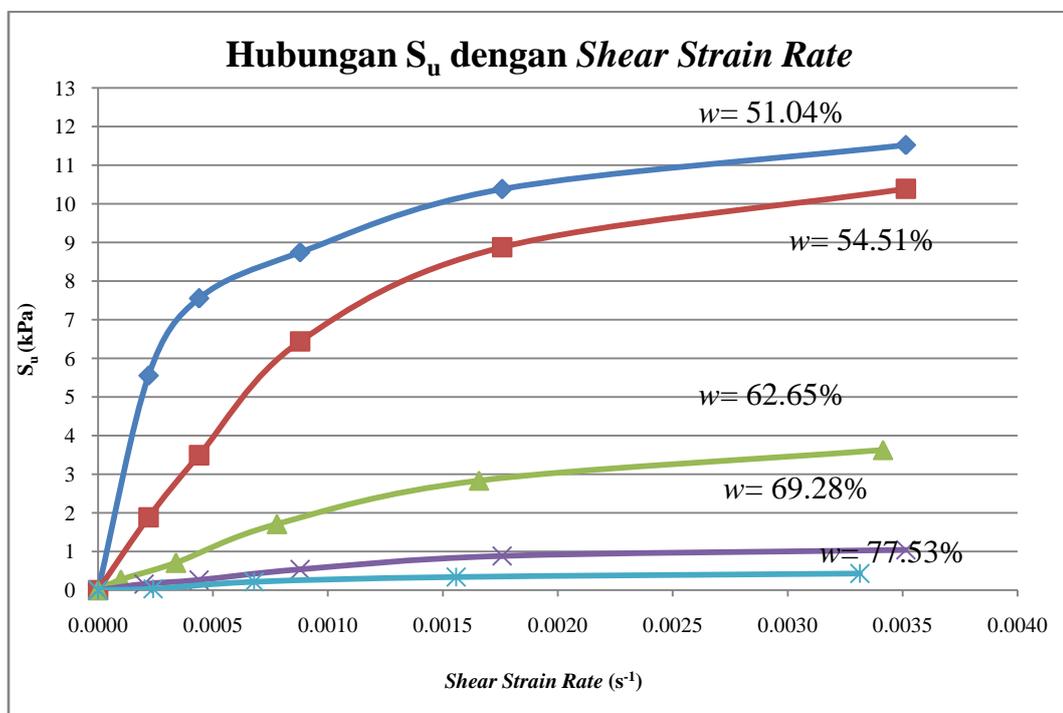
Perbandingan nilai viskositas tanah longsor Parakan Muncang antara uji *flowbox* dan uji geser baling-baling sangatlah jauh berbeda. Hal ini disebabkan karena

perbedaan *shear strain rate* yang terjadi pada uji *flow box* dan uji geser baling-baling sangat besar (lihat Gambar 5.26, dan 5.27), sehingga mempengaruhi nilai viskositas. Sebagai perbandingan, nilai viskositas tanah longsor Parakan Muncang pada kondisi plastis berdasarkan perhitungan uji *flow box* adalah berada dalam rentang  $0.3 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 17 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , sedangkan pada kondisi plastis berdasarkan perhitungan dari hasil uji geser baling-baling adalah pada rentang  $1.3 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 6.5 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . Perbandingan nilai maksimum dan minimum viskositas tanah kaolin untuk kondisi plastis adalah  $3.8 \times 10^4$  kali lipat dan  $4.3 \times 10^5$  kali lipat.

