

UJI LABORATORIUM PENGARUH KEMIRINGAN LERENG TERHADAP KEJADIAN LONGSORAN ALIRAN DEBRIS PASIR MERAPI

LABORATORY TEST OF SLOPE EFFECT TOWARD LANDSLIDE EVENT ON MERAPI SAND DEBRIS FLOW

Bayu Seto Waseso Utomo¹⁾* Jati Iswardoyo²⁾ Ruzardi³⁾

^{1,3)}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

²⁾Balai Litbang Sabo, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponden author: 14511110@students.uui.ac.id

Diterima: 29 Mei 2019; Direvisi: 16 Oktober 2019; Disetujui: 9 Januari 2020

ABSTRACT

The debris flow that happen on the of Mount Merapi is really hard to be seen, therefore, it is necessary to conduct laboratory-scale simulations to know when debris flows will happen as regard to rainfall intensity and the slope of Mount of Merapi. This research examines the correlation between the slope and the potential for debris flow at 25 mm/h rainfall intensity. This will be a reference for early warning of landslides on Mount of Merapi. This research uses a tool such as flume that sized 3 x 5 x 0,15 m as a model of slope of Mount of Merapi, and artificial rainfall apparatus as the rain simulator. The simulation is conducted using five years rainfall intensity of 25 mm/h in combination of slope i.e. 15, 20, 25, 30 and 35 degrees whereas the material used to represent the sediment is in form of sand taken from Gendol River upstream with 4,75 mm passing mesh sieves. The result of this simulation is the steeper the slope is, the faster the duration for the rain to cause debris flow. This research can be continued with change variation of rainfall intensity to understand the debris flows behavior.

Keywords: Debris flow, Mount of Merapi, laboratory test, rainfall intensity, flume model

ABSTRAK

Kejadian aliran debris yang terjadi di puncak Gunung Merapi sangat sulit diamati, maka perlu dilakukan simulasi skala laboratorium untuk mengetahui kapan terjadinya aliran debris akibat intensitas hujan dan kemiringan lereng Gunung Merapi. Penelitian ini mengkaji korelasi antara kemiringan lereng dan potensi terjadinya aliran debris pada intensitas hujan 25 mm/jam. Hal ini akan bermanfaat sebagai acuan peringatan dini bencana longsor di Gunung Merapi. Penelitian menggunakan alat berupa flume berukuran panjang, lebar, dan tinggi (3 x 1,5 x 0,15 m) sebagai model kemiringan lereng yang ada di lereng Gunung Merapi, dan artificial rainfall apparatus sebagai simulator hujan. Simulasi dilakukan menggunakan intensitas hujan kala ulang 5 tahun yaitu 25 mm/jam dengan variasi kemiringan lereng 15, 20, 25, 30, dan 35 derajat dimana bahan sedimen yang digunakan berupa pasir yang berasal dari hulu Sungai Gendol dengan ukuran lolos saringan 4,75 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan lereng, semakin cepat hujan menyebabkan terjadinya aliran debris. Penelitian dapat dilanjutkan dengan mengubah variasi intensitas hujan untuk lebih mengetahui perilaku aliran debris.

Kata Kunci : Aliran debris, Sedimen pasir merapi, uji laboratorium, intensitas hujan, flume

PENDAHULUAN

Ancaman primer dari Gunung Merapi adalah berupa letusan disertai aliran lava, batuan, tanah dan gas (*pyroclastic flow*) yang keluar dari kawah. Apabila endapan piroklastik ini terpapar hujan dengan tingkat intensitas yang cukup tinggi dan durasi waktu hujan yang cukup lama maka akan menyebabkan endapan material vulkanik di punggung gunung ini, bergerak terbawa oleh air menuju sungai-sungai sampai ke hilir dan mengendap sebagai aliran sedimen luruh (*debris flow*). Kedua aliran ini, baik *Pyroclastic* dan *debris*

flow ini berpotensi menimbulkan korban jiwa dan kerugian harta benda. Mengingat terjadi aliran debris yang terjadi di puncak Gunung Merapi sangat sulit diamati, maka perlu dilakukan simulasi skala laboratorium untuk mengetahui kapan terjadinya aliran debris akibat intensitas hujan dan kemiringan lereng dengan menggunakan pasir Gunung Merapi.

Penelitian yang serupa tentang simulasi aliran debris telah dilakukan oleh Zhou dkk. (2009), Iverson (2001) dan Takahashi (1997). Dalam Zhou dkk. (2009) tentang Studi Awal Mekanisme Aliran Debris telah diteliti terhadap pengaruh kadar air,

massa total debris, dan ukuran butiran pada sudut luncur *flume* 45°. Reologi Aliran Debris (*flume experiment*) dikaji oleh Richard M. Iverson (2001). Penelitian dilakukan untuk mengamati tegangan yang terjadi pada aliran debris. Sedangkan Takahasi (1997) mengukur proses pergerakan dan pengendapan sedimen. Penelitian menggunakan *flume* dengan ukuran panjang 10 m, lebar 40 cm, dan kedalaman 40 cm dengan dinding kaca transparan. Dari beberapa penelitian sebelumnya ini dapat menunjukkan bahwa simulasi aliran debris dapat dilakukan di laboratorium dengan menggunakan *flume*.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji korelasi antara kemiringan lereng dan potensi terjadinya aliran debris pada intensitas hujan 25 mm/jam berbasis uji model laboratorium. Hal ini akan bermanfaat sebagai acuan peringatan dini bencana longsor di Gunung Merapi.

METODE PENELITIAN

Tinjauan Umum

Penelitian yang dilakukan adalah sebuah simulasi laboratorium yang akan menggambarkan terjadinya aliran debris pada sedimen pasir Gunung Merapi. Obyek penelitian menggunakan pasir di hulu sungai Gendol, Merapi. Ukuran sedimen yang digunakan adalah seragam yaitu sebesar 0,38 mm. *Flume* digunakan sebagai permodelan alur aliran dengan variasi kemiringan. *Artificial Rainfall Aparatus* digunakan sebagai simulator hujan. Hujan yang digunakan pada intensitas hujan 25 mm/jam lereng pada Gunung Merapi. Berdasarkan tabel parameter hujan, intensitas hujan sebesar 25 mm/jam masuk kedalam jenis hujan yang sangat lebat. Intensitas hujan 25 mm/jam berarti dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi 25 mm pada durasi waktu 1 jam.

