

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

Bayu Seto Waseso Utomo<sup>1</sup>, Ruzardi<sup>2</sup>, dan Jati Iswardoyo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: [14511110@students.uui.ac.id](mailto:14511110@students.uui.ac.id)

<sup>2</sup>Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: [885110102@staf.uui.ac.id](mailto:885110102@staf.uui.ac.id)

<sup>3</sup> Staf Balai Litbang Sabo, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Yogyakarta

Email: [masdjaty@yahoo.co.id](mailto:masdjaty@yahoo.co.id)

**Abstract** : The debris flow that happen on the of Mt. Merapi is really hard to be seen, there has to be a simple demonstration conducted in the laboratory to know when the debris flow happens because of the rainfall intensity and the slope using sand from Merapi's sediment. This research uses a tool such as flume that sized 3 x 5 x 0,15m as a model of slope of Mt. Merapi, and artificial rainfall apparatus as the rain simulator. The scenario that is used in this research is using the 5 years intensity of rainfall return period, which is 25 mm/h with variations of slope such as 15, 20, 25, 30 and 35 degrees and using sedimentation material from Gendol Rv. upstream with 4,75 mm passing mesh sieves. The result of this simulation is: the graphic shows that the steeper the slope is, the faster the duration for the rain to cause debris flow. From the graph, a simple regression model is obtained. it can be used for predicting debris flow event as value of crack occurrence  $y = 35,48 - 0,1468x$  and  $r^2 = 0,957$  and value of landslide  $y = 44 - 0,2308x$  with  $r^2 = 0,923$ . From this research, it can be seen that the critical degree for debris flow are 12,1 degrees and 18,9 degrees for hyper-concentration flow. Also, this research proves that the steeper the slope, the bigger the concentration value of debris flow. This finding is on the contrary to the formula that is stated by Takahashi that says the concentration of the flow cannot be more than  $0,9C_*$ . Meanwhile in the 35 degrees slope, according to the laboratory research, the result of flow concentration is 0,9 which means, this value is more than the provision that is stated by Takahashi.

**Keywords** : Debris Flow, Merapi sand Sediment, Simulation, Rainfall Intensity

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ancaman primer Gunung Merapi berupa letusan yang disertai hambatan piroklastik, aliran lava dan luncuran awan panas yang keluar dari kawah akan menimbulkan korban jiwa dan kerugian harta benda. Sedangkan ancaman sekunder adalah bahaya yang ditimbulkan oleh endapan material vulkanik di punggung Merapi dan dengan tingkat intensitas hujan yang cukup tinggi di Daerah Sleman dan durasi waktu hujan yang cukup lama maka akan menyebabkan endapan material vulkanik di punggung gunung bergerak terbawa oleh air

menuju sungai-sungai sampai ke hilir dan mengendap sebagai aliran sedimen luruh (*debris flow*). Pergerakan aliran *debris* bila tidak diantisipasi maka akan menimbulkan banjir lahar dingin yang dapat membahayakan kehidupan manusia yang ada di sekitarnya maupun fasilitas umum lainnya. Mengingat terjadi aliran debris yang terjadi di puncak Gunung Merapi sangat sulit diamati, maka perlu dilakukan peragaan sederhana di laboratorium untuk mengetahui kapan terjadinya aliran debris akibat intensitas hujan dan kemiringan lereng dengan menggunakan pasir dari sedimen merapi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari percobaan tersebut akan membuat suatu rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa batas kemiringan maksimum lereng yang dapat menyebabkan aliran debris ?
2. Berapa besar konsentrasi aliran yang terjadi akibat aliran debris?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan akhir yang akan dicapai adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan suatu hasil simulasi yang akan menggambarkan batas kemiringan lereng maksimum yang dapat menyebabkan aliran debris.
2. Mengetahui besar konsentrasi aliran debris yang terjadi berdasarkan kemiringan alur.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian dapat memberikan sumbangan pengetahuan dalam bidang rekayasa sumber daya air, khususnya tentang sedimentasi debris. Selain itu penelitian juga dapat memberikan gambaran kepada masyarakat umum mengenai besarnya kemiringan lereng pada intensitas hujan tertentu yang dapat menyebabkan sedimen debris yang terjadi pada sedimentasi pasir merapi.

