

Studi Kasus Aliran Lumpur di Desa Pasir Panjang Menggunakan Program FLO-2D

Case Study of Mudflow in Pasir Panjang Village by Using FLO-2D Program

Budijanto Widjaja^{1,a)} & Dzaky Mahesa Wibowo^{1,b)}

¹⁾Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Koresponden : ^{a)}widjaja@unpar.ac.id & ^{b)}4114141@student.unpar.ac.id.

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara rawan bencana tanah longsor. Aliran lumpur (*mudflow*) merupakan salah satu jenis gerakan tanah yang dapat terjadi secara alamiah dan merupakan bencana alam geologi yang sering terjadi, salah satunya adalah pada bencana tanah longsor di Desa Pasir Panjang, Salem, Brebes. *Mudflow* merupakan salah satu tipe pergerakan tanah dalam kondisi jenuh air dengan dominan perilaku ditentukan oleh tanah butir halus. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh parameter tanah dari material longsor di Desa Pasir Panjang, memperoleh parameter reologi berupa *yield stress* dan viskositas, dan mengetahui perilaku pergerakan tanah dengan menggunakan program FLO-2D. Untuk mencapai tujuan tersebut, dilakukan uji kadar air, uji berat jenis, uji *Atterberg*, uji hidrometer, uji saringan basah, uji *fall cone penetrometer* dan uji *flow box*. Sampel tanah yang digunakan terdiri dari 2 sampel, sampel 1 merupakan sumber area sedangkan sampel 2 merupakan deposisi area. Parameter tanah dan parameter reologi yang telah didapat digunakan pada program FLO-2D dengan 4 variasi liquidity index (LI) pada tiap sampel, yaitu 0.9, 1, 1.1, dan 1.2. Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa semakin besar LI pada suatu sampel tanah, nilai viskositas dan nilai *yield stress* akan semakin kecil. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa aliran lumpur ini dapat terjadi pada saat kadar air mencapai nilai batas cairnya.

Kata Kunci : manajemen aset infrastruktur, infrastruktur, evaluasi

PENDAHULUAN

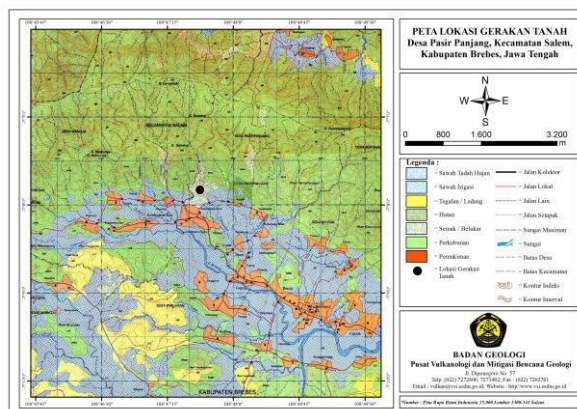
Indonesia merupakan negara rawan bencana alam. Salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia adalah tanah longsor. Badan Nasional Penanggulangan Bencana mencatat bahwa sampai saat ini, Indonesia mengalami 2572 kejadian bencana pada tahun 2018, 473 diantaranya merupakan bencana tanah longsor (BNPB, 2019).

Lahan pada kasus tertentu harus dianggap sebagai bagian integral dari infrastruktur yang berada di atasnya. Hal ini menjadi sangat jelas pada kasus kelongsoran tanah, kasus likuifaksi akibat gempa dan kasus lain. Untuk keperluan Manajemen Aset Infrastruktur, baik pada tahap perencanaan, perancangan, pembangunan maupun pemeliharaan (Suprayitno & Soemitro, 2018) karakteristik tanah perlu untuk diketahui dengan baik, guna merencanakan tindakan pencegahan tanah longsor.

Tanah longsor adalah suatu proses perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula, karena pengaruh gravitasi, arus air, dan beban luar (PUPR RI, 2002). Kondisi tanah yang jenuh air merupakan penyebab utama tanah longsor. Kondisi tersebut disebabkan oleh intensitas hujan yang tinggi, perubahan tingkat air

tanah, dan perubahan permukaan air tanah. Peningkatan kadar air tanah dapat mempengaruhi kondisi tanah berupa aliran tanah. Parameter penting yang mengakibatkan kondisi aliran tanah hingga terjadinya longsor adalah viskositas (η) dan yield stress (τ_w).