Tabel 1 Parameter Hujan dan Intensitas Hujan

Parameter Hujan	Intensitas Hujan (mm)	
	1 jam	24 jam
Hujan sangat ringan	<1	<5
Hujan ringan	1-5	5-20
Hujan normal	5-10	20-50
Hujan lebat	10-20	50-100
Hujan sangat lebat	>20	>100

Sumber: Sosrodarsono., 1985

Sebenarnya, hujan buatan yang diberikan di laboratorium tidak sama persis dengan kehidupan nyata. Skenario hujan di laboratorium cenderung tidak ada pengaruh angin dan memiliki intensitas yang stabil. Sudarsono (1985) menjelaskan bahwa

curah hujan tidak bertambah sebanding dengan waktu. Jika durasi waktu lebih lama, penambahan curah hujan adalah lebih kecil dibandingkan dengan penambahan waktu, karena hujan tersebut bisa berkurang atau berhenti. Tabel 1 adalah keadaan hujan dan intensitas hujan (Sosrodarsono, 1985).

Penelitian ini mengkaji korelasi antara variasi kemiringan lereng dan potensi terjadinya aliran debris. Simulasi mengkombinasikan antara intensitas hujan, waktu hujan, dan kemiringan lereng terhadap terjadinya aliran debris pada sedimen pasir Gunung Merapi. Dalam simulasi tidak diperhitungkan pengaruh tumbuhan yang ada di sekitar lereng Gunung Merapi.

Penelitian menggunakan dua data yaitu data primer dan sekunder. Data primer berupa data kemiringan lereng yang diolah dari data rupa bumi Lereng Gunung Merapi. Data primer lain adalah data jenis tanah menggunakan uji lolos saringan. Tanah diambil dari Sungai Gendol di Gunung Merapi. Data sekunder yang digunakan adalah data hujan kala ulang 2 tahun dengan nilai intensitas hujan 25 mm/jam (Iswardoyo, 2012). Simulasi tidak memperhitungkan waktu pengendapan sedimentasi. Penelitian hanya mengamati tanda awal terjadinya aliran debris sebagai *early warning system* kelongsoran.

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Pengaruh kemiringan terhadap kelongsoran dianalisis dengan statistik, selanjutnya di plot pada grafik untuk menunjukkan korelasinya. Analisis kontur dilakukan untuk menggambarkan dampak kelongsoran dan dibahas dengan teori terkait.

Tahapan Simulasi

Simulasi pengaruh intensitas hujan dan kemiringan lereng terhadap terjadinya aliran debris ini memiliki tiga tahapan yaitu persiapan simulasi, pelaksanaan simulasi dan pengolahan data simulasi. Pada tahap persiapan setelah perizinan penggunaan laboratorium telah selesai, maka dilakukan beberapa hal sebagai berikut :

(1) Pembuatan *flume*

Pembuatan *flume* dengan menggunakan papan dengan dimensi panjang, lebar dan tinggi berturut-turut yaitu 3 x 1,5 x 0,15 meter. Kayu yang digunakan adalah kayu kalimantan yang tergolong kayu kuat agar mampu menahan beban pasir diatasnya. Penyangga kemiringan didesain dengan menggunakan pipa galvanis dengan ukuran diameter sebesar tiga inchi dengan pelat baja siku. Pelat baja siku ditempelkan pada pipa galvanis dengan las, dan jarak tiap penyangga pelat siku sudah ditentukan melalui perhitungan untuk

membuat berbagai variasi sudut kemiringan 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, dan 60 derajat.

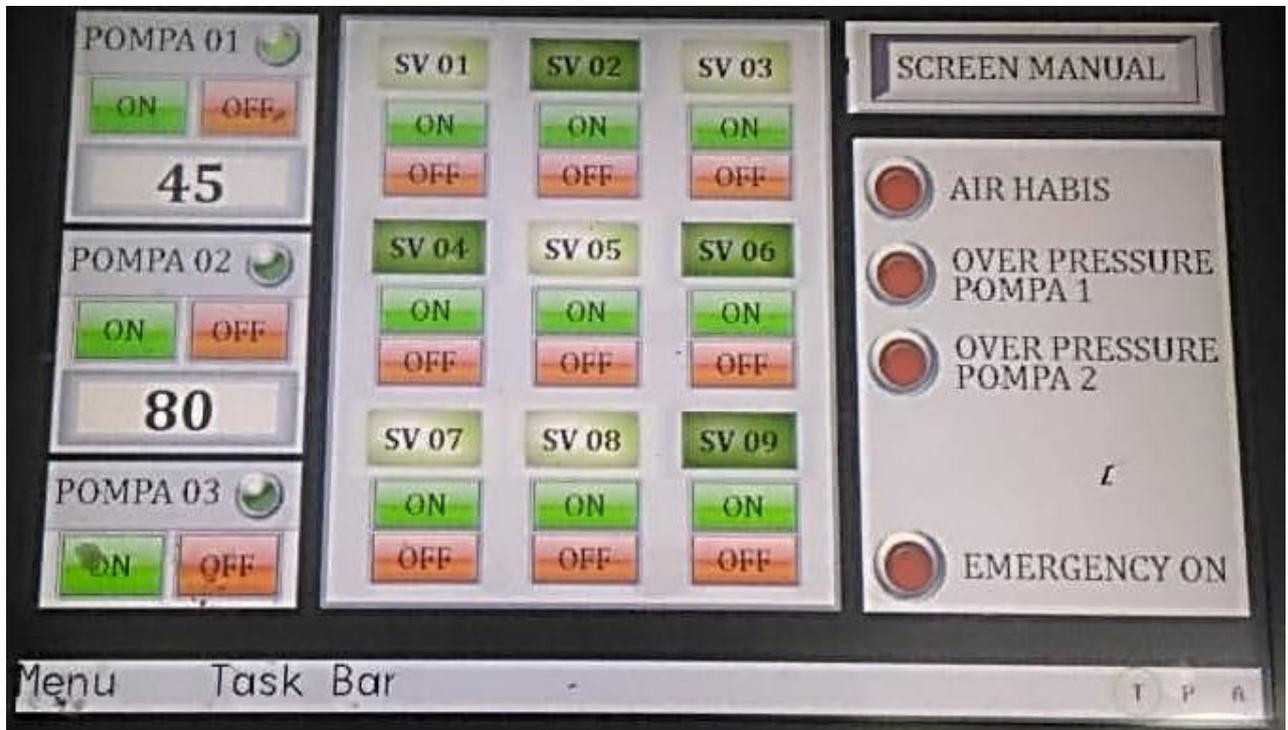
(2) Kalibrasi alat curah hujan buatan.