Selain itu bisa juga dijadikan sebagai rujukan Balai Besar Wilayah Sungai di daerah Sleman ataupun Balai Litbang Sabo untuk merencanakan bangunan air yang berada di aliran sungai yang berhulu di lereng Gunung Merapi.

## 1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak melebar dari permasalahan dan terjadi hal yang keluar dari topik penelitian, maka penelitian dibatasi sebagai berikut:

1. Simulasi hanya mengkombinasikan antara intensitas hujan, waktu hujan, dan kemiringan lereng terhadap terjadinya aliran debris pada sedimen pasir merapi.
2. Dalam simulasi tidak memperhitungkan pengaruh tumbuhan

yang ada di sekitar lereng Gunung Merapi.

3. Penelitian menggunakan intensitas hujan 25 mm/jam
4. Ketika simulasi tidak memperhitungkan waktu pengendapan sedimentasi.
5. Penelitian tidak mengkaji tentang aspek sosial yang terkena dampak negatif akibat adanya lahar dingin akibat sedimentasi debris.
6. Penelitian hanya mengamati tanda awal terjadinya aliran debris.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

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. Pada lembah yang curam seperti pada lereng Gunung Merapi, merupakan konsentrasi jalan air, pada musim kering sedimen akibat letusan Gunung Merapi akan terakumulasi pada bagian lereng. Ketika terjadi hujan dengan intensitas yang cukup lebat dan waktu yang lama, air hujan akan berkumpul dalam jumlah yang cukup besar pada ujung lembah dan alur lembah akan tersapu oleh air hujan dalam skala besar dan akan mengakibatkan runtuhnya dam alam, lalu ketika itulah akan terjadi aliran debris. Material yang terbawa aliran sepanjang daerah yang dilewatinya akan mengerosi dasar dan tebing sungai sehingga kandungan sedimentasi akan semakin banyak.

Contoh-contoh penelitian terdahulu yang dapat dijadikan referensi untuk penelitian adalah sebagai berikut.

1. Studi Awal Mekanisme Aliran Debris oleh Zhou, dkk. (2009). Penelitian tersebut mempelajari pengaruh kadar air, massa total debris, dan ukuran butiran pada sudut luncur *flume* 45°.
2. Reologi Aliran Debris (*flume experiment*) oleh Richard M. Iverson (2001). Penelitian dilakukan untuk

mengamati tegangan yang terjadi pada aliran debris.

3. Simulasi Aliran Debris dengan Menggunakan Flume oleh Takahashi (1997). Penelitian tersebut 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

### 3. LANDASAN TEORI

#### 3.1 Hujan

Hujan 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, 2006)

#### 3.2 Aliran Debris

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.

Gerakan massa aliran debris dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

1. Aliran Debris

$$\text{Tg}\theta_d = \frac{C_* (\sigma - \rho)}{C_* (\sigma - \rho) + \rho \left(1 + \frac{k}{d}\right)} \text{tag } \theta \quad (1)$$

2. Aliran Debris Hiperkonsentrasi

$$\text{Tan } \theta_h = \frac{C_* (\sigma - \rho)}{C_* (\sigma - \rho) + \rho \left(1 + \frac{h_0}{d}\right)} \text{tan } \theta \quad (2)$$

Keterangan :

$\theta$  : Kemiringan sungai arus deras ( $^\circ$ )

$C_*$  : Konsentrasi sedimen pada dasar sungai arus deras

$\sigma$  : Berat jenis pasir ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )

$\rho$  : Berat jenis air yang mengalir ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )

$\theta$  : Sudut geser dalam lapisan sedimen

K : Konstanta eksperimen Takahashi besarnya 0,85 – 1

$h_0$  : Kedalaman air (m)

d : Diameter butiran (m)

