

G104 - PERILAKU LONGSORAN DAN MUDFLOW STUDI KASUS DI INDONESIA: PENDEKATAN REOLOGI

Budijanto Widjaja¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit No. 94, Bandung
Email: widjaja@unpar.ac.id

Abstrak

Kejadian longsor dan mudflow sering terjadi di Indonesia baik dipicu oleh air hujan dan gempa. Pemahaman tentang longsor dan mudflow baik secara konsep dan analitik masih baik untuk diteliti lebih lanjut. Metode perhitungan konvensional (*limit equilibrium method*) belum mampu menjawab area yang terdampak setelah longsor terjadi. Oleh karena itu, pendekatan reologi misalnya model Bingham (*yield stress dan viskositas*) diaplikasikan pada penelitian ini. Sebanyak 12 kasus kejadian pergerakan tanah dikaji. Sejauh ini jenis tanah halus yang berpotensi menyebabkan longsor dan mudflow adalah jenis tanah lanau berplastisitas tinggi. Analisis dilakukan dimulai dari pengumpulan data di lapangan, pengambilan sampel terganggu, pengujian di laboratorium, pemodelan numerik dengan software tertentu, dan interpretasi hasil. Makalah ini memberikan kontribusi, setidaknya dari seluruh longsor dan mudflow yang terjadi di Indonesia, bagaimana mekanisme pergerakan, tipe tanah, *rule of thumb* untuk posisi *source* hingga *deposition area*, inovasi uji laboratorium baru (*flow box test*), serta usulan klasifikasi longsor dan mudflow berdasarkan pendekatan reologi. Beberapa contoh penanganan pergerakan tanah disampaikan untuk memberikan gambaran proteksi terhadap longsor dan mudflow.

Kata kunci: lanau; longsor; Mudflow; Reologi

Pendahuluan

Kejadian pergerakan tanah, dalam hal ini longsor dan *mudflow*, banyak terjadi di dunia, terutama di Indonesia. Namun, belum semua konsep dan kajian analitik mampu untuk menjelaskan permasalahan longsor dan *mudflow*. Misalnya, dalam *limit equilibrium method*, perhitungan longsor hanya dibatasi sebagai rasio antara kuat geser dan gaya geser yang terjadi yang umum disebut sebagai Faktor Keamanan (FK). Namun, dengan metode ini hanya diperoleh informasi bidang gelincir kritis dan informasi keamanan tanah terhadap longsor, dan tidak diketahui bagaimana kondisi setelah kejadian pergerakan tanah. Di dalam rangkaian penjelasan di makalah ini, pergerakan tanah dibagi menjadi tiga bagian yaitu *source*, *transportation*, dan *deposition/accumulation area* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Untuk itu, perlu penelitian lebih lanjut tentang perilaku pergerakan tanah ini dengan menggunakan pendekatan lain berupa reologi. Pendekatan reologi relatif cukup baik untuk menggambarkan kondisi saat transportasi dan deposisi setelah longsor terjadi. Oleh karena itu, di dalam penelitian ini dijelaskan lebih lanjut mengenai konsep ini.

Definisi pergerakan tanah

Bentuk morfologi permukaan bumi merupakan pahatan yang dilakukan baik secara alamiah maupun unsur campur tangan manusia. Secara alamiah, benda akan ditarik ke arah inti bumi di mana peranan gravitasi menjadi sangat penting. Selain itu, kondisi tanah misalnya perubahan kadar air akibat perubahan cuaca (misalnya, infiltrasi air hujan) juga memberikan peranan besar di dalam pembentukan profil muka bumi ini.

Pergerakan tanah dapat didefinisikan sebagai proses yang terjadi di permukaan bumi sehingga diperoleh kesetimbangan baru. Proses ini dapat meliputi longsor tanah dan batuan termasuk di dalamnya *mudflow*. Gambar 2 menunjukkan beberapa jenis tipikal pergerakan tanah umum yang dapat terjadi dari tinjauan geologi.