Untuk mendapatkan intensitas hujan yang dikehendaki, dilakukan dengan mengkalibrasi alat curah hujan buatan (*Artificial Rainfall Aparatus*) dengan menggunakan sensor hujan dan penakar hujan manual. *Artificial rainfall apparatus* merupakan alat simulator hujan yang dapat menghasilkan intensitas hujan dengan pengaturan secara komputerisasi. Alat tersebut menggunakan dua buah pompa dengan sembilan katup atau *sprayer* sebagai pemancar hujan. Pada kondisi tekanan pompa 80% dengan semua katup dibuka dapat menghasilkan hujan dengan intensitas 198 mm/jam. Alat tersebut memiliki batas minimum intensitas hujan yaitu 20 mm/jam. Pengaturan bukaan katup dan tekanan pompa dilakukan dengan menggunakan layar sentuh yang berada pada *main board*. Panel alat ini dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan alat curah hujan buatan

tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Kalibrasi alat dilakukan dengan cara mengatur tekanan pompa dengan komputer dan membuka katup pipa untuk mengatur tingkat deras tidaknya hujan, setelah itu dilakukan pengukuran intensitas hujan dengan menggunakan *rainfall gauge* manual dan sensor hujan otomatis. Adapun hasil kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Kalibrasi Artificial Rainfall Apparatus

Prosentase Bukaan Pompa (%)	Katup yang Dibuka (SV)	Intensitas (mm/jam)
45	1, 3, 5, 7, 8	25
53	1, 3, 5, 7, 8	35
45	1, 3, 6, 7, 8	55
55	1, 3, 4, 5, 7, 8	65
65	1, 3, 4, 5, 7, 8	75

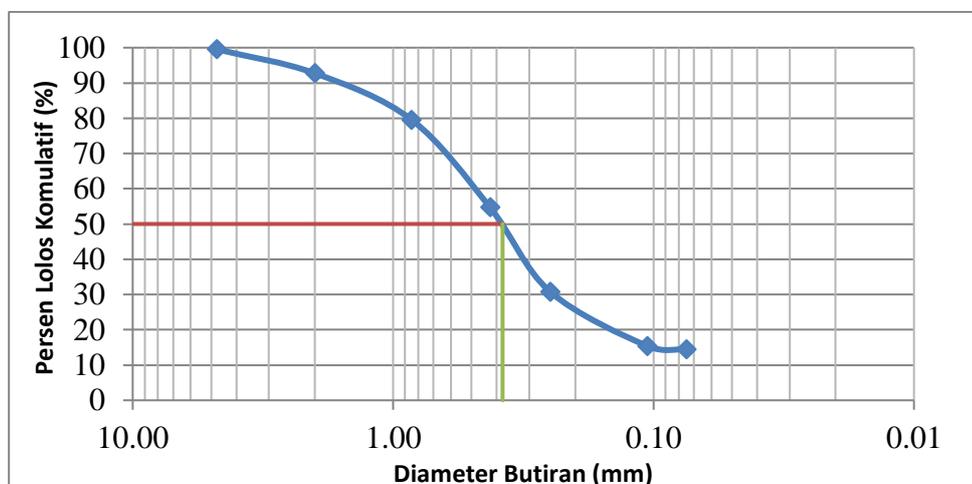


Gambar 1 Panel Instrumen Artificial Rainfall Aparatus System

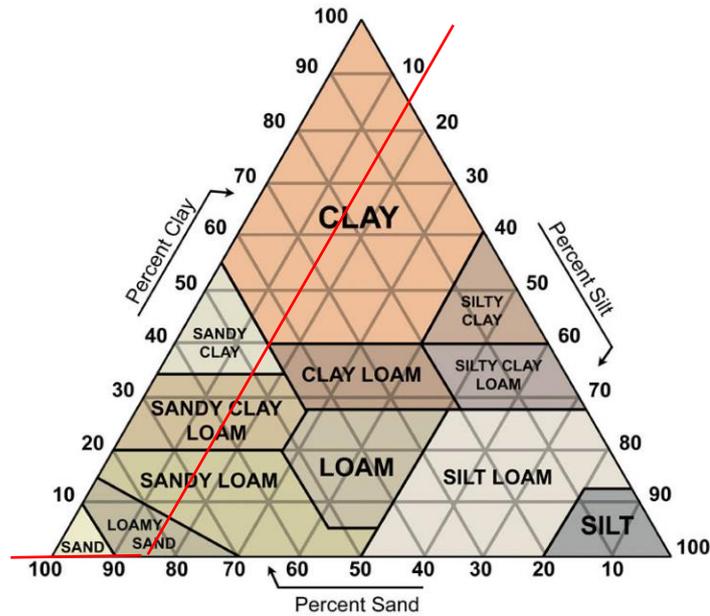
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 2 Artificial Rainfall Aparatus System
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 3 Grafik Grain Size Analysis Rata-Rata



Gambar 4 Klasifikasi Berdasarkan USDA

(3) Penyiapan Bahan Pasir

Pasir merapi yang digunakan sebagai sampel simulasi diperoleh dari hulu Sungai Gendol. Pada setiap simulasi menggunakan pasir dengan volume sekitar 0,675 meter kubik, sesuai dengan kapasitas *flume*, dan setiap kali simulasi menggunakan pasir baru. Sebelum dilakukan simulasi, pasir diuji dengan pengujian analisis saringan. Data hasil pengujian analisis saringan disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan tersebut, pasir yang digunakan merupakan pasir dengan ukuran material D_{50} sebesar 0,38 mm dan menurut klasifikasi USDA termasuk pasir berlempung seperti tertera pada Gambar 4 termasuk pasir murni karena 79,56% fraksi lolos saringan no.20 dan lolos saringan no.200 kurang dari 0%.

Pada tahap pelaksanaan simulasi hujan buatan yang berasal dari alat curah hujan buatan akan diaktifkan dan akan membasahi seluruh permukaan pasir. Simulasi dibatasi waktu selama 150 menit, namun ketika terjadi longsor dalam waktu kurang dari 150 menit, maka simulasi akan diakhiri pada waktu tersebut. Karena bila teruskan, longsor yang terjadi akan merusak bak penampungan yang ada di bawah *flume*.

Parameter yang diamati adalah waktu terjadinya pergerakan sedimen dan proses pergerakan sedimen yang diamati dengan menggunakan kamera. Jika pada satu kali penelitian gagal maka pasir harus dibuang dan diganti dengan pasir yang baru untuk dilakukan simulasi ulang.

Skenario kemiringan yang akan diuji adalah kemiringan 15, 20, 25, 30, dan 35 derajat. Idealnya kemiringan ini disesuaikan kemiringan di lapangan, tetapi berhubung keterbatasan dalam pelaksanaan, yaitu longornya pasir sebelum dilakukan penghujan, maka skenario hanya dibatasi sampai kemiringan tersebut. Hal ini sesuai dengan sudut geser dalam pasir sebesar 35 derajat. Setelah kemiringan sudah sesuai dengan yang direncanakan, lalu pasir dimasukkan kedalam *flume* setebal 15 cm. Pasir yang sudah digunakan pada satu kali simulasi tidak bisa digunakan untuk simulasi berikutnya, untuk menjaga homogenitas gradasi butiran di setiap simulasinya. Pasir diratakan pada bagian permukaannya sehingga membentuk kontur yang sama pada seluruh permukaan. Pasir yang telah siap dapat dilihat pada Gambar 5. Karena keterbatasan penggunaan *flume* yang hanya memiliki panjang tiga meter, maka simulasi hanya dilakukan sampai dengan terjadinya longsor saja.