3. Aliran sedimen transport

Butiran sedimen akan mulai bergerak bila terpenuhi persamaan sebagai berikut.

$$\tau_0 > \tau_c \quad (3)$$

Dimana,

$$\frac{\tau_c}{(\sigma - \rho) \cdot g \cdot d} = 0,05 \quad (4)$$

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot R \cdot \sin \theta \quad (5)$$

Sedangkan konsentrasi sedimen debris dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_d = \frac{\rho_w \cdot \tan \theta}{(\rho_s - \rho_w)(\tan \theta - \tan \theta)} \quad (6)$$

Menurut T. Takahashi dalam (*Debris Flow 2nd Edition*, 2014) mengemukakan bahwa nilai  $C_d$  akan bertambah lebih besar dari pada nilai  $C_*$ , tetapi tidak mungkin terjadi aliran dengan konsentrasi yang begitu tinggi, dan berdasarkan hasil percobaan, nilai  $C_d$  selalu kurang dari atau sama dengan  $0.9C_*$ . Sedangkan menurut JICA (2002) rumus (6) hanya berlaku pada kemiringan alur  $\leq 20^\circ$ . Sedangkan pada kemiringan alur  $> 20^\circ$  maka digunakan nilai  $C_d$  sebagai berikut.

$$C_d = 0,9 \cdot C_* \quad (7)$$

#### 3.3 Analisa Korelasi

Analisis korelasi digunakan untuk mempelajari hubungan antara dua variabel atau lebih, dengan maksud bahwa dari hubungan tersebut dapat diperkirakan besarnya dampak kuantitatif yang terjadi dari perubahan suatu kejadian terhadap kejadian lainnya.

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.

$$r = \frac{n \cdot \sum XY - (\sum X \cdot \sum Y)}{\sqrt{\{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2\} \cdot \{n \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}} \quad (8)$$

Koefisien determinasi digunakan untuk melihat seberapa besar variabel-variabel independen secara bersama mampu memberikan penjelasan mengenai variabel dependen dimana nilai R berkisar antara 0 sampai 1 ( $0 \leq R \leq 1$ ). Besaran dinyatakan dalam R, dimana :

$$R = r^2 \quad (9)$$

### 3.4 Analisa Regresi

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). Untuk menganalisis regresi gunakan metode matrik, dimana model regresi linear sederhananya adalah  $y = a + bx$ . Rumus penggunaan metode matriks dapat dilihat sebagai berikut:

$$\sum y = n \cdot a + b \sum x \quad (10)$$

$$\sum yx = a \sum x + b \sum x^2 \quad (11)$$

$$|A| = \begin{vmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{vmatrix} \quad (12)$$

$$a = \frac{\begin{vmatrix} \sum y & \sum x \\ \sum xy & \sum x^2 \end{vmatrix}}{|A|} \quad (13)$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum y \\ \sum x & \sum yx \end{vmatrix}}{|A|} \quad (14)$$

### 3.5 Artificial Rainfall Aparatus System

*Artificial rainfall apparatus system* 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.

### 3.6 Software Surfer

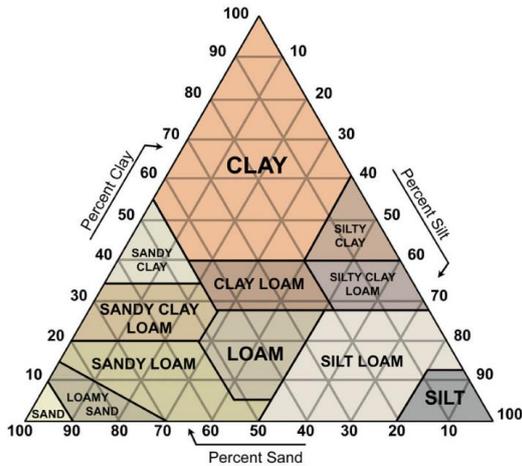
*Surfer* adalah salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk pembuatan peta kontur dan pemodelan tiga dimensi yang berdasarkan pada *grid*. *Surfer* melakukan *plotting* data tabular xyz tak beraturan menjadi lembar titik-titik segi empat (*grid*) yang beraturan. *Grid* adalah serangkaian garis vertikal 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 .grd* (Saleh, 2011).