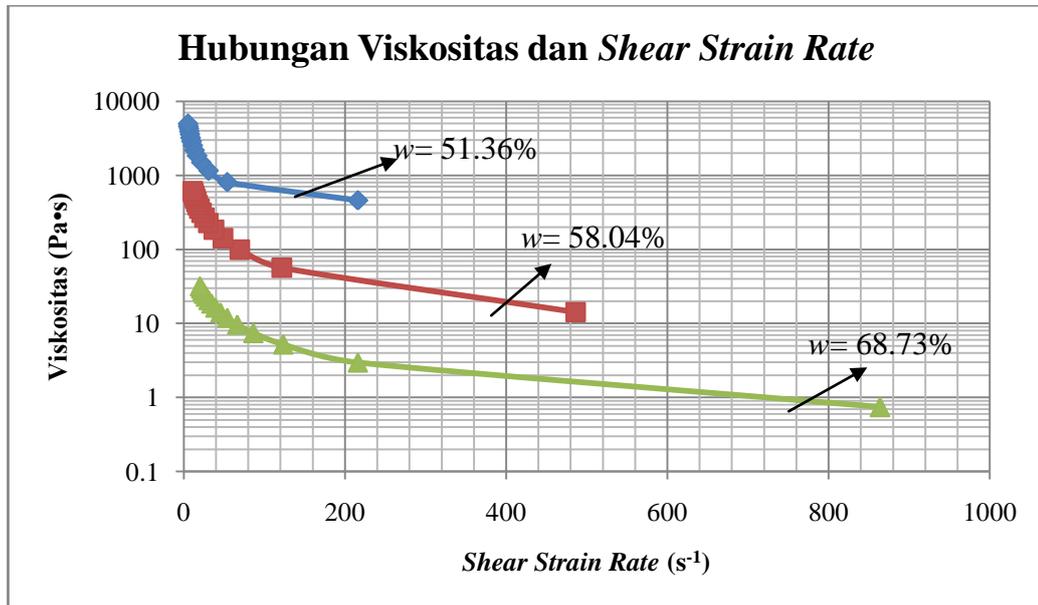
Selain itu juga, perbandingan nilai viskositas untuk tanah longoran Parakan Muncang pada saat kondisi cair yaitu berdasarkan hasil perhitungan dari uji *flow box* nilai viskositas tanah kaolin yaitu berada dalam rentang  $0.2 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 0.3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , sedangkan berdasarkan hasil perhitungan dari uji geser baling-baling yaitu berada dalam rentang  $4.5 \times 10^4 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 1.3 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . Perbandingan nilai maksimum dan minimum nilai viskositas tanah kaolin pada saat kondisi cairan kental yaitu  $4.3 \times 10^5$  kali lipat, dan  $2.2 \times 10^5$  kali lipat. Untuk lebih jelasnya lihat pada Gambar 5.26. Selain itu juga nilai maksimum *shear strain rate* yang dihasilkan dari uji *flow box* yaitu sebesar  $864.0522 \text{ s}^{-1}$ , sedangkan untuk uji geser baling-baling yaitu sebesar  $0.0034 \text{ s}^{-1}$ .



**Gambar 5.26** Grafik Perbandingan Nilai Viskositas Tanah Longsor Parakan Muncang Antara Uji *Flow Box* dengan Uji Geser Baling-Baling