Gambar 5 Kondisi Sebelum Dilakukan Simulasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk mencari durasi waktu terkonsentrasinya hujan pada setiap variabel kemiringan yang memicu terjadinya aliran debris. Aliran debris adalah suatu pergerakan massa berupa campuran material yang terjadi akibat curah hujan yang tinggi dan berdurasi panjang dan dipengaruhi oleh gaya gravitasi suatu daerah. Aliran debris atau *debris flow* dapat terjadi terutama di wilayah yang memiliki topografi bergunung dan curah hujan tinggi. Kemiringan lahan yang curam memiliki peranan penting dalam proses pembentukan aliran debris. Massa sedimen yang bergerak menuju alur sungai dan menerima tambahan pasokan air dapat berkembang membentuk aliran debris. Aliran debris dapat terwujud jika tersedia tiga komponen utama pembentuk aliran debris yakni air dalam jumlah yang memadai sebagai media pengaliran, sediaan material debris yang melimpah dan gaya gravitasi. Tanpa keberadaan salah satu komponen tersebut aliran debris tidak terwujud. Jadi meskipun terdapat bahan sediaan sedimen debris yang berlimpah dan curah hujan tinggi, jika kemiringan dasar tidak memadai maka aliran debris tidak dapat terjadi. Tipikal kejadian aliran debris sangat khusus, terjadi setelah atau saat hujan lebat. Aliran debris memiliki suatu berat satuan (*specific gravity*) yang tinggi sehingga batuan berukuran besar dapat terbawa mengapung dalam aliran debris. Aliran debris yang terjadi di wilayah gunung api telah dikenal dengan sebutan banjir lahar. Selain dipengaruhi oleh curah hujan tinggi, lahar juga dapat terjadi akibat pengaruh luapan air danau kawah (*creater lake*). Lahar yang erat kaitannya dengan keberadaan gunungapi sering disebut sebagai *volcanic mud flow* yang dapat bersifat *turbulent-muddy flow* atau

dapat juga bersifat *hyper-concentrate flood flow* (Takahashi, 2007).

Proses analisis yang pertama setelah simulasi selesai adalah mengukur kontur. Analisis kontur akan di bahas mengenai bentuk morfologi permukaan sedimen sebelum dan sesudah simulasi dan pola retakan. Pengukuran dilakukan dengan membentangkan benang nilon yang telah dibuat sebelumnya, lalu mengukur permukaan pasir setelah simulasi. Pengukuran kontur dilakukan pada setiap selesai simulasi guna mengetahui bentuk longoran.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kontur untuk setiap simulasi guna mengetahui bentuk permukaan pasir setelah longsor akibat hujan. Data kontur yang diambil berupa data koordinat titik titik permukaan sedimentasi. Satuan yang digunakan pada sumbu x, y dan data ketinggian adalah centimeter (cm). Pengukuran dilakukan untuk mengetahui perbedaan permukaan sedimen sebelum dan setelah penelitian. Pengukuran dilakukan dengan membentangkan benang searah sumbu x dan searah sumbu y, dengan interval tiap bentang sebesar 10 cm.

Selanjutnya dilakukan visualisasi berupa gambar kontur, 2D, dan 3D dengan menggunakan *software* SURFER. SURFER adalah salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk pembuatan peta kontur dan pemodelan tiga dimensi yang berdasarkan pada *grid*. Surfer melakukan *plotting* data tabular xyz tak beraturan menjadi lembar titik-titik segi empat (*grid*) yang beraturan. *Grid* adalah serangkaian garis vertikal dan *horizontal* yang dalam *surfer* berbentuk segi empat dan digunakan sebagai dasar pembentuk kontur dan *surface* tiga dimensi. Garis vertikal dan *horizontal* memiliki titik-titik perpotongan. Pada titik

perpotongan disimpan nilai z yang berupa titik ketinggian atau kedalaman. *Gridding* merupakan proses pembentukan rangkaian nilai z yang teratur dari sebuah data xyz . Hasil dari proses *gridding* adalah *file grid* yang tersimpan pada *file .grid* (Saleh, 2011).

Kondisi sedimen setelah dilakukan pengujian seperti dalam Gambar 6. Hasil analisis kontur disajikan dalam Gambar 7. Gambar 8 menunjukkan tampak tiga dimensi dari permukaan sedimen setelah simulasi pada Kemiringan 35° . Sedangkan Gambar 9 menunjukkan Gambar Tampak Dua Dimensi Permukaan Sedimen setelah Simulasi Pada Kemiringan 35° . Dari Gambar 9 menunjukkan bahwa tanah mengalami likuifaksi dan mengalami penebalan pada ujungnya. Terjadinya likuifaksi dan penebalan pada ujung sedimen ini sesuai dengan penelitian Takahashi (1997).

Dalam Takahashi (1997) tersebut mengukur proses pergerakan dan pengendapan sedimen. Penelitian tersebut menggunakan *flume* dengan ukuran panjang 10 m, lebar 40 cm, dan kedalaman 40 cm dengan dinding kaca transparan. Sedimen yang digunakan sebanyak 25 liter yang diletakan pada *hopper* yang berada pada hulu. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan hasil perubahan distribusi kecepatan, kedalaman aliran, dan ketebalan endapan berdasarkan pengujian. Lapisan endapan secara bertahap menebal sedangkan kecepatan aliran melambat dengan menurunnya kedalaman aliran tanpa mengalami penggumpalan di dekat permukaan aliran.

Dari percobaan yang dilakukan mendapatkan hasil bahwa pada kemiringan 25° , 30° , dan 35° terjadi perubahan yang sangat signifikan dikarenakan terjadi longsor selama rentang waktu penelitian. Sedangkan pada kemiringan 15° dan 20° meskipun tidak terjadi longsor, namun terjadi perubahan kontur permukaan dikarenakan adanya infiltrasi yang menyebabkan tanah mengalami penjuhan dan mengalami penurunan ketinggian walaupun tidak sampai bergeser. Selama proses penelitian, terjadi fenomena yang sama dari keseluruhan simulasi, yaitu dimana proses longsor diawali dengan meresapnya air ke dalam permukaan tanah, lalu air mengalir menuju tempat yang rendah, lalu naik lagi ke permukaan sedimen dibagian hilir *flume* dan menyebabkan sedimen bagian hilir mengalami peningkatan kadar air yang sangat signifikan dan akhirnya terjadi retakan dan longsor. Fenomena longsor yang diawali dengan proses penjuhan ini dinamakan likuifaksi.