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh parameter tanah dari material longsor di Desa Pasir Panjang, memperoleh parameter reologi berupa *yield stress* dan viskositas, dan mengetahui perilaku pergerakan tanah dengan menggunakan program FLO-2D. Longsor terjadi pada tanggal 22 Februari 2018 tepatnya pada pukul 08.45 WIB, yang menyebabkan 18 orang meninggal dunia, 4 orang hilang, dan belasan lainnya luka-luka. Peta lokasi gerakan tanah dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Gerakan Tanah Desa Pasir Panjang (ESDM, 2018)

RUANG LINGKUP

Penelitian ini mencakup beberapa hal yaitu untuk memperoleh parameter tanah dari material longsor di Desa Pasir Panjang, memperoleh nilai kuat geser tanah (*yield stress*) dengan menggunakan uji *fall cone penetrometer* dan nilai viskositas dengan menggunakan uji *flow box*, mengetahui perilaku pergerakan tanah dengan menggunakan program FLO-2D, dan sampel tanah yang digunakan merupakan tanah terganggu (*disturbed*) yang diambil pada lokasi longsor di Desa Pasir Panjang.

METODE PENELITIAN

Jenis longsor yang terjadi di Desa Pasir Panjang, Salem, Brebes merupakan jenis alir lumpur (*mudflow*). Menurut USGS (2004), *mudflow* adalah aliran bumi (*earth flow*) yang terdiri dari material yang cukup basah untuk mengalir dengan cepat dan mengandung setidaknya 50 % partikel pasir, lumpur, dan tanah liat. Peningkatan kadar air pada tanah yang diakibatkan oleh meningkatnya intensitas hujan adalah salah satu penyebab terjadinya *mudflow*.

Mudflow sebagai cairan kental dapat dipahami menggunakan pendekatan reologi. Reologi didefinisikan sebagai studi tentang aliran dan deformasi. Ada dua parameter reologi yang dimiliki *mudflow*, yaitu *yield stress* dan viskositas. *Yield stress* merupakan parameter yang menentukan suatu aliran dapat terjadi. Sedangkan viskositas merupakan parameter yang menentukan kecepatan suatu aliran. Suatu material yang tidak memiliki *yield stress* disebut material Newtonian. Sedangkan material yang memiliki kedua parameter dikenal dengan material non-Newtonian, misalnya tanah (Widjaja, 2017).

Nilai *yield stress* (τ_y) pada penelitian ini dianggap sama besar dengan nilai kohesi (c_u). Hal ini dikarenakan tanah yang dominan pada penelitian ini merupakan tanah berbutir halus. *Yield stress* dapat dihitung menggunakan persamaan (1) (FLO-2D, 2007).

$$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v} \quad \dots(1)$$

Dimana :

- y = *yield stress* (kPa),
- α dan β = konstanta sebagai parameter input dalam FLO-2D,
- C_v = koefisien konsentrasi berdasarkan volume.

Nilai C_v dapat dicari menggunakan persamaan (2) untuk kasus tanah jenuh air.

$$C_v = \frac{1}{1 + G_s w} \quad \dots(2)$$

Dimana :

- G_s = berat jenis
- W = kadar air
- C_v = koefisien konsentrasi berdasarkan volume.

Viskositas adalah sifat dasar dari semua cairan. Viskositas dapat disebut sebagai gaya hambatan dan merupakan ukuran sifat gesekan dari cairan (Viswanath et al., 2006). Jika nilai viskositas rendah maka aliran yang bergerak akan mengalir lebih cepat. Apabila nilai viskositasnya tinggi maka aliran akan mengalir lebih lambat (aliran semakin kental). Viskositas dapat dihitung menggunakan persamaan (3) (FLO-2D, 2007).

$$\eta = \alpha e^{\beta C_v} \quad \dots(3)$$

Dimana :

- η = viskositas (Pa•s),
- α dan β = konstanta sebagai parameter input dalam FLO-2D,
- C_v = koefisien konsentrasi berdasarkan volume.