### 3.7 Klasifikasi Tanah Metode United States Department of Agriculture (USDA)

Pada tahun 1960, *United State Department of Agriculture* (USDA) memperkenalkan sistem klasifikasi tanah yang baru yang disebut *Comprehensive System* atau *Soil Taxonomy*. Sistem klasifikasi USDA lebih banyak menekankan pada morfologi dan kurang menekankan pada faktor-faktor pembentuk tanah. Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah, distribusi ukuran butir dan plastisitas tanah menurut *United State Department of Agriculture* (USDA) adalah:

1. Pasir : ukuran butiran antara 2,0 – 0,05 mm
2. Lanau : ukuran butiran 0,05 – 0,002 mm
3. Lempung : ukuran butiran < 0,002 mm

Berdasarkan USDA, klasifikasi tanah dengan menggunakan segitiga taksonomi tanah yang dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Segitiga Taksonomi Tanah Menurut USDA

## 4. METODE PENELITIAN

### 4.1 Tinjauan Umum

Penelitian yang dilakukan adalah sebuah simulasi laboratorium yang akan menggambarkan terjadinya aliran debris pada sedimen pasir merapi. Penelitian menggunakan objek berupa pasir merapi yang diperoleh dari penambang pasir di hulu sungai Gendol. Selain itu, juga menggunakan alat berupa *flume* yang dimiliki laboratorium lahar Balai Litbang Sabo sebagai permodelan alur aliran sedimentasi yang terjadi di lereng Gunung Merapi.

### 4.2 Jenis Penelitian

Penelitian menggunakan dua data yaitu data primer dan sekunder. Data primer yaitu berupa data rupa bumi Lereng Gunung Merapi yang diolah menjadi sebuah data kemiringan lereng. Sedangkan data sekunder yang digunakan adalah data intensitas hujan yang diperoleh dari penelitian terdahulu. Jenis penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dimana pada

setiap analisis menitik beratkan pada data berupa angka guna mengetahui kejadian aliran debris pada pasir merapi yang diakibatkan oleh kemiringan sudut aliran dan intensitas hujan yang akan diperoleh dari pengujian laboratorium

### 4.3 Penjelasan Penggunaan Data

#### 1. Peta rupa bumi

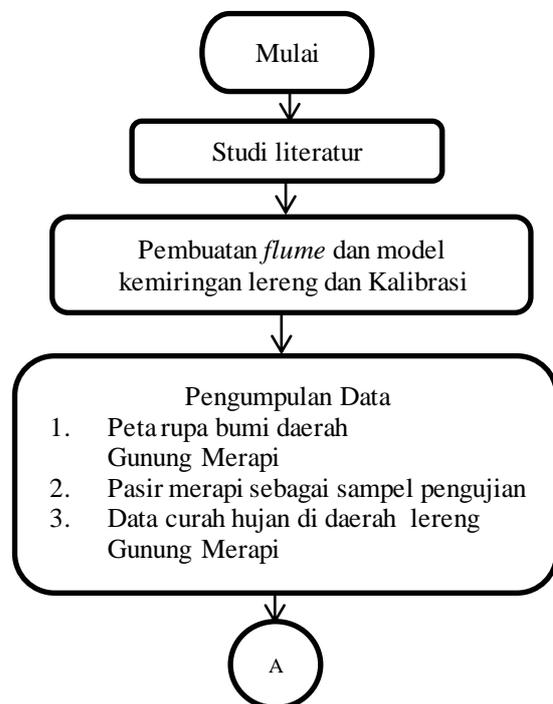
Dari peta rupa bumi dapat diketahui lokasi Gunung Merapi. Dengan menggunakan *tools* yang ada pada *software* tersebut, didapatkan data kemiringan lereng pada lereng Gunung Merapi yang akan digunakan pada simulasi laboratorium.