Faktor keamanan: rasio sakti penentuan keamanan lereng

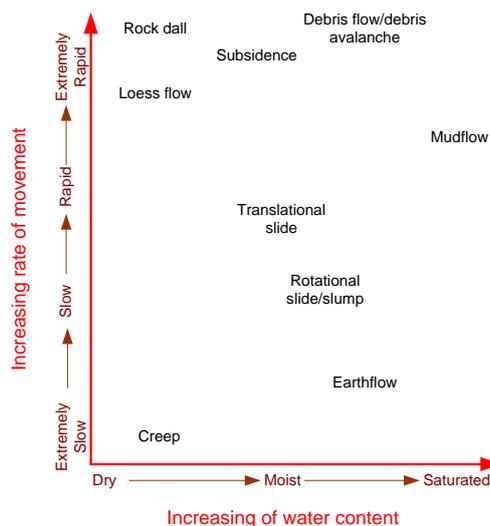
Longsor tanah pada literatur geoteknik umumnya menggunakan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) dan *phi-c reduction method*. Kedua metode ini menggunakan parameter kuat geser tanah (misalnya kohesi dan sudut geser dalam). Dengan demikian, hasil yang diperoleh adalah berupa suatu rasio antara kuat geser tanah terhadap gaya geser yang bekerja yang direpresentasikan dalam bentuk Faktor Keamanan (FK) seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Kriteria penerimaan dalam desain adalah jika FK ini lebih dari FK minimum yang disyaratkan (misalnya, FK minimum 1.5).

Kelebihan metode ini salah satunya adalah hanya menggunakan sebuah potongan sederhana dalam kondisi *plane strain* dan perhitungan sederhana. Beberapa kelemahan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Bagian tanah yang mengalami longsor dianggap sebagai *rigid material* dan bentuk bidang gelincir dapat berupa bidang translasi, rotasi, ataupun blok. Hal ini cenderung berbeda dengan kenyataan bahwa material tanah adalah bersifat kompresibel. Khusus untuk metode kesetimbangan batas, misalnya seperti metode Fellenius dan Bishop, analisis yang dilakukan menggunakan konsep kesetimbangan statik (dan atau pseudostatik untuk analisis dinamik) antar baji. Model konstitutif yang umum dipakai adalah Mohr-Coulomb.
2. Hasil analisis yang telah dilakukan umumnya memberikan informasi FK terkecil dari potongan yang dianalisis. Namun, tidak diketahui daerah terdampak akibat longoran ini. Artinya, daerah yang diteliti baru di bagian *source area*. Namun, lokasi area transportasi dan deposisi tidak diketahui.



Gambar 1. Bagian pergerakan tanah (Galang et al., 2015)

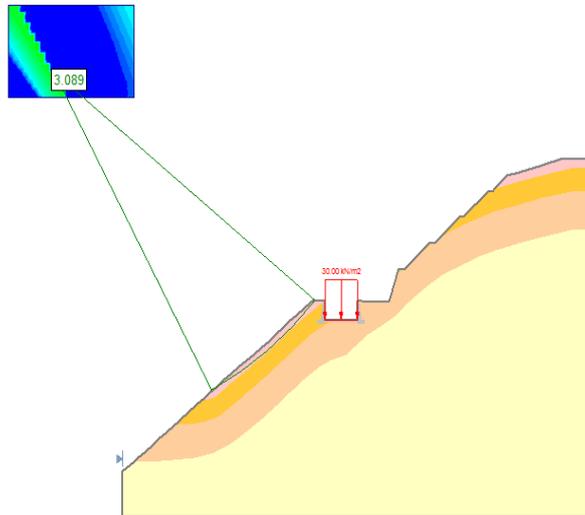


Gambar 2. Pergerakan tanah sebagai fungsi dari kadar air dan kecepatan pergerakan (Abbot, 2004)

Pertanyaan yang muncul adalah pada saat kejadian setelah longsor. Massa tanah ini akan dibawa ke mana? Bagaimana rute aliran tanah yang muncul? Berapa luas daerah yang terdampak? Pertanyaan-pertanyaan tersebut belum mampu dijawab menggunakan pendekatan FK ini.