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur, studi lapangan, pengumpulan data dan uji laboratorium, dan analisis data dan simulasi. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari buku, artikel, jurnal, dan referensi. Studi lapangan dilakukan dengan secara langsung datang ke lokasi longsor untuk mengetahui kondisi di lapangan, mencari informasi ke penduduk sekitar dan mengambil sampel tanah. Pada pengumpulan data dan uji laboratorium, data yang dikumpulkan pada penelitian ini berupa data topografi dan data karakteristik tanah. Data karakteristik tanah didapat melalui uji kadar air, uji berat jenis, uji batas-batas *Atterberg*, uji hidrometer, uji saringan basah, uji *fall cone penetrometer* dan uji *flow box* yang dilakukan di Laboratorium Geoteknik Universitas Katolik Parahyangan Bandung. Parameter karakteristik yang didapat melalui uji laboratorium akan digunakan pada analisis data dan simulasi menggunakan program FLO-2D untuk mengetahui perilaku pergerakan tanah.

FLO-2D atau *Flood Routing Model* merupakan *software* model konservasi volume sederhana yang mendistribusikan hidrograf melalui sistem elemen kotak persegi (*grid*). Program ini digunakan untuk mengetahui perilaku pergerakan tanah.

Pada simulasi program FLO-2D dibutuhkan parameter tanah dan parameter tambahan berupa nilai koefisien Manning (n) dan parameter tahanan K . Nilai n menunjukkan koefisien kekasaran tanah. Sedangkan nilai K mempengaruhi kecepatan aliran dan area deposisi (d'Agostino dan Tecca, 2006). Parameter K dan n diambil berdasarkan kondisi permukaan sekitar longsor di lapangan. Besarnya nilai K dan n dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Nilai Parameter Tahanan (FLO-2D, 2007)

Surface	Range of K
Concrete/asphalt	24 -108
Bare sand	30 - 120
Graded surface	90 - 400
Bare clay - loam soil, eroded	100 - 500
Sparse vegetation	1000 – 4000
Short prairie grass	3000 - 10000
Bluegrass sod	7000 - 50000

Nilai K untuk kondisi permukaan di Desa Pasir Panjang berkisar antara 3000-10000 dan nilai n berkisar antara 0.10-0.20. Kondisi permukaan di Desa Pasir Panjang merupakan short prairie grass. Pada penelitian ini nilai n yang digunakan adalah 0.1 dan nilai K yang digunakan adalah 3000.

PEMBAHASAN

Sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini diambil langsung di Desa Pasir Panjang. Terdapat dua sampel yang terdiri dari sampel di daerah mahkota (Sampel 1) dan sampel di daerah deposisi (Sampel 2).

Mahkota longsor berada pada koordinat $108^{\circ} 47' 19.68''$ BT ; $7^{\circ} 7' 6.5856''$ LS. Lebar bidang longsor 140 m, panjang bidang longsor 240 m. Ketinggian lereng yang bergerak 108 m, panjang 240 m sampai tekuk lereng dengan kemiringan antara 35° pada bagian bawah lereng sampai lebih dari 45° pada bagian atas. Landasan material mencapai 2.3 km dari mahkota longsor meliputi aliran sungai, kebun pinus, jalan, dan areal persawahan (ESDM, 2018).

Volume material *mudflow* yang berpindah diasumsikan sebesar $354,545.00 \text{ m}^3$. Asumsi longsor dengan ketebalan 4 m berdasarkan kondisi di lapangan. Luas area deposisi didapat menggunakan peta kontur sebesar $88,636.25 \text{ m}^2$.

Berdasarkan uji laboratorium, didapatkan data karakteristik tanah di Desa Pasir Panjang. Hasil klasifikasi tanah pada sampel 1 dan sampel 2 berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS) dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 2. Tanah pada sampel 1 dan sampel 2 merupakan tanah anorganik dengan tanah lanau plastisitas tinggi (*MH*).

Uji *fall cone penetrometer* dilakukan untuk memperoleh kuat geser tanah dan uji *flow box* untuk memperoleh nilai viskositas. Pada penelitian ini nilai *yield stress* dan viskositas bergantung pada variasi nilai *LI* (*liquidity index*). Berdasarkan uji tersebut didapat nilai viskositas, *yield stress* dan berat isi tanah pada masing-masing *LI*. Parameter reologi Desa Pasir Panjang dapat dilihat pada Tabel 4.