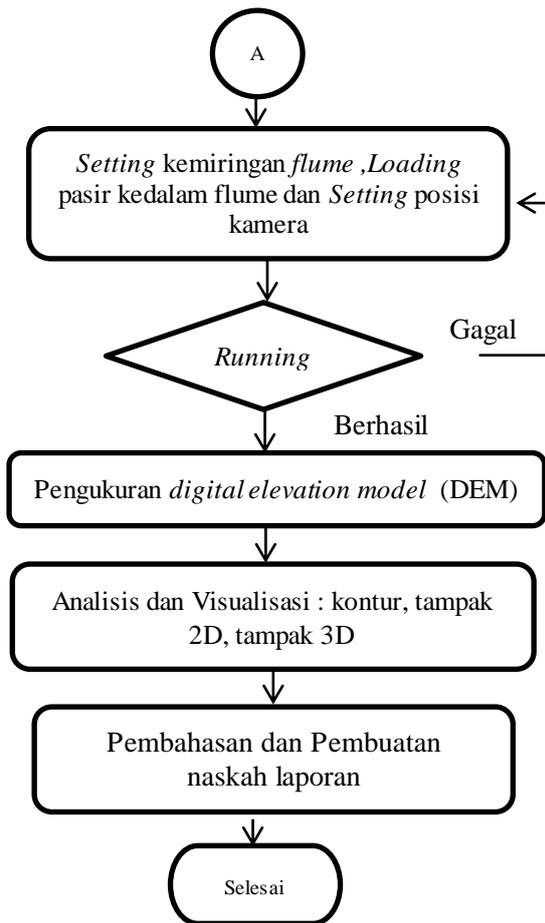
#### 2. Pasir Merapi

Pasir merapi yang digunakan sebagai sampel penguji diperoleh dari hulu sungai Gendol. Pada setiap *running* menggunakan pasir dengan volume sekitar 0,675 meter kubik, dan setiap kali *running* menggunakan pasir baru.

### 4.4 Prosedur Simulasi

Simulasi pengaruh intensitas hujan dan kemiringan lereng terhadap terjadinya aliran debris memiliki tiga tahapan yaitu persiapan, *running*, dan analisis. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.





Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

## 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Pratinjau Hasil Simulasi

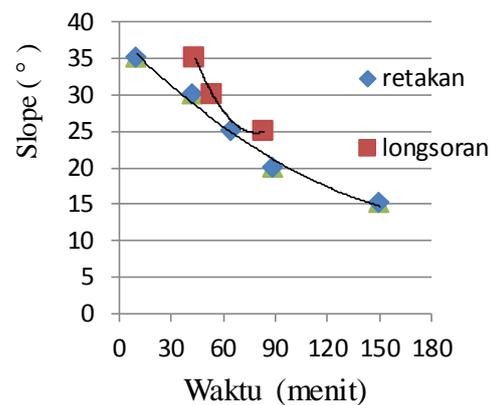
Simulasi pengaruh intensitas dan kemiringan lereng terhadap aliran debris pasir merapi dilakukan dengan menggunakan *flume* berukuran  $p \times l \times t$  berturut-turut  $3 \times 1,5 \times 0,15$  m sebagai model dari bentuk kemiringan lereng pada Gunung Merapi dan *Artificial Rainfall Aparatus* sebagai simulator hujan. Ukuran sedimen yang digunakan adalah seragam yaitu sebesar 0,38 mm.