Metode Penelitian: Pendekatan Reologi

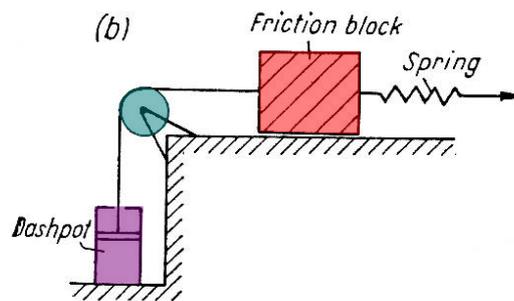
Untuk menjawab pertanyaan di atas, ilmu yang bisa digunakan adalah reologi. Ilmu ini mempelajari bagaimana suatu aliran terjadi dan bergerak. Secara ringkas, terdapat dua parameter penting di dalam ilmu ini yaitu *yield stress* dan viskositas. Suatu aliran baru terjadi jika gaya geser yang muncul lebih besar daripada *yield stress*. Setelah itu, kecepatan aliran ditentukan oleh viskositas. Jika suatu material tidak memiliki *yield stress* (misalnya air) maka material ini disebut material Newtonian. Sedangkan untuk material yang memiliki kedua parameter dikenal dengan material Non-Newtonian. Material tanah dapat dikategorikan sebagai material Non-Newtonian.



Gambar 3. Tipikal hasil analisis penentuan faktor keamanan lereng

Contoh penerapan model reologi ini di geoteknik salah satunya adalah penjelasan tentang konsolidasi di mana tanah dimodelkan sebagai pegas yang ditahan dalam satu wadah di mana air dapat berdisipasi melewati lubang tertentu. Formula dinamik dari Newton juga menggunakan kombinasi antara pegas, *dashpot*, dan massa. Jadi, reologi sangat erat dengan penggunaan pegas, *dashpot*, ataupun jenis lainnya seperti *slider friction type*.

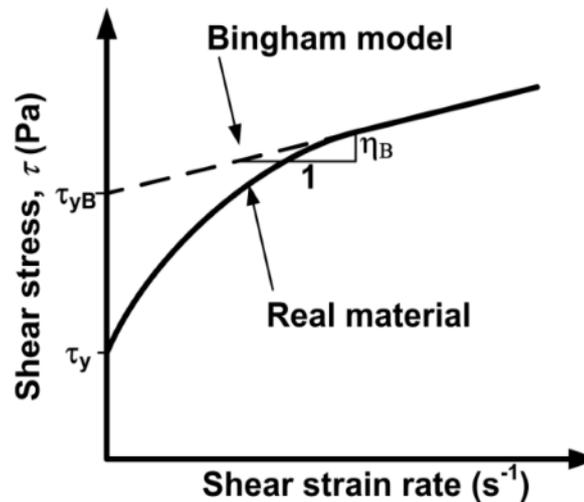
Untuk tipe Non-Newtonian, salah satu model reologi yang paling sederhana adalah model Bingham. Model ini menggunakan konsep seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Jadi, model ini memakai pegas dan *dashpot* untuk menjelaskan perilaku pergerakan suatu material.



Gambar 4. Penggambaran model bingham (Kezdi, 1974)

Seperti model konstitutif tanah (misalnya Mohr Coulomb) yang dinyatakan dalam hubungan tegangan-regangan, untuk model reologi digunakan hubungan antara *shear stress* dan *shear strain rate*. *Shear strain rate* merupakan turunan pertama dari *shear strain* yang umum digunakan dalam hubungan konstitutif untuk masalah-masalah dinamik (misalnya modulus geser, G). Seperti ditunjukkan pada Gambar 5, material riil di lapangan khususnya pada material tanah akan mengikuti pola kurva yang sifatnya mirip untuk kasus *strain hardening soil*. Gradien pada setiap titik pada kurva tersebut merupakan representasi dari nilai viskositas (h). Artinya adalah bahwa viskositas akan berubah-ubah nilainya terhadap pergerakan tanah yang terjadi setelah gaya geser melewati nilai *yield stress* (t_y).