Parameter reologi yang didapat, dibuat grafik hubungan viskositas dengan indeks kecairan (*LI*) dengan grafik hubungan *yield stress* dan indeks kecairan (*LI*). Melalui grafik tersebut dicari nilai viskositas dan *yield stress* saat $LI=0.9$, $LI=1$, $LI=1.1$, dan $LI=1.2$. Gambar 3 dan Gambar 4 merupakan grafik hubungan viskositas dan *LI* pada sampel 1 dan 2. Gambar 5 dan Gambar 6 merupakan hubungan *yield stress* dan *LI* pada sampel 1 dan 2. Nilai viskositas dan *yield stress* pada sampel 1 dan 2 dapat dilihat pada Tabel 5.

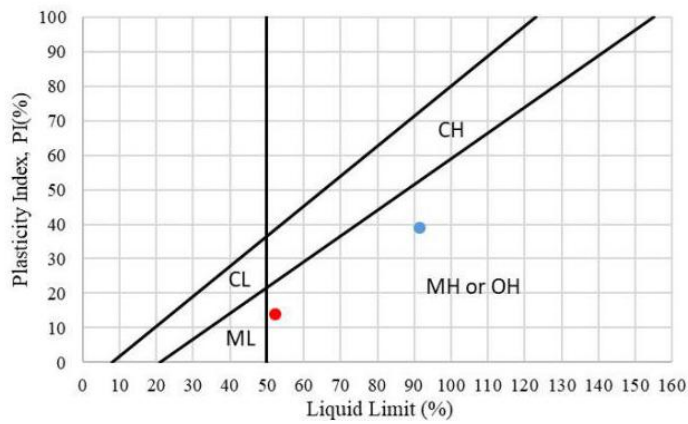
Pada program FLO-2D, perlu adanya 2 konstanta untuk memasukkan parameter reologi yang dapat dihitung menggunakan persamaan (1) dan persamaan (3). Nilai konstanta dan C_v pada sampel 1 dan 2 yang akan digunakan pada program FLO-2D dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 2. Nilai Koefisien Manning (FLO-2D, 2007)

Surface	n-value	
Dense turf	0.17	-0.8
Bermuda and dense grass, dense vegetation	0.17	-0.48
Shrubs and forest litter, pasture	0.3	-0.4
Average grass cover	0.2	-0.4
Poor grass cover on rough surface	0.2	-0.3
Short prairie grass	0.1	-0.2
Sparse vegetation	0.05	-0.13
Sparse rangeland with debris		
0% cover	0.09	-0.34
20 % cover	0.05	-0.25
Plowed or tilled fields		
Fallow - no residue	0.008	-0.012
Conventional tillage	0.06	-0.22
Chisel plow	0.06	-0.16
Fall disking	0.3	-0.5
No till - no residue	0.04	-0.1
No till (20 - 40% residue cover)	0.07	-0.17
No till (60 - 100% residue cover)	0.17 - 0.4	
Open ground with debris	0.1	-0.2
Shallow glow on asphalt or concrete	0.1	-0.15
Fallow fields	0.08	-0.12
Open ground, no debris	0.04	-0.1
Asphalt or concrete	0.02	-0.05

Tabel 3. Klasifikasi Tanah Desa Pasir Panjang

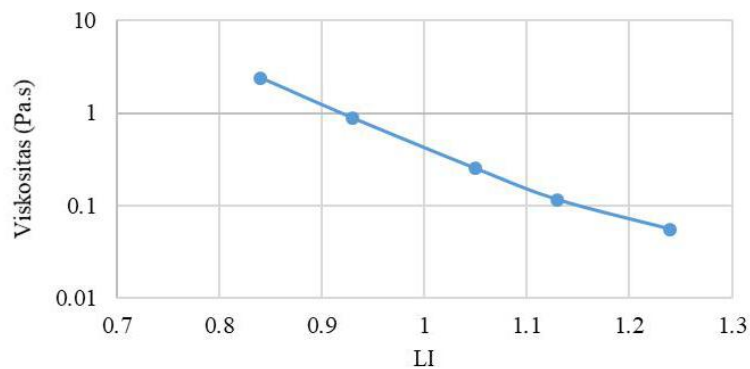
Sampel	Kadar air w (%)	Batas cair LL	Batas Plastis PL	Batas Cair Oven LLOven	Berat jenis G _s	USCS
1	9.6	91.55	52.52	79.28	2.65	MH
2	24.9	52.32	38.41	48.94	2.62	MH