### 5.2 Pola Hubungan Antara Intensitas Hujan dan Kemiringan Lereng

Pola hubungan antara intensitas hujan dan kemiringan lereng dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Hasil Simulasi

Intensitas Hujan (mm/jam)	slope (°)	Waktu Pengamatan (menit)	Kejadian	Waktu (menit)
25	15	150	Retakan	150
	20	122	Retakan	89
	25	92	Retakan	65
			Longsor	84
	30	60	Retakan	43
			Longsor	54
35			Retakan	10
			Longsor	44



Gambar 3 Grafik Hubungan Antara Kemiringan Lereng terhadap Waktu

### 5.3 Tipe Aliran Sedimen

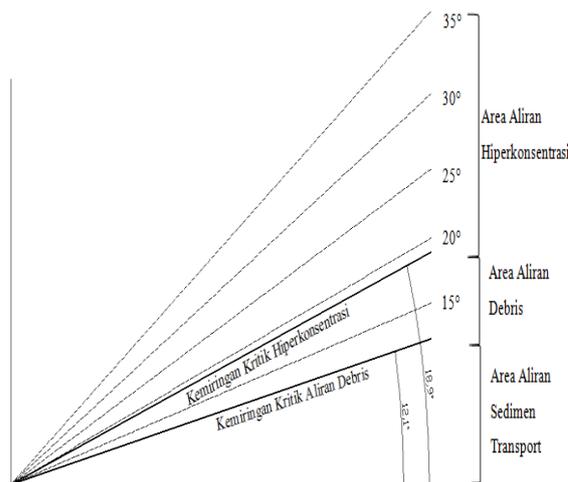
Hasil analisis perhitungan tipe aliran sedimen dapat dilihat pada Tabel 2 dan klasifikasi tipe aliran dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Analisis Tipe Aliran Sedimen

Kemiringan ( $\theta$ )	$\tan \theta$	$\tan \theta_d$	$\tan \theta_h$
15°	0,268	0,214	0,343
20°	0,364	0,214	0,343
25°	0,466	0,214	0,343
30°	0,577	0,214	0,343
35°	0,7	0,214	0,343

Tabel 3 Klasifikasi Tipe Aliran Berdasarkan Analisis

Tipe Aliran	Syarat	15°	20°	25°	30°	35°
Debris	$\tan \theta \geq \tan \theta_d$	√	-	-	-	-
Hiperkonsentrasi	$\tan \theta_h \leq \tan \theta$	-	√	√	√	√
Sedimen Individu	$\tan \theta < \tan \theta_d$	-	-	-	-	-



Gambar 4 Posisi Kemiringan Lereng yang Diuji Terhadap Kemiringan Kritis Aliran Debris dan Hiperkonsentrasi Hasil Analisis

Pada perhitungan nilai  $\tan \theta_d$  didapatkan hasil sebesar 0,214 sedangkan nilai  $\tan \theta$  pada kemiringan 15° hingga 35° sebesar 0,268; 0,364; 0,466; 0,577; dan 0,7 dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai  $\tan \theta \geq \tan \theta_h$  berarti pada kemiringan 20° hingga 35° dapat digolongkan tipe aliran sedimen hiperkonsentrasi dan pada kemiringan 15° nilai  $\tan \theta > \theta_d$  maka pada kemiringan tersebut kemungkinan yang terjadi adalah aliran debris. Pergerakan transport sedimen bermula pada kemiringan 0,0134° sehingga pada area kemiringan 12,1° hingga 0,0134° merupakan area transport sedimen, dan pada kemiringan dibawah 0,0134° sedimen cenderung diam.

#### 5.4 Dinamika Aliran Debris

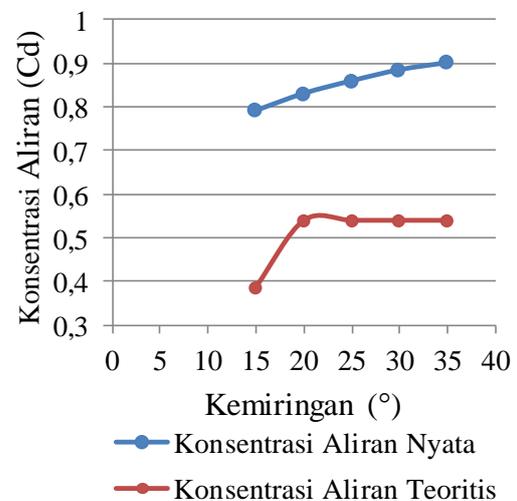
Pergerakan sedimen berupa longoran maupun aliran debris disebabkan karena

tegangan geser ( $\tau$ ) lebih besar dari perlawanan geser ( $\tau_1$ ), dan bila tegangan geser ( $\tau$ ) sama dengan atau lebih kecil dari perlawanan geser ( $\tau_1$ ) maka sedimen akan dalam keadaan diam. Pada Penelitian dinamika aliran debris dianalisis secara teoritis dan nyata.