Model Bingham merupakan salah satu model sederhana di mana viskositas tanah yang terdapat di dalam tanah selama gerakan terjadi dianggap konstan (Gambar 5). Hal ini cukup logis mengingat selama masa transportasi, viskositas yang muncul di bidang gelincir yaitu di permukaan tanah dipengaruhi oleh dua nilai yaitu kekasaran permukaan tanah dan viskositas itu sendiri. Dari hasil uji parametrik diketahui bahwa nilai viskositas rata-rata dapat diwakili oleh satu nilai viskositas yang konstan tanpa mengalami perubahan yang signifikan pada hasil prediksi deposisi yang terjadi (atau massa tanah bergerak dengan *shear strain rate* yang tinggi). Jika permukaan tanah terlalu kasar maka aliran tanah akan dikontrol oleh nilai viskositas yang lebih rendah. Umumnya setelah tanah terdeposisi, kontrol yang ada adalah gaya geser yang terjadi (t) dan kekasaran permukaan tanah. Untuk itu, model Bingham dapat digunakan untuk memprediksi perilaku longsoran dan *mudflow* khususnya pada simulasi di area transportasi dan deposisi.



Gambar 5. Perilaku material riil dan model bingham

Pada penelitian ini, tanah yang digunakan adalah dominan berupa tanah butir halus. Oleh karena itu, nilai *yield stress* (t_y) dapat dianggap diwakili oleh nilai kohesi (c_u). Untuk penentuan nilai c_u ini, dikarenakan rentang kondisi tanah berada dalam kondisi plastis hingga *viscous liquid*, di tahap awal penelitian, digunakan kombinasi uji kuat tekan bebas (jika memungkinkan), uji geser baling-baling, dan *fall cone penetrometer test*. Khusus untuk *fall cone penetrometer test*, rumus empirik digunakan untuk menentukan nilai *yield stress*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rentang nilai kohesi dapat diwakili menggunakan *fall cone penetrometer test* setelah dibandingkan dengan kedua jenis uji yang lain (Sunandar and Widjaja, 2016; Widjaja and Sundayo, 2016; Widjaja et al. 2015).

Sampel tanah yang diambil pada penelitian ini rata-rata berada di antara *source* dan *deposition* area. Sampel ini umumnya berupa *disturbed sample* dengan penentuan parameter fisik (kadar air, berat jenis, uji saringan dan hidrometer, *Atterberg limits*) yang dominan.

Konsekuensi yang muncul dengan menggunakan pendekatan reologi ini untuk analisis longsoran adalah dapat diketahui zona transportasi dan deposisi. Untuk itu, *input* yang dimasukkan adalah peta topografi lokasi yang ditinjau, parameter reologi tanah, kondisi permukaan tanah (misalnya penuh dengan tanaman), dan volume tanah yang longsor.

Inovasi Baru Penentuan Parameter Reologi

Umumnya untuk menentukan parameter reologi yaitu *yield stress* dan viskositas digunakan alat uji viscometer konvensional di laboratorium. Prinsip kerja alat uji laboratorium ini cukup beragam misalnya dengan sistem *rotary*. Namun, salah satu kesulitan utama adalah umumnya hanya dapat dilakukan untuk kondisi tanah dengan *Liquidity Index* (LI) di atas 2 dan sampel yang terlalu tipis yang tidak dapat merepresentasikan kondisi tanah sesungguhnya jika terdapat butir kasar di dalamnya.

Pilot project pertama adalah pengembangan alat laboratorium yang dikenal dengan *Moving Ball Test* (MBT). Uji ini, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6 (kiri), menggunakan prinsip kesetimbangan pada saat kecepatan dari bola yang dibenamkan di dalam sampel telah mencapai kecepatan terminal. Dengan menggunakan persamaan Navier-Stokes dapat diketahui parameter reologi tanah. Namun, uji ini kurang efektif karena membutuhkan sampel tanah dalam jumlah yang banyak dan khusus untuk kadar air dengan LI di atas 2 (Lee et al., 2008).