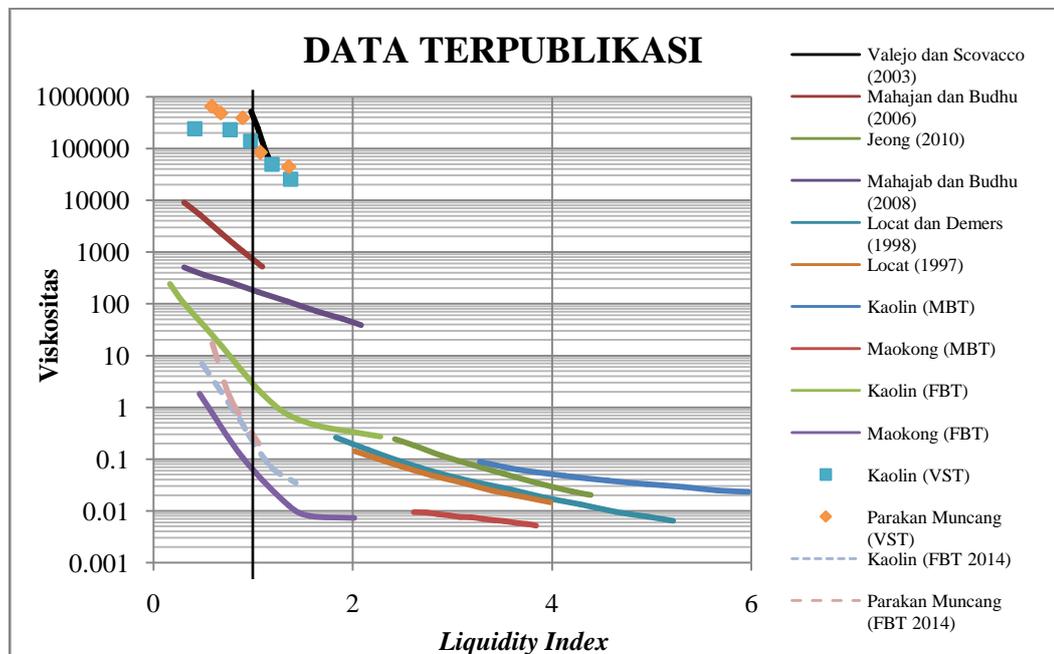


**Gambar 5.27** Hubungan  $S_u$  dan *Shear Strain Rate* dengan Tanah Longsor Parakan Muncang pada Uji Geser Baling-Baling (Setiabudi, 2014)



**Gambar 5.28** Hubungan Viskositas dan *Shear Strain Rate* Tanah Longsor Parakan Muncang pada Uji *Flow Box*

### 5.8 Membandingkan Hasil Viskositas Dari Uji Geser Baling-Baling dan *Flow Box Test* Terhadap Data Terpublikasi



**Gambar 5.29** Data Terpublikasi Hasil Viskositas

Gambar 5.29 menunjukkan bahwa nilai viskositas pada kaolin dan tanah longsor Parakan Muncang dengan uji geser baling-baling mendekati nilai viskositas dari Valejo dan Scovacco yang menurunkan nilai viskositas dengan menggunakan *flume channel*. Nilai viskositas yang dihasilkan oleh uji geser baling-baling bernilai tinggi dan tren penurunan nilai viskositas mirip dengan tren penurunan nilai viskositas dengan menggunakan uji FBT (*Flow Box Test*).

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

1. Kaolin merupakan tanah dengan plastisitas yang tinggi dan tergolong pada tanah MH, dengan nilai PI adalah 30. Tanah longsor Parakan Muncang tergolong jenis tanah CH dengan nilai PI adalah 28.
2. *Boundary effect* pada tanah kaolin dan tanah longsor Parakan Muncang berbanding lurus dengan peningkatan kadar air dari tanah. Semakin besar nilai kadar air maka semakin besar area pengaruh saat dilakukan uji geser baling-baling. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar kadar air dari suatu tanah maka ikatan tarik menarik antar partikel tanah semakin rendah. *Boundary effect* maksimum adalah sebesar 1.9 kali diameter baling-baling yang diukur dari as baling-baling.
3. Nilai kuat geser tak terdrainase akan semakin besar ketika kecepatan putaran semakin tinggi. Nilai kuat geser tak terdrainase akan semakin turun ketika kadar air pada suatu tanah meningkat. Kuat geser tak terdrainase pada kaolin dengan lima variasi kadar air dan lima variasi kecepatan putaran berada pada nilai lebih rendah dari  $s_u \leq 50kPa$ .