Likuifaksi bisa terjadi karena gempa (getaran) yang bekerja pada tanah yang jenuh atau masuknya air hujan ke dalam tanah yang lepas

(*loose*). Dengan jenuhnya pasir, maka sudut lereng akan menjadi sangat kecil, karena air akan memenuhi ruang kosong dan menghilangkan kontak friksi antar butir dan menimbulkan *likuifaksi*. Tekanan air pori dapat menjadi semakin besar menyamai berat material sehingga dapat mengangkat massa bebatuan dan menyebabkan lereng menjadi luruh dan material akan dapat mengalir seperti cairan.

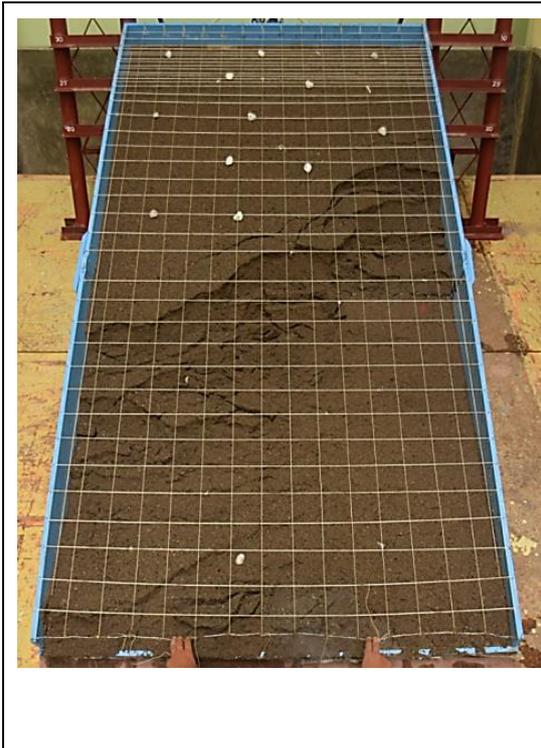
Mekanisme likuifaksi yang terjadi dalam percobaan ini sama dengan yang dibahas Sassa, 1985 dalam Kusumosubroto (2012) dalam bentuk Gambar 10. Dijelaskan dalam Gambar 10. bahwa pada awalnya sedimen yang lepas, mengalami pembebanan, berupa aliran air. Selanjutnya pada kondisi (b) aliran terus datang sampai menjenuhkan tanah lepas tadi. Pada kondisi (c) ikatan antara material menjadi semakin lepas dan aliran yang berada di rongga antar butiran juga semakin meningkat. Pada proses (c) dan dilanjutkan dengan (d) sedimen yang mengalir akan meningkat, membentuk aliran debris. Likuifaksi umumnya terjadi akibat longsor dan tanah sangat lepas dan tidak stabil.

1) Pola Hubungan Antara Intensitas Hujan dan Kemiringan Lereng

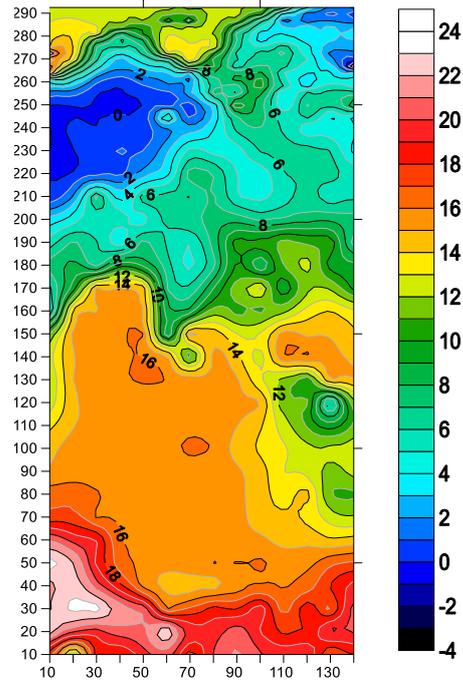
Gonda dkk. (2019) mengatakan bahwa setelah letusan gunung api, kondisi material *pyroclastic* yang menyelimuti permukaan tanah, akan sangat mudah menjadi lahar walaupun hanya dipengaruhi air hujan yang kecil, dan hal ini dapat berlangsung dalam beberapa tahun. Untuk mitigasi bahaya melawan bencana banjir lahar setelah erupsi, maka sangat penting untuk mengevaluasi risiko kejadian dan mengestimasi perubahan dimasa yang akan datang.

Lahar termasuk dalam kategori aliran debris. Kejadian lahar sangat dipengaruhi oleh keberadaan material debris, kemiringan dan intensitas hujan yang membawa material tersebut.

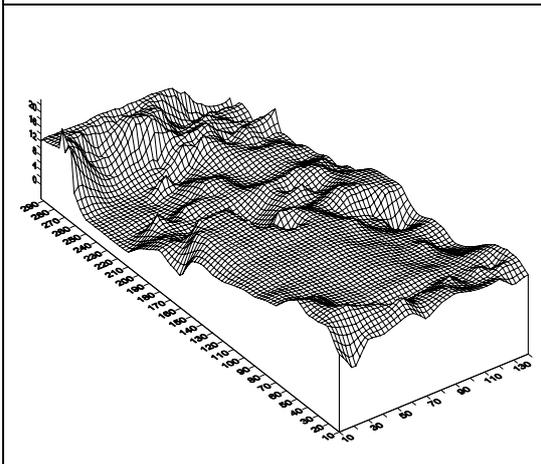
Gerakan massa aliran debris adalah gerakan air bercampur massa sedimen debris dengan konsentrasi yang sangat tinggi di hulu sungai dengan arus deras di daerah lereng-lereng pegunungan atau gunung berapi. Gerakan massa aliran debris tersebut biasanya terjadi di dalam alur sungai arus deras (*torrent*) yang kemiringannya lebih besar dari 15° . Bahan utama sedimen debris biasanya terdiri pasir atau lumpur bercampur kerikil dan batu-batu dari berbagai proporsi dan ukuran. (Kusumosubroto., 2012). Pada simulasi ini digunakan kemiringan minimal 15° dan selanjutnya 20° , 25° , 30° , dan 35° (sudut geser dalam pasir). Diharapkan akan dihasilkan pola hubungan antara intensitas curah hujan dan kemiringan.