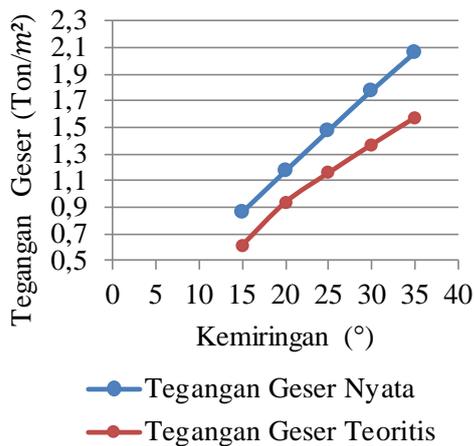
Terdapat hasil yang berbeda antara analisis dinamika teoritis dan nyata, perbedaan hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 5 hingga Gambar 7.

Tabel 4 Perbandingan Hasil Analisis Dinamika Aliran Debris Teoritis dan Nyata

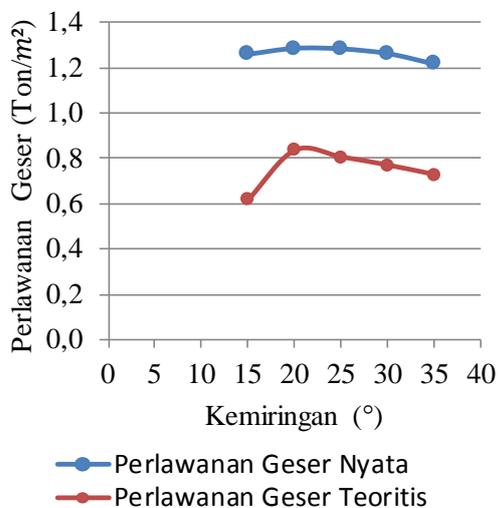
Parameter	Sudut (°)	Teoritis	Nyata
Konsentrasi Aliran (Cd)	15	0,388	0,792
	20	0,540	0,831
	25	0,540	0,859
	30	0,540	0,885
	35	0,540	0,901
Tegangan Geser ( $\text{ton}/\text{m}^2$ )	15	0,617	0,863
	20	0,938	1,172
	25	1,159	1,477
	30	1,371	1,777
	35	1,573	2,061
Perlawanan Geser ( $\text{ton}/\text{m}^2$ )	15	0,617	1,260
	20	0,836	1,286
	25	0,807	1,284
	30	0,771	1,263
	35	0,729	1,217



Gambar 5 Perbandingan Hasil Analisis Antara Konsentrasi Aliran Nyata dan Teoritis



Gambar 6 Perbandingan Hasil Analisis Antara Tegangan Geser Nyata dan Teoritis



Gambar 7 Perbandingan Hasil Analisis Antara Perlawanan Geser Nyata dan Teoritis

### 5.5 Digital Elevation Model (DEM)

Pengukuran data DEM 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. Pada kemiringan 25°, 30°, dan 35° terjadi perubahan yang sangat signifikan dikarenakan terjadi longsoran selama rentang waktu penelitian. Sedangkan pada kemiringan 15° dan 20° meskipun tidak terjadi longsoran, 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 pengujian, yaitu dimana proses longsoran 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 longsoran. Pada kemiringan 25, 30, dan 35 derajat, awal terjadinya longsoran bermula pada area sisi kiri dari *flume*. Hal tersebut dapat dikarenakan tidak meratanya pancaran hujan yang dihasilkan oleh alat *artificial rainfall apparatus* dan tingkat kejenuhan sedimen saat dilakukan pengujian.