4. Nilai kuat geser tak terdrainase ( $s_u$ ) pada kaolin saat kadar air 100%LL (kadar air aktual 67.09%) pada kecepatan  $0.1^\circ/\text{detik}$  adalah  $1.7 \text{ kPa}$  mendekati nilai  $s_u$  pada tanah kohesi pada kondisi batas cair yaitu sebesar  $2 \text{ kPa}$ . Hal ini relatif cukup bersesuaian dengan Petkovsek et. al (2009).
5. Nilai viskositas ( $\eta$ ) pada kaolin berkisar antara  $25 \text{ kPa}\cdot\text{s} - 241 \text{ kPa}\cdot\text{s}$ . Sedangkan untuk tanah longsor Parakan Muncang, nilai viskositas ( $\eta$ ) berkisar antara  $45 \text{ kPa}\cdot\text{s} - 650 \text{ kPa}\cdot\text{s}$ . Viskositas Parakan Muncang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kaolin disebabkan karena perbedaan jenis tanah.
6. Nilai *yield stress* ( $\tau_y$ ) yang dihasilkan cukup aplikatif untuk tanah longsor, data *yield stress* dapat digunakan untuk pemodelan longsor menggunakan FBT. Namun nilai viskositas yang dihasilkan sangat tinggi sehingga kurang aplikatif dalam mengindikasikan simulasi pergerakan dari *mudflow*.
7. Pada penelitian kali ini, nilai viskositas yang dihasilkan dari uji geser baling-baling kemudian dibandingkan dengan data terpublikasi yang telah ada, terlihat bahwa nilai viskositas yang dihasilkan cenderung tinggi dan mirip dengan nilai viskositas dari Vallejo dan Scovacco (2003) yang diturunkan dari *flume channel*.
8. Nilai *yield stress* tanah kaolin berdasarkan hasil kurva *trendline* dari uji geser baling-baling yang digunakan untuk perhitungan viskositas pada uji *flow box* yaitu untuk kadar air 52.84% sebesar  $16.6 \text{ kPa}$ , untuk kadar air 63.89% sebesar  $6.6 \text{ kPa}$ , untuk kadar air 66.56% sebesar  $5.1 \text{ kPa}$ , untuk kadar air 73.38% sebesar  $3.1 \text{ kPa}$ , dan untuk kadar air 80.66% yaitu sebesar  $2 \text{ kPa}$ , sedangkan nilai *yield stress* tanah longsor Parakan Muncang untuk perhitungan viskositas

pada uji *flow box* yaitu untuk kadar air 51.36% sebesar 9 kPa, untuk kadar air 58.04% sebesar 3.5 kPa, dan untuk kadar air 68.73% sebesar 1.58 kPa. Untuk nilai *yield stress* dengan kadar air 72.65%, dan 78.48% tanah longsor Parakan Muncang yaitu masing-masing sebesar 1 kPa, dan 0.6 kPa. Nilai *yield stress* untuk kadar air 72.65%, dan 78.48% tanah longsor Parakan Muncang tidak dapat digunakan untuk perhitungan viskositas FBT, dikarenakan nilai *yield stress* yang dihasilkan kurang dari batas minimum yang telah ditetapkan pada FBT yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 1.4 kPa, sehingga nilai viskositas untuk kadar air 72.65%, dan 78.48% tidak dapat dianalisis.

9. Nilai viskositas tanah kaolin berdasarkan hasil perhitungan pada uji *flow box* dengan menggunakan parameter *yield stress* dari uji geser baling-baling (*vane shear test*) yaitu pada saat kondisi plastis ( $LI < 1$ ) dalam rentang  $0.22 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 7 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , sedangkan pada saat kondisi cair ( $LI > 1$ ) yaitu berada dalam rentang  $0.035 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 0.22 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . Untuk nilai viskositas tanah longsor Parakan Muncang yaitu pada saat kondisi plastis ( $LI < 1$ ) pada rentang  $0.3 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 17 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , sedangkan pada saat kondisi cair yaitu pada rentang  $0.2 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 0.3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ .
10. Nilai viskositas tanah kaolin berdasarkan hasil analisis uji geser baling-baling (*vane shear test*) yaitu pada saat kondisi plastis yaitu berada dalam rentang  $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 2.41 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , sedangkan pada saat kondisi cair ( $LI > 1$ ) berada dalam rentang  $2.55 \times 10^4 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 1.2 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . Untuk tanah longsor Parakan Muncang nilai viskositas pada saat kondisi plastis yaitu berada dalam rentang  $1.3 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 6.5 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , sedangkan pada saat

kondisi cair ( $Ll > 1$ ) yaitu berada dalam rentang  $4.5 \times 10^4 \text{ Pa}\cdot\text{s} - 1.3 \times 10^5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ .

11. Dari hasil kedua nilai viskositas berdasarkan uji *flow box* dan uji geser baling-baling memiliki perbedaan nilai viskositas yang sangat jauh berbeda. Pada tanah kaolin yaitu pada saat kondisi plastis memiliki perbedaan sebesar  $3.4 \times 10^4$  kali lipat, dan  $5.5 \times 10^5$  kali lipat, sedangkan pada saat kondisi cair memiliki perbedaan yaitu  $5.5 \times 10^5$  kali lipat, dan  $7.28 \times 10^5$  kali lipat. Pada tanah longoran Parakan Muncang yaitu pada saat kondisi plastis memiliki perbedaan sebesar  $3.8 \times 10^4$  kali lipat dan  $4.3 \times 10^5$  kali lipat, sedangkan pada saat kondisi cair memiliki perbedaan yaitu  $4.3 \times 10^5$  kali lipat, dan  $2.2 \times 10^5$  kali lipat.

## 6.2 Saran

1. Untuk pengujian kuat geser tak terdrainase dengan alat *vane shear* ini perlu diperhatikan pada kecepatan putaran, karena alat ini dilakukan secara manual maka hasil yang didapat perlu diberikan faktor koreksi.
2. Untuk pengujian area pengaruh pada masing-masing kadar air hanya dilakukan pada bagian permukaan, area pengaruh pada kedalaman tertentu mungkin berbeda, jadi perlu ditentukan metode yang cocok untuk pengujian area pengaruh pada model penelitian.
3. Untuk mendapatkan kondisi tanah yang *undisturbed*, sebaiknya tanah didalam drum dibiarkan selama  $\pm 1$  minggu. Pada penelitian ini, tanah hanya didiamkan selama  $\pm 24$  jam disebabkan karena keterbatasan waktu.

4. Pada saat pembuatan sampel tanah uji antara uji *flow box* dan uji geser baling-baling harus secara bersamaan agar kadar air yang diinginkan sama.
5. Perlu dilakukan penelitian kembali mengenai pengaruh perubahan nilai viskositas pada uji *flow box* berdasarkan nilai *yield stress* dari uji geser baling-baling untuk mengetahui apakah benar nilai viskositas antara uji *flow box* dan uji geser baling-baling jauh berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arie, R. (2014). "Pengaruh Perubahan *Yield Stress* Terhadap Viskositas Tanah Menggunakan Uji *Flow Box* Studi Kasus *Mudflow* (Aliran Lumpur) Cililin, Bandung Barat". Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Arogyaswamy, R.N.P. (1992), "Landslides, Subsidences, Creeps and Displacement of Non-Tectonic Origin," Chapter IX, *Geotechnical Application in Civil Engineering*, A.A. Bakema, Rotterdam, Netherlands, 108-119.
- Artono, Priaji. (2009). "Mineral Kaolin", (Online), (<http://bongkah.blogspot.com/2009/01/mineral-kaolin.html>, diakses 5 Mei 2014).
- ASTM, "Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil [D2573-72(1978)]", Annual Book of Standards, Vol. 4.08, ASTM, Philadelphia, 1989, pp. 308-310.
- Atkinson, J. (1993), "Stability of Slope," *An Introduction to the Mechanics of Soils and Foundation through Critical State Soil Mechanics*. McGraw-Hill: Bershire, 256-274.
- Basic Rheological Terms*. (Online). ([http://www.rheosys.com/help\\_system/basic\\_rheologicalterms.htm](http://www.rheosys.com/help_system/basic_rheologicalterms.htm), diakses tanggal 31 Mei, 2014)
- Bell, F.G. 1993, "Engineering Geology", Blackwell Scientific Publications.  
London Edinburgh Boston, Melbourne Paris Berlin Vienna
- Budhu M. (2007). *Soil and Mechanics and Foundation*. 2th ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.