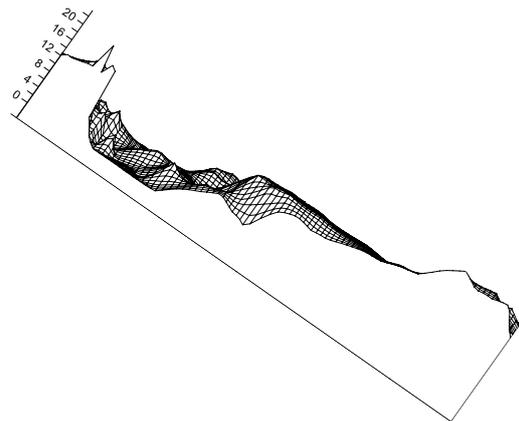
Gambar 6 Kondisi Sedimen Pada Kemiringan 35° Setelah Running



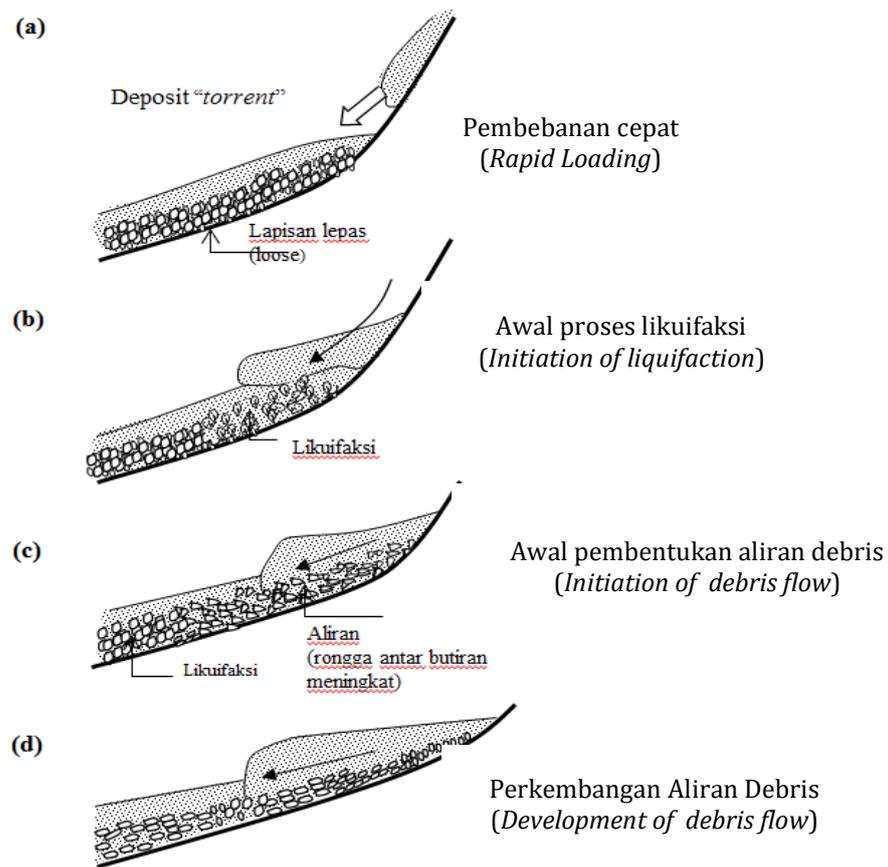
Gambar 7 Kontur Permukaan Sedimen Setelah Simulasi Pada Kemiringan 35°



Gambar 8 Tampak tiga Dimensi Permukaan Sedimen Setelah Simulasi Pada Kemiringan 35°



Gambar 9 Tampak Dua Dimensi Permukaan Sedimen Setelah Simulasi Pada Kemiringan 35°



Gambar 10 Mekanisme Terbentuknya Aliran Debris oleh Proses Likuifaksi Deposit Sedimen di Alur Curam

Sumber: Sassa, 1985 dalam Kusumosubroto (2012)

Penelitian tentang dampak kemiringan sebagai pemicu kelongsoran telah banyak dilakukan, termasuk pemanfaatannya pemetaan daerah longsor, telah dilakukan oleh Soma dkk., 2019. Soma dkk. menggunakan parameter kemiringan tanah untuk memperkirakan potensi kelongsoran dengan membandingkan perubahan tataguna lahan dan kerentanan tanah longsor menggunakan frekuensi rasio, faktor kepastian, dan regresi logistik dengan menggunakan data penelitian di daerah hulu DAS Ujung-loe di Provinsi Sulawesi Selatan Indonesia. Dalam penelitian ini menggunakan lima kelas kemiringan yaitu dibawah 20° , 20° - 30° , 30° - 40° , 40° - 50° dan diatas 50° . Variasi kemiringan dianalisis dengan faktor kepastian yang berbeda tiap kelas kemiringan secara berurutan yaitu 1, 0,810; 0,752; 0,325 dan 0,006. Angka ini menunjukkan bahwa semakin besar angka faktor kepastian maka semakin rendah kemungkinan terjadi kelongsoran. (Soma dkk., 2019).

Menurut Legono dkk. (2011) dikatakan bahwa aliran lahar sering juga disebut aliran

debris merupakan aliran campuran massa air dan sedimen yang tercampur menjadi satu yang membentuk sifat fluida tertentu. Aliran debris diawali dengan adanya longsor lalu diikuti dengan terjadinya pergerakan massa sedimen seiring dengan makin lamanya konsentrasi hujan, karena longsor menjadi *early warning* terjadinya aliran debris. Kajian tentang *early warning system* atau sistem peringatan dini terjadinya banjir lahar dengan mengkaitkan curah hujan telah dilakukan. Ahmad (2006) mengkonfirmasi bahwa intensitas hujan yang menimbulkan banjir lahar adalah rata - rata diatas 60 mm/jam. Sehingga peringatan dini sebaiknya diberikan apabila intensitas hujan mencapai level antara 50 - 55 mm/jam. Analisis korelasi digunakan untuk mempelajari hubungan antara dua variabel atau lebih, dengan maksud bahwa dari hubungan tersebut dapat diperkirakan besarnya dampak yang terjadi dari perubahan suatu kejadian terhadap kejadian lainnya secara kuantitatif. Menurut Supangat (2007), yang dimaksud koefisien korelasi adalah tingkat

hubungan antar dua variabel atau lebih. Hubungan antara variabel dependen y dengan variabel bebas x, yang terbentuk dari model $y = f(x)$, dikatakan “pasti” jika setiap nilai variabel bebas (x) terdapat satu nilai variabel bergantung y. Besaran yang menyatakan ada atau tidaknya hubungan (korelasi) diantara variabel-variabel yang bersangkutan dinyatakan dengan notasi (r). Nilai r tersebut dapat pula diartikan, sebagai tingkat kekuatan hubungan antara dua variabel atau lebih baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk mencari nilai r dapat digunakan rumus Pearson sebagai berikut.