Untuk menanggulangi kelemahan alat uji ini, dibuat uji laboratorium kedua yaitu yang disebut dengan *Flow Box Test* (FBT) seperti ditunjukkan pada Gambar 6 (kanan). *Governing equation* yang digunakan merupakan

kombinasi antara teori trap door Terzaghi dan model Bingham. Dengan uji ini, dapat diketahui viskositas dari suatu aliran jika nilai *yield stress* diketahui. Penjelasan detail uji ini dapat dilihat di Widjaja dan Lee (2013) serta Lee dan Widjaja (2013).

Hasil uji tipikal FBT dapat dilihat pada Gambar 7. Dengan menggunakan hasil uji ini perilaku longsoran dan *mudflow* dapat diketahui karakteristiknya akibat perubahan kadar air.

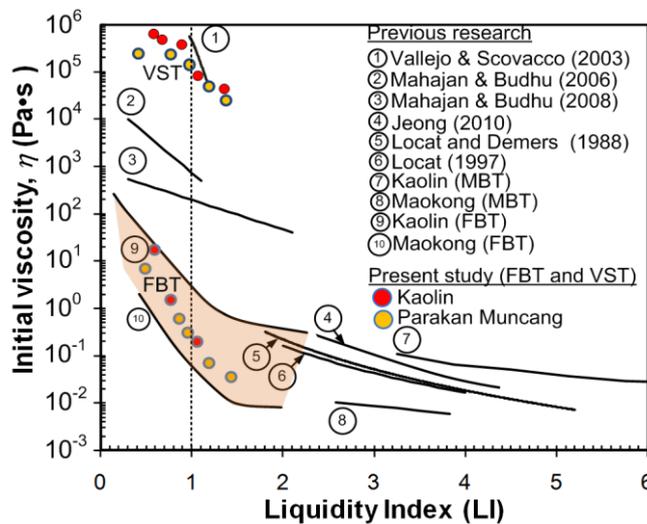
Penelitian longsoran dan *mudflow* di Indonesia

Faktor pemicu: air hujan dan gempa

Kejadian longsor dan *mudflow* ini umumnya dipicu oleh curah hujan yang tinggi dan atau akibat gempa. Rata-rata kejadian pergerakan tanah ini pada saat kumulatif curah hujan mencapai lebih dari 200 mm. Gempa dapat menjadi salah satu faktor pemicu karena memungkinkan energi yang dilepaskan menyebabkan *crack* pada bagian *source area*. Hal ini memungkinkan menjadi tempat bagi infiltrasi air yang memungkinkan air mengalir dan pada suatu waktu akan menyebabkan terjadinya perlemahan kekuatan geser tanah akibat peningkatan kadar air di dalam tanah.



Gambar 6. Alat uji *moving ball test* (kiri) dan *flow box test* (kanan) (Widjaja dan Lee, 2013)



Gambar 7. Perilaku material riil dan model bingham (after Widjaja dan Lee, 2013)

Jenis tanah tipikal untuk longsoran dan mudflow

Terdapat sebanyak 11 lokasi kejadian pergerakan tanah yang diteliti di Indonesia (Tabel 1). Jenis tanah pada lokasi *source area* dan *deposition area* rata-rata adalah berupa tanah lanau dengan plastisitas tinggi (MH). Dibandingkan dengan tanah lempung, tanah jenis lanau ini jika terjadi perubahan kadar air maka pola keruntuhannya adalah berupa aliran (Widjaja and Tanoto, 2016). Sedangkan untuk tanah lempung sendiri, pola keruntuhannya (CH) karena kelekatan tanah yang tinggi, pola keruntuhannya rata-rata mirip dengan pola longsoran

di mana ada bagian yang mengalami penyembulan. Hal ini dibuktikan dengan penggunaan *flume channel* di laboratorium (Widjaja and Pratama, 2015; Widjaja, 2010b). Jadi, kesimpulan sementara menunjukkan bahwa jenis lanau pada *source area* cenderung akan berperilaku sebagai *mudflow*. Sedangkan, untuk tanah lempung cenderung berperilaku sebagai longsor.

Kesamaan jenis tanah antara source, transportation, dan deposition area

Setiap lokasi pergerakan tanah, diambil beberapa contoh tanah pada bagian *source, transportation, dan deposition area*. Rata-rata kejadian menunjukkan bahwa pada tanah yang ada di bagian *source area* akan mencapai *deposition area* sehingga jenis tanah antara ke dua wilayah ini relatif hampir sama. Misalnya, pada lokasi pergerakan tanah di Pengalengan menunjukkan perilaku demikian (Ferry and Widjaja, 2015).