- Chen, H., Chen, R.H., Yu, F.C., Hung, J.J., 2004. The inspection of the triggering mechanics for a hazardous mudflow in an urbanized territory. *Environmental Geology* 45, 899-906.
- Coduto, D.P. (1999). *Geotechnical Engineering*. Pearson Education, Inc., New Delhi.
- Crudden, D.M. Varnes, D.J. (1996): Landslide Types and Process, Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, pp. 36-75.
- Das, B.M. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Erlangga, Jakarta.
- Day, R.D. (1999). *Forensic Study and Foundation Engineering*. McGraw-Hill, New York.
- Fang, H.Y. and J.L. Daniels.(2006). *Introductory Geotechnical Engineering – An Environmental Perspective*. Taylor & Francis, London.
- Franzy, L. (2000): “On the Effect of Clays on Collisional Stresses in Debris Flow”. In: *Proceedings Second IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*, Obihiro, Japan, pp. 375-384.
- Fritz, W. and J.N. Moore (1998) *Basics of Physical Stratigraphy and Sedimentology*. John Wiley and Sons, New York.
- Harnas, R. (2012). “Klasifikasi Longsoran Menurut Varnes”, (Online), ([http://id.scribd.com/doc/102506241/Klasifikasi-Longsoran-Menurut Varnes](http://id.scribd.com/doc/102506241/Klasifikasi-Longsoran-Menurut-Varnes), diakses 5 Mei 2014).
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M.J., Hutchinson, J.N., 2001. “A review of The Classification of Landslides of The Flow Type”. *Environmental and Engineering Geoscience* VII (3), 221-238.
- Julien, P.Y. dan Y.Lan. (1991), “Rheology of Hyperconcentrations”, *Journal of Hydraulic Engineering* Vol 117 No 3, 346-353.

- Krynine, D.P. dan W.R. Judd.(1957). Landslide and Other Crustal Displacement.*Principles of Engineering Geology and Geotechnics*. McGraw-Hill, New York.
- Mainali, A., Rajaratnam, N., 1994. *Experimental Study of Debris Flows*.Journal of Hydraulics Engineering 120 (1), 104-123.
- Murck, B.W. dan B.J. Skinner. (1999). *Understanding Our Planet*. John Wiley & Sons, New York.
- Noor, Djauhari. (2012). Longsor Tanah, (Online), (geografi-geografi.blogspot.com/2012/01/longsor-tanah.html, diakses 5 Mei 2014).
- O'Brien, J.S. (2003), "Reasonable Assumption in Routing a Dam Break Mudflow. 3.<sup>rd</sup> International Conference on Mud and Debris Flow", *Proceeding of Debris Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assesment*, eds Rickenmann and Chen, Switzerland.
- O'Brien, J.S. and P.Y. Julien. (1988), "Laboratory Analysis of Mudflow Properties", *Journal of Hydraulic Engineering* Vol 114 No 8, 877-887.
- O'Brien, J.S. (1986): Physical Processes, Rheology and Modeling of Mudflow, Ph.D. Dissertation. Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, USA.
- Octora, I. (2012). "Laporan Penyelidikan Tanah". Laboratorium Geoteknik Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
- Rahardjo, P.P. (2007). "Diktat Kuliah Bencana Alam Geologi". Universitas Katolik Parahyangan.
- Rajapakse, R. (2008). *Geotechnical Engineering Calculations and Rules of Thumb*. Butterworth Heinemann, Maryland, USA.
- Ritchie, A.M. (1958), "Recognition and Identification of Landslides", *Landslides and Engineering Practice*. Highway Research Board Special Report 29, 21-47.