$$r = \frac{n \cdot \sum XY - (\sum X \cdot \sum Y)}{\sqrt{\{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2\} \cdot \{n \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana korelasi dilambangkan dengan r dengan ketentuan nilai r tidak lebih dari harga (-1 ≤ r ≤ 1). Apabila nilai r = -1 artinya korelasi negatif sempurna; r = 0 artinya tidak ada korelasi; dan r = 1 artinya korelasinya sangat kuat. Interpretasi koefisien korelasi nilai r dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Interpretasi Koefisien Korelasi Nilai r

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,8 – 1	Sangat Kuat
0,6 – 0,799	Kuat
0,4 – 0,599	Cukup Kuat
0,2 – 0,399	Lemah
0 – 0,199	Sangat Lemah

Sumber: repository.usu.ac.id (Diakses 5 November 2018)

Koefisien determinasi digunakan untuk melihat seberapa besar variabel-variabel independen secara bersama mampu memberikan penjelasan mengenai variabel dependen yang nilai R berkisar antara 0 sampai 1 (0 ≤ R ≤ 1). Semakin besar nilai R, maka semakin besar variasi variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh variasi variabel – variabel independen. Sebaliknya jika R kecil, maka akan semakin kecil variasi variabel dependen yang dapat di jelaskan oleh variabel independen. Besaran yang digunakan untuk menyatakan tingkat kekuatan hubungan dalam bentuk persen (%). Besaran dinyatakan dalam R yang memiliki persamaan sebagai berikut.

$$R = r^2 \dots \dots \dots (2)$$

Persamaan garis regresi merupakan model hubungan antara dua variabel atau lebih, yaitu antara variabel bergantung (*dependent variable*), dengan variabel bebasnya (*independent variable*). Sedangkan yang dimaksud dengan garis regresi adalah suatu garis yang ditarik di antara titik-titik sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk menaksir besarnya variabel yang satu dengan variabel yang lain, dan dapat digunakan untuk mengetahui macam korelasinya (positif atau negatifnya). Model regresi linear sederhananya adalah $y = a + bx$.

Rumus penggunaan metode matriks dapat dilihat sebagai berikut:

$$\sum y = n \cdot a + b \sum x \dots \dots \dots (3)$$

$$\sum yx = a \sum x + b \sum x^2 \dots \dots \dots (4)$$

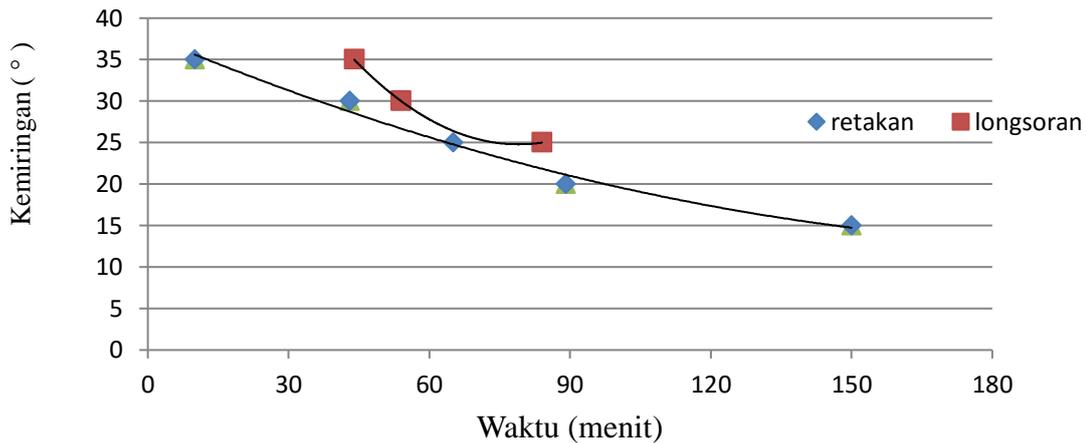
$$|A| = \begin{vmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{vmatrix} \dots \dots \dots (5)$$

$$a = \frac{\begin{vmatrix} \sum y & \sum x \\ \sum xy & \sum x^2 \end{vmatrix}}{|A|} \dots \dots \dots (6)$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum y \\ \sum x & \sum yx \end{vmatrix}}{|A|} \dots \dots \dots (7)$$

dimana: a adalah Konstanta; b adalah Angka arah atau koefisien regresi, yang menunjukkan angka peningkatan ataupun penurunan variabel dependen yang didasarkan pada variabel independen. Bila b (+) maka naik, dan bila (-) maka terjadi penurunan; x adalah subyek pada variabel Independen yang mempunyai nilai tertentu Secara teknis harga b merupakan tangen dari (perbandingan) antara; |A| adalah Koefisien model matrik

Dari simulasi yang dilakukan telah didapatkan hasil pola hubungan antara intensitas hujan dan kemiringan lereng. Pola tersebut dapat dilihat Gambar 11.



Gambar 11 Grafik Hubungan Antara Kemiringan Lereng terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 11 menunjukkan sebuah pola hubungan bahwa semakin besar nilai kemiringan maka semakin cepat pula waktu terjadinya aliran debris. Pada kemiringan 15° dalam rentang waktu penelitian 150 menit, hanya terjadi retakan yang sangat kecil, dan hampir tidak terlihat secara kasat mata. Lalu pada kemiringan 20° mulai terjadi retakan pada menit ke 89, namun tidak terjadi longsoran hingga menit ke 150. Pada kemiringan tersebut sudah mulai terlihat pertanda longsoran penyebab aliran debris berupa munculnya retakan dalam kurun waktu kurang dari 150 menit durasi hujan. Pada kemiringan 25°, 30°, dan 35° terjadi longsoran yang ditandai oleh munculnya retakan yang tertangkap kamera.

Pada kemiringan 25° terjadi retakan pada menit ke 65 disusul dengan longsoran pada menit ke 84, lalu pada kemiringan 30° terjadi retakan pada menit ke 43 disusul dengan longsoran pada menit ke 54, sedangkan pada kemiringan 35° terjadi retakan pada menit ke 30 dan disusul dengan longsoran pada menit ke 44. Untuk mencari hubungan antara pengaruh variasi kemiringan dengan kejadian longsor digunakan analisis korelasi dan regresi. Analisis menggunakan rumus (1) sampai rumus (7) maka didapatkan nilai $r = -0,9783$ dan $r^2 = 0,9570$.