Mekanisme pergerakan longsor dan mudflow

Pada saat tanah bergerak dan atau mengalir menghantam penghalang di depannya, tanah cenderung akan membawa material lain yang lebih besar seperti batuan dan pepohonan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sewaktu massa tanah bergerak maka pola distribusi ukuran akan terbalik. Maksudnya adalah gradasi yang lebih besar akan berada di permukaan aliran, sedangkan yang lebih halus akan berada di bagian terbawah. Hal ini diakibatkan oleh faktor *buoyancy* saat aliran mengalir. Jadi, cukup logis bahwa meskipun longsor dan *mudflow* membawa ukuran batuan yang lebih besar, seluruh berat massa ini akan dipikul oleh material yang lebih halus yaitu lempung atau lanau. Oleh karena itu, peranan *yield stress* dan viskositas pada perbatasan antara bidang longsor aliran dan permukaan tanah menjadi faktor penting di dalam analisis pergerakan tanah ini (Widjaja dan Setiawan, 2016).

Tabel 1. Jenis tanah pada penelitian longsor dan *mudflow*

No.	Sampel	LL	PL	G_s	Soil type	Jenis gerakan tanah
1	Kaolin*	68	38	2.61	MH	-
2	Bentonite*	208	115	2.67	CH	-
3	Karanganyar (2007)	53	34	2.71	MH	Mudflow
4	Maokong (2008)	33	26	2.66	ML	Mudflow
5	Ciwidey (2010)	45	32	2.63	ML	Mudflow
6	Sukaresmi, Cianjur (2013)	66	48	2.55	MH	Mudflow
7	Cililin (2013)	58	30	2.74	MH	Mudflow
8	Parakan Muncang (2014)	67	29	2.60	CH	Longsor
9	Karang Mukti (2014)	88	29	2.67	CH	Longsor
10	Banjarnegara (2014)	65	40	2.73	MH	Mudflow dan longsor
11	Parung Ponteng (2014)	63	51	2.64	MH	Mudflow
12	Pangalengan (2015)	95	68	2.76	MH	Mudflow
13	Purworejo (2016)	74	38	2.56	MH	Mudflow
14	Ponorogo (2017)**	61	40		MH	Mudflow

Catatan: *tanah artificial ***under going project*, LL = batas cair, PL = batas plastis, G_s = berat jenis

Tanah pada *source area* memiliki kadar air tertentu dan hasil ini berdasarkan konsep yang dikembangkan peneliti akan mengacu pada satu nilai viskositas. Kemungkinan suatu wilayah di *source area* dapat bervariasi kadar airnya. Namun, pada saat terjadi pergerakan maka kemungkinan besar akan dikontrol pada kondisi kadar air tertentu (atau *Liquidity Index* tertentu). Pada waktu aliran terjadi maka pada bidang longsor akan mencari posisi pada bidang gelincir dengan kuat geser terendah. Kuat geser terendah ini diwakili oleh parameter reologi *yield stress* dan viskositas.

Pada kasus longsor dan *mudflow* di penelitian ini utamanya menggunakan model Bingham. Namun, penelitian ini juga membandingkan model tersebut dengan model Herschel-Bulkeley. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kedua model ini memberikan hasil penurunan nilai viskositas yang hampir sama pada rentang *shear strain rate* tertentu (Widjaja dan Anthony, 2016).

Usulan Klasifikasi Pergerakan Tanah

Berdasarkan rangkaian hasil penelitian longsor dan *mudflow* di Indonesia, dapat diusulkan suatu klasifikasi pergerakan tanah. Untuk lokasi di Indonesia, sesuai usulan dari O'Brien (2003) dan dimodifikasi oleh Widjaja dan Lee (2013) serta Widjaja (2010^a) untuk kondisi tanah jenuh air, nilai *concentration by volume* (C_v) adalah berada dalam rentang 0.35-0.55 untuk *mudflow*. Sedangkan untuk longsor nilai C_v bisa berada di atas 0.55.