## 6 KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian di laboratorium serta hasil analisis dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut diantaranya:

1. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan pola semakin miring aliran, maka semakin cepat pengaruh intensitas hujan terhadap longsoran pemicu aliran debris, dimana pada kemiringan 15° tidak terjadi retakan dan longsoran, sedangkan pada kemiringan maksimum pengujian yaitu 35° terjadi retakan pada menit ke 10 dan longsoran pada menit ke 44. Berdasarkan data hasil pengujian, 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. Pada analisis tipe aliran sedimen, didapatkan kemiringan kritis untuk

aliran debris adalah  $12,1^\circ$  dan untuk aliran hiperkonsentrasi adalah  $18,9^\circ$ . Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pada kemiringan  $15^\circ$  menunjukkan tipe aliran yang terjadi berupa tipe aliran sedimen debris dan pada kemiringan  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $35^\circ$  merupakan tipe aliran sedimen hiperkonsentrasi, sedangkan pada kemiringan  $0,0139^\circ$  hingga  $12,1^\circ$  merupakan rentang area tipe aliran sedimen transport.

2. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa secara teoritis, nilai konsentrasi aliran debris pada kemiringan  $15^\circ$  adalah 0,388 dan untuk kemiringan  $20^\circ$  hingga  $35^\circ$  nilai konsentrasi aliran konstan yaitu 0,54. Hal tersebut dikarenakan pada formula Takahashi konsentrasi aliran hanya dibatasi hingga  $0,9C_*$ . Sedangkan pada pengujian laboratorium, didapatkan hasil konsentrasi sedimen pada kemiringan  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $35^\circ$  berturut-turut adalah 0,792 ; 0,831 ; 0,859 ; 0,885 dan 0,901. Berdasarkan hasil tersebut, terjadi perbedaan antara analisis teoritis dan nyata pada penelitian. Perbedaan hasil analisis konsentrasi sedimen secara teoritis dan laboratorium, juga berpengaruh pada nilai gaya tegangan geser dan tahanan geser pada aliran sedimen.
3. Pada kemiringan 15 dan 20 derajat secara visual tidak terjadi pergerakan sedimen, namun pada hasil analisis DEM dengan menggunakan *software* SURFER terlihat pada kemiringan 15 dan 20 derajat permukaan sedimen mengalami perubahan bentuk selama waktu pengujian. Sedangkan kemiringan 25, 30, dan 35 derajat, perubahan permukaan sedimen dapat terlihat secara visual karena pada kemiringan tersebut terjadi longsoran.

## 6.2 Saran

Ketika melakukan penelitian di laboratorium lahar Balai Litbang Sabo terdapat kendala dimana ketika melakukan kalibrasi hujan ketika *nozzle spray* pada

pemancar hujan sudah lama tidak digunakan maka akan tertutup debu dan data kalibrasi sudah tidak akan valid. Saran yang diajukan adalah, jika alat tidak digunakan maka tetap harus dilakukan pembersihan *nozzle spray* minimal enam bulan sekali, agar lubang *nozzle* tidak tertutup oleh debu kotoran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E, Budiman, dan Mimin Karmini. 2011. Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia. Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara Kedeputian BidangKlimatologi, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.
- Budiman, R. 2018. Simulasi Transpor Sedimen Sungai Progo Di Sekitar *Intake* Kamijoro. Skripsi. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Giyarsih, S.R. dkk. 2014. *Aspek Sosial Banjir Lahar*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.  
[https://www.academia.edu/Deskripsi\\_dan\\_Klasifikasi\\_Tanah](https://www.academia.edu/Deskripsi_dan_Klasifikasi_Tanah). Diakses 29 Januari 2019
- <http://repository.usu.ac.id> . Diakses 5 November 2018.
- <http://researchgate.com>. Diakses 23 November 2018.
- <http://researchgate.com./dam-alam-merapi/>. Diakses 23