Berdasarkan Tabel 2 nilai tersebut masuk kedalam korelasi yang sangat kuat antara X dan Y, dan merupakan jenis korelasi negatif. Karena $r^2 = 0,9570$ maka dapat dikatakan bahwa 95,7% nilai Y dapat dijelaskan oleh hubungan linearnya dengan nilai X. Sedangkan model regresi linear sederhana yang diperoleh adalah $y = 35,48 - 0,1468x$. Koefisien korelasi antara kemiringan dan waktu kejadian longsoran sebesar $-0,9608$. Berdasarkan Tabel 2 nilai tersebut masuk kedalam korelasi yang sangat kuat antara X dan Y, dan merupakan jenis korelasi negatif. Karena $r^2 = 0,9231$ maka dapat dikatakan bahwa 92,3% nilai Y dapat dijelaskan

oleh hubungan linearnya dengan nilai X. Sedangkan model regresi linear sederhana yang diperoleh adalah $y = 44 - 0,2308x$.

Intensitas hujan 25mm/jam dapat menimbulkan banjir, pemicu tanah longsor, dan efek negatif pada tanaman. Hujan itu sendiri merupakan gejala meteorologi dan juga unsur klimatologi. Hujan adalah *hydrometeor* yang jatuh berupa partikel-partikel air yang mempunyai diameter 0.5 mm atau lebih. *Hydrometeor* yang jatuh ke tanah disebut hujan, sedangkan yang tidak sampai tanah disebut virga (Tjasyono, 2004). Hujan yang sampai ke permukaan tanah dapat diukur dengan mengukur tinggi air hujan tersebut dengan berdasarkan volume air hujan per satuan luas. Hasil dari pengukuran tersebut dinamakan dengan curah hujan. Curah hujan merupakan salah satu unsur cuaca yang datanya diperoleh dengan cara mengukurnya dengan menggunakan alat penakar hujan, sehingga dapat diketahui jumlahnya dalam satuan milimeter (mm). Curah hujan 1 mm adalah jumlah air hujan yang jatuh di permukaan persatuan luas (m^2) dengan catatan tidak ada yang menguap, meresap atau mengalir. Jadi, curah hujan sebesar 1 mm setara dengan 1 liter/ m^2 (Aldrian dkk., 2011). Curah hujan dibatasi sebagai tinggi air hujan yang diterima di permukaan sebelum mengalami aliran permukaan, evaporasi, dan peresapan ke dalam tanah.

Hujan yang jatuh di permukaan bumi dinyatakan dalam kedalaman air (biasanya mm), yang dianggap terdistribusi secara merata pada seluruh daerah tangkapan air. Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam mm/jam, mm/hari, mm/minggu, mm/bulan, dan sebagainya yang berturut-turut sering disebut hujan jam-jaman, harian, mingguan, bulanan, tahunan, dan sebagainya.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian di laboratorium serta hasil analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa kelongsoran diawali dengan adanya keretakan tanah, selanjutnya proses *liquifaksi* dan dilanjutkan dengan kelongsoran itu sendiri. Kemiringan berpengaruh sangat kuat terhadap potensi kelongsoran pasir Gunung Merapi. Berdasarkan data hasil simulasi, didapatkan model regresi sederhana yang dapat digunakan untuk memprediksi kejadian aliran debris secara umum yaitu $y = 35,48 - 0,1468x$ dengan $r^2 = 0,957$ untuk kejadian retakan, dan $y = 44 - 0,2308x$ dengan $r^2 = 0,923$ untuk kejadian longSORAN. Penelitian dapat dilanjutkan dengan mengubah variasi intensitas hujan untuk mengetahui tingkat pengaruh intensitas hujan terhadap kejadian longSORAN aliran debris sedimen merapi dengan memastikan pasir dalam keadaan kering jenuh permukaan pada seluruh pengujian agar didapatkan keseragaman material pengujian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Ragil Andika Yuniawan selaku Kepala Laboratorium Sabo, Arif Rachmat Mulyana selaku Kasi Layanan Sabo dan Ir. Dwi Kristianto, M.Eng selaku Kepala Litbang Sabo yang telah berkenan memberikan izin penggunaan Laboratorium Lahar, Balai Litbang Sabo, Kementerian PUPR.

Tulisan ini adalah publikasi ilmiah dari Tugas Akhir a/n Bayu Seto Waseso Utomo, pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., Budiman, & Karmini, M. (2011). *Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia*. Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara Kedepkatan Bidang Klimatologi, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.
- Ahmad, A.C. (2006). *Pengkajian Sistem Prakiraan dan Peringatan Dini terjadinya Banjir Lahar Di Daerah Gunung Merapi (Studi Kasus Kali Boyong)*. Tesis. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Gonda, Y., Miyata, S., Fujita, M., Legono, D., & Tsunumi, D. (2019). Temporal Changes in Run Off Characteristics of Lahars After the 1984 Eruption of Mt.Merapi, Indonesia. *Journal of Disaster Research Vol.14 (1):61-67*.
(DOI: <https://doi.org/10.20965/jdr.2019.p0061>)
- <http://repository.usu.ac.id/> Diakses 5 November 2018
- <http://researchgate.com/dam-alam-merapi/>.
Diakses 23 November 2018
- Iswardoyo, J. (2012). *Kajian Pengelolaan Sedimen Sungai Gendol Pasca Erupsi Merapi*. Tesis. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Iverson, R.M. (2001). *The Debris-Flow Rheology Myth*. USGS. USA.
- Kusumosubroto, H. (2012). *Aliran Debris & Lahar*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Legono, D., Darmanto, Sujono, J., Jayadi, R., & Fathani, T.F. (2011). Dampak Aliran Lahar Terhadap Fenomena Gerusan di Sekitar Bangunan Sungai di Wilayah G.Merapi, *Prosiding Simposium Gunung Merapi, UGM, Yogyakarta*.
- Saleh, S. (2011). *Pengenalan Surfer*. <http://digilib.its.ac.id>. Diakses pada hari Minggu, 20 Januari 2019 pukul 01.20 WIB
- Soma, S.A., Kubota, T., & Aditian, A. (2019) Comparative Study of Land Use Change and Landslide Susceptibility Using Frequency Ratio, Certainty Factor, and Logistic Regression in Upper Area of Ujung-Loe Watersheds South Sulawesi Indonesia. *International Journal of Erosion Control Engineering Vol. 11, No. 4, 2019*.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/ijece/11/4/11_103/_pdf/-char/en.
(DOI : <https://doi.org/10.13101/ijece.11.103>)
- Sudarsono, S. (1985). *Hidrologi Untuk Pengairan Cetakan ke 5*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Supangat, A. (2007). *Statistika; Dalam Kajian Deskriptif, Inferensi, dan Nonparametrik*. Kencana Prenada Media Group. Jakarta.
- Takahashi, T. (2007). *Debris flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures*. Taylor & Francis Group. London,UK.
- Zhou, D.G., Law, R.P.H., & Ng, C.W.W. (2009) . *The Mechanism Of Debris Flow: A Preliminary Study*. Department of Civil an Enviromental Engineering. Hongkong University.