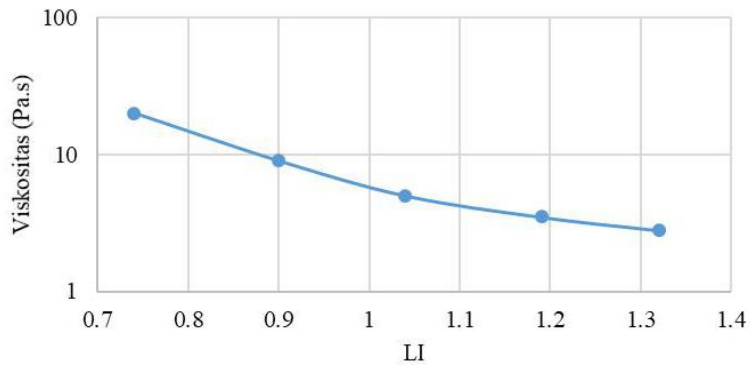
Gambar 2. Klasifikasi Tanah Desa Pasir Panjang

Tabel 4. Parameter Reologi Desa Pasir Panjang

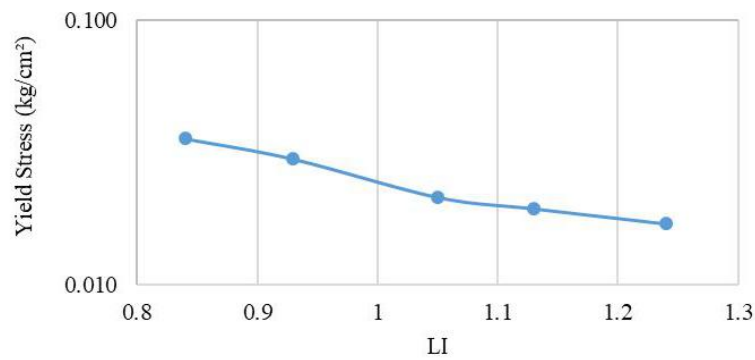
Sampel No	Batas Cair LL	Batas Plastis PL	Indeks Kecairan LI	Kadar air w (%)	Viskositas η (Pa·s)	Yield stress τ_y (kPa)	Berat isi γ (kN/m ³)
1	91.549	52.524	0.84	85	2.4	3.515	16.15
			0.93	89	0.88	2.941	16.05
			1.05	94	0.25	2.106	15.65
			1.13	97	0.115	1.906	15.52
			1.24	101	0.055	1.669	14.48
2	52.323	38.41	0.74	49	20	7.861	17.26
			0.9	51	9	6.884	17.24
			1.04	53	5	6.287	16.99
			1.19	55	3.5	4.473	16.54
			1.32	57	2.8	4.1	16.13



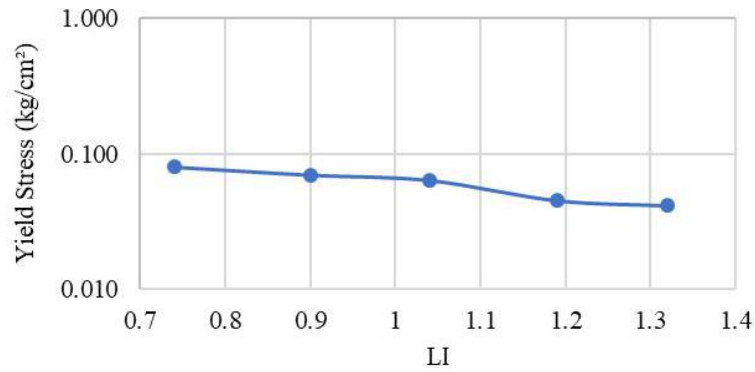
Gambar 3. Hubungan Viskositas dan LI pada Sampel 1