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

Berdasarkan nilai *yield stress* dan viskositasnya serta perilaku hasil penelitian menggunakan *Flow Box Test*, suatu pergerakan tanah disebut longsor jika nilai LI berada di bawah 1. Sedangkan untuk *mudflow*, nilai LI bisa sama dengan atau lebih dari 1.

Rasio lebar terhadap panjang dari *source* hingga *deposition area* berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan untuk *mudflow* berada antara 0.05-0.30. Sedangkan untuk longsor berada di atas 0.30. Hal ini secara implisit menyatakan bahwa jarak transportasi *mudflow* lebih panjang dibandingkan dengan longsor tanah dan dapat mencapai 2 hingga 20 kali lebar aliran rata-rata.

Penanggulangan longsor dan *mudflow*

Untuk menanggulangi kejadian longsor dan *mudflow*, secara praktis adalah sama dengan penanganan untuk menjaga stabilitas longsor. Namun, yang perlu disiapkan apabila terjadi *mudflow* adalah disiapkan bangunan pengalih atau dam penahan longsor yang umumnya digunakan untuk menahan lahar (yaitu sabo dam). Tentunya hal ini perlu dikaji lebih lanjut berapa besar gaya impact yang terjadi saat *mudflow* menghantam suatu bangunan penghalang. Posisi dan banyaknya bangunan penahan dibuat sedemikian rupa jika memang benar bahwa pada lokasi tersebut memang rentan terjadi *mudflow*.



Gambar 7. Layout pemasangan bangunan penahan (Hsu, 2014)

Penelitian Lanjutan

Penelitian lanjutan yang sedang dikerjakan meliputi penelitian tentang kejadian pembentukan gunung api baru (*mudvolcano*) (Widjaja and Dewanto, 2017; Naikofi *et al.*, 2017), perilaku dan pemodelan pemancangan tiang menggunakan pendekatan reologi (Widjaja and Utomo, 2017), dan usulan klasifikasi tanah untuk likuifaksi menggunakan pendekatan reologi (Lee *et al.*, 2012) serta analisis *dam break*, misalnya pada tanggul Lumpur Sidoarjo (Widjaja and Fransisca 2016). Selain itu, pemodelan reologi selain Bingham model dikembangkan untuk diaplikasikan pada kasus longsor dan *mudflow*. Perilaku mikro tanah butir halus seperti lanau dan lempung misalnya penelitian tentang *specific surface area* juga menarik untuk diteliti (Widjaja and Inkiriwang, 2016).

Kesimpulan

Penelitian longsor dan *mudflow* di Indonesia hingga saat ini yang dilakukan penulis telah memberikan sekurang-kurangnya pemahaman awal tentang longsor dan *mudflow*. Jenis tanah, mekanisme pergerakan tanah, hingga usulan klasifikasi tanah baru diberikan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai perilaku longsor dan *mudflow* berdasarkan kasus-kasus kejadian pergerakan tanah di Indonesia.

Daftar Pustaka

Abbot, P.L. (2004), "Natural disasters", 4th ed., Mc-Graw Hill

Ferry, H. and Widjaja, B. (2015), "Managing and assessing landslide risk including the consequences" *Slope 2015*, Bali, Indonesia