- Schnaid, Fernando. 2009, "In Situ Testing in Geomechanics", Taylor & Francis Group. London And New York
- Setiabudi.(2014), "Penentuan Nilai Kuat Geser dan Viskositas Pada Tanah Kaolin dan Tanah Longsor Dengan Uji Geser Baling-Baling Di Laboratorium". Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Setiawan, Didik. (2008). "Hambatan Gesekan Aliran". FT Universitas Indonesia, Depok.
- Sharma, V.K. (2010). *Introduction to Process Geomorphology*, CRC Press, Boca Raton, USA.
- Shorder, J.F. (1971). *Landslide of Utah: Salt Lake City*. University of Utah, Utah Geological and Mineral Survey Bulletin.
- Skempton, A.W. and Northey, R.D., 1952 "The Sensitivity of Clays", *Geotechnique*, The Institution of Civil Engineers, London, Volume 3, No.1, June 1952, pp. 1-16. (TA1.G3).
- Takahashi, T., 2007.*Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures*. Taylor and Francis, London, UK.
- Takahashi, T. (1980), "Debris Flow on Prismatic Open Channel", *Journal of Hydraulic Engineering* Vol 106 No HY3, 381-396.
- Teknik Pengukuran Viskositas. (Online).(<http://duniaanalitika.wordpress.com/2009/12/16/teknik-pengukuran-viskositas>, diakses 15 Maret 2014).
- Terzaghi, Karl, R.B, Peck, dan G. Mesri. (1996). *Soils Mechanics in Engineering Practice*. 3<sup>rd</sup> ed. John Wiley & Sons, New York.
- Terzaghi, K., 1943. Arching in Ideal Soils, Chapter V, *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, New York, USA.

- Tsuji, Y. (2008). *Solid-Fluid Multiphase Flow*. Depart. Of Mechanical Engineering, Osaka University ([www.ocw.mit.edu](http://www.ocw.mit.edu), diakses tanggal 2 Maret 2014).
- Varnes, D.J. (1978). Slope Movement Types and Processes. Chapter 2, *Landslides: Analysis and Control*. Special Report 176. Transportation Research Board. National Academy of Sciences: Washington D.C.
- Vyalov, S.S. (1986). *Rheological Fundamentals of Soil Mechanics*. Elsevier, Amsterdam, Netherland.
- Widjaja, B. (2010). “*Theory Of Mudflow*”, Prosiding Seminar Pengelolaan Infrastruktur dalam Menyingkapi Bencana Alam. Solo, Indonesia.
- Widjaja, B., Rahardjo, P.P., Aila, W., Yovita, N. (2013). “Penentuan Viskositas dan Simulasi *Mudflow* Sukaresmi-Cianjur Berdasarkan Hasil Flow Box Test”. Universitas Katolik Parahyangan.
- Widjaja, B. dan Lee Shannon Hsien-Heng. (2013). “Flow Box test For Viscosity Of Soil Plastic And Viscous Liquid State”. National Taiwan University of Science and Technology.
- Widjaja, B. dan Lee Shannon Hsien-Heng.(2013), “Pemodelan Pergerakan Mudflow Di Laboratorium”, Seminar Nasional IX-2013 Teknik Sipil ITS Surabaya.
- Widjaja, B. dan Lee Shannon Hsien-Heng. (2013), “Indikator Terhadap Bahaya Longsoran Tanah”, Konferensi Nasional Teknik Sipil 7, Universitas Sebelas Maret Surakarta, 24-26 Oktober 2013.
- Woo, G. (1999), “The Mathematics of Natural Catastrophes”, Imperial College Press: London.
- Yovita, N. (2013). “Penentuan Karakteristik *Rheology Mudflow* Di Sukaresmi, Cianjur Menggunakan Uji *Flow Box*”. Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.