Gambar 4. Hubungan Viskositas dan LI pada Sampel 2



Gambar 5. Hubungan *Yield Stress* dan LI pada Sampel 1



Gambar 6. Hubungan *Yield Stress* dan LI pada Sampel 2

Tabel 5. Nilai Viskositas dan *Yield Stress* pada Sampel 1 dan 2

LI	Sampel 1		Sampel 2	
	η (Pa•s)	τ_y (kPa)	η (Pa•s)	τ_y (kPa)
0.9	1.387	3.132	9	6.884
1	0.513	2.454	6.143	6.458
1.1	0.166	1.981	4.4	5.562
1.2	0.077	1.755	3.446	4.444

Tabel 6. Nilai Konstanta FLO-2D dan C_v pada Sampel 1

LI	C_v	η (Pa•s)	τ_y (kPa)	α	β_η	β_{τ_y}
0.9	0.301	1.387	3.132	0.1	16.867	42.042
1	0.292	0.513	2.454	0.1	13.482	42.502
1.1	0.283	0.166	1.981	0.1	9.919	43.097
1.2	0.275	0.077	1.755	0.1	7.413	43.91

Tabel 7. Nilai Konstanta FLO-2D dan C_v pada Sampel 2

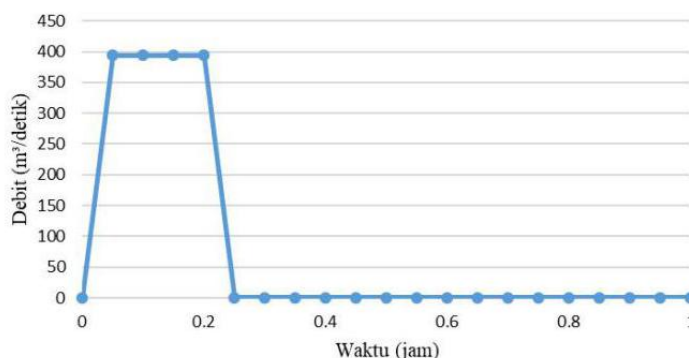
LI	C_v	η (Pa•s)	τ_y (kPa)	α	β_η	β_{τ_y}
0.9	0.428	9	6.884	0.1	15.894	31.407
1	0.422	6.143	6.458	0.1	15.214	31.702
1.1	0.415	4.4	5.562	0.1	14.667	31.877
1.2	0.409	3.446	4.444	0.1	14.285	31.796

Hidrograf untuk kasus *mudflow* Desa Pasir Panjang dibuat berdasarkan besar volume area deposisi 354,5 m³. Durasi perpindahan *mudflow* dari *source area* hingga berhenti di area deposisi diperkirakan selama 15 menit, dan didapatkan besar debit aliran sebesar 393.9 m³/detik menggunakan persamaan (4). Hidrograf untuk Simulasi program FLO-2D dapat dilihat pada Gambar 7.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \dots(4)$$

Dimana :

- Q = debit (m³/detik),
- V = volume (m³),
- t = waktu (detik)

**Gambar 7.** Hidrograf untuk Simulasi program FLO-2D

Berdasarkan analisis menggunakan program FLO-2D, hasil kecepatan maksimum dan kedalaman maksimum dapat dilihat pada Tabel 7. Pada penelitian ini terdapat 8 skenario yang terdiri dari 4 skenario menggunakan sampel 1 dan 4 skenario menggunakan sampel 2.

Tabel 7. Hasil Program FLO-2D

Sampel	Skenario	LI	Kecepatan Maksimum (m/s)	Kedalaman Maksimum (m)
1	1	0.9	10.5	9.4
	2	1	10.9	8.6
	3	1.1	11	8.2
	4	1.2	10.9	8
2	5	0.9	10.8	12.9
	6	1	11.1	12.4
	7	1.1	11.2	11.6
	8	1.2	11.2	10.7

KESIMPULAN

Tanah longsor di Desa Pasir Panjang diklasifikasikan sebagai *silt with high plasticity (MH)*. Nilai viskositas di Desa Pasir Panjang pada sampel 1 berkisar antara 1.387 Pa•s sampai dengan 0.077 Pa•s, sedangkan pada sampel 2 berkisar antara 9 Pa•s sampai dengan 3.446 Pa•s. Nilai *yield stress* di Desa Pasir Panjang pada sampel 1 berkisar antara 1.75 kPa sampai dengan 3.13 kPa, sedangkan pada sampel 2 berkisar antara 4.44 kPa sampai dengan 6.88 kPa. Nilai *yield stress* ini cukup dekat dengan variasi nilai kohesi pada saat kadar air sebesar batas cairnya.