- Galang, J.A.M., Sulapas, J.J., Escape, C.M., Montalbo, K.R., and Eco, R.N.. (2015), "Deep-seated rotational soil slump induced by Typhoon Goni in Sitio Buagi, Bakun, Benguet", <https://blog.noah.dost.gov.ph/2016/04/15/august-2015-bakun-landslide/>
- Hsu, H.M. (2014), "Slope land Disaster Countermeasures for Taiwan Countermeasures for Taiwan Slope Land Disaster", Summer Training Course for Debris Flow and Landslide, Taiwan
- Kezdi, A. (1974), "Handbook of Soil Mechanics: Soil Physics", Vol 1, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Lee, S.H.H., Huang, J.H., Widjaja, B. and Chang, D.W. (2012), "The phase concept for liquefaction in both sandy and clayey soils" *Symposium in Honor of Prof. Jose M. Roesset*. NTUST, Taiwan
- Lee, S.H.H. and Widjaja, B. (2013), "Phase Concept for mudflow based on the influence of viscosity" *Soils and Foundations*. 53(1): 77-90
- Lee, S.H.H., Widjaja, B., Yao, J.H., and Yu, D. (2008), "A Proposed Method Determining Liquid Limit based on Shear Strength" *PIT HATTI*: Bandung
- Naikofi, M.I.R., Widjaja, B. and Rahardjo, P.P. (2017), "Studi reologi mudvolcano di desa Napan Pulau Timor dengan Flow Box Test" *1st National Conference on Civil Engineering*, ITK, Balikpapan
- O'Brien, J.S. (2003), "Reasonable Assumptions in Routing a Dam Break Mudflow" *3rd Conference on Mud and Debris Flows on Proceeding of Debris Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*, Rickenmann and Chen (eds.)
- Sunandar, C. and Widjaja, B. (2016), "Penentuan parameter reologi lumpur Sidoarjo dengan Fall Cone Penetrometer, mini vane shear dan flow box test" *Seminar Nasional Sains dan Teknologi II*, Universitas Tarumanegara
- Widjaja, B. and Dewanto, I.R. (2017), "Simulasi mud volcano di Desa Napan Nusa Tenggara Timur menggunakan Program Flo2D dan RAMMS" *Seminar Nasional Teknik Sipil VII*, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Widjaja, B. and Utomo, K.S. (2017), "Initial driving pile mechanism for pile tip using Bingham model in clayey soil" *Pile 2017*, Bali
- Widjaja, B. and Anthony (2016), "Model Bingham dan Herschel-Bulkley Untuk Viskositas Lumpur Sidoarjo Menggunakan Flow Box Test" *Seminar Nasional Geoteknik 2016*, Hatti Yogyakarta, Yogyakarta
- Widjaja, B. and Fransisca (2016), "Affected are due to dam failure: Case study Sidoarjo Mud-Point P21" *Soft soils*, Bandung
- Widjaja, B. and Inkiriwang, C.B. (2016). "Empirical Correlations among Liquid Limit, Clay Fraction, and Specific Surface Area for Kaolin and Calcium Bentonite Compounded Samples" *International Conference on Advances in Civil and Structural Engineering*, Kuala Lumpur
- Widjaja, B. and Sundayo, P. (2016), "Alternatif penentuan batas cair dan batas plastis dengan tiga variasi berat konus menggunakan metode Lee dan Freeman (2009)" *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atmajaya*, Yogyakarta, Vol. 14, No 1, pp. 62-67
- Widjaja, B. and Setiawan, A.B. (2016), "Back Analysis of Parungponteng Landslide using Rheological Approach" *Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 24, No. 11, pp.14350-14353
- Widjaja, B. and Tanoto, E. (2016), "Penentuan saturation limit sebagai batas kejenuhan tanah terhadap infiltrasi air pada lanau berplastiditas tinggi" *Seminar Nasional Teknik Sipil*, UMS; 05/2016
- Widjaja, B. Andriani, D., Sutisna, R.A., and Fitri, A.D.. (2015), "Alternative way for determination of yields stress as rheology parameter for mudflow" *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 4-7
- Widjaja, B. and Pratama, I.T. (2015), "Determination of the viscosity value based on the influence of the sliding plane by using a flume channel" *International Journal of Technology*, Vol. 6, No. 5, pp. :800-808

Widjaja, B. and Lee, S.H.H. (2013), "Flow Box Test for Viscosity of Soil in Plastic and Viscous Liquid" *Soils and Foundations*, Vol. 53, No. 1, pp. 35-46

Widjaja, B. (2010^a), "Case study of mudflow using Flo2d" *Incorporating Sustainable Practice in Mechanics and Structures of Materials*, Vol. 11, pp. 533-537

Widjaja, B. (2010^b), "Physical laboratory model of Flume Channel for Simulating of Movement and Deposition of Mudflow" *International Conf. on Geoinformation Technology for Natural Disaster Management*, Chiang Mai, Thailand