Dari 8 skenario perubahan indeks kecairan untuk kasus Desa Pasir Panjang, diperoleh bahwa kecepatan maksimum longsor ini cukup konsisten yakni berkisar antara 10.5 – 11.2 m/s. Adapun kedalaman material pada daerah deposisi bervariasi dari 8 – 12.9 m tergantung pada variasi kadar air materi longsor.

DAFTAR PUSTAKA

- Arora, K. R. (2003). *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Lomus. Delhi.
- Barnes, H. A. (2000). *A Handbook of Elementary Rheology*. Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics. University of Wales. Aberystwyth.
- BNPB (2019). *Data Informasi Bencana Indonesia*. <http://bnpb.cloud/dibi/laporan5>. (diakses tanggal 11 Februari 2019)
- D'Agostino, V. & Tecca, P.R. (2006). "Some Considerations On The Application Of The FLO-2D Model For Debris Flow Hazard Assessment, (Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense and Debris Flows)". 160-170.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga. Jakarta.
- PUPR (2002). "Metode, Spesifikasi dan Tata Cara Bagian I: Tanah Longsor". Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. Jakarta.
- Dikau, R., Brunnsden, D., Lthar, S. & Ibsen, M.L. (1996). *Landslide Recognition: Identification Movement and Causes*. John Wiley & Sons. Chicester.
- ESDM (2018). (Laporan Singkat Pemeriksaan Gerakan Tanah Di Kecamatan Salem, Kab. Brebes Provinsi Jawa Tengah). <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gerakan->

- tanah/kejadian-gerakan-tanah/1971-laporan-singkat-pemeriksaan-gerakan-tanah-di-kecamatan-salem-kab-brebes-provinsi-jawa-tengah. (diakses tanggal 11 Februari 2019).
- Suprayitno, H. & Soemitro, R.A.A. (2018). "Preliminary Reflexion on Basic Principle of Infrastructure Asset Management". *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas, Vol.2, No.1, Maret 2018, Hal : 1-9*.
- USGS (2004). *Landslide Types and Processes*. United States Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html>. (diakses tanggal 11 Februari 2019).
- Varnes, D.J. (1978) *Slope Movement Types and Processes*. Transportation Research Board, Special Report, 11-33.
- Varnes, D.J., & Cruden, D.M. (1993). *Landslide Type and Processes*. Investigation and Mitigation, 1-60. Landslide.
- Viswanath, D.S., Ghosh, T.K., Prasad, D.H.L., Dutt, N.V.L., & Rani, K. (2006). *Viscosity of Liquids*, Springer, Dordrecht.
- Widjaja, B. (2017). "Perilaku Longsoran dan Mudflow Studi Kasus di Indonesia : Pendekatan Reologi". *Simposium Nasional RAPI XVI, 145-151*.
- Widjaja, B. & Lee, S.H. (2013). "Flow Box Test for Viscosity of Soil in Plastic and Viscous Liquid States". *Soils and Foundation, 35-46*.
- Widjaja, B., & Yovita, N. (2013). "Penentuan Viskositas dan Yield Stress dengan Flow Box Test untuk Mudflow". *Conference Paper, 325-330*.
- Widjaja, B., Naikofi, M. I., & Rahardjo, P.P. (2017). "Studi Reologi Mud Volcano di Desa Napan Pulau Timor dengan Flow Box Test". *Conference Paper, 1-7*.
- Widjaja, B., Rahardjo, P.P., Putri, A.R., Setiabudi, D.W., & Octora, I. (2014). *Perbandingan Yield Stress dan Viskositas Menggunakan Van Shear dan Flow Box Test untuk Menjelaskan Perilaku Mudflow*. Universitas Katolik Parahyangan, 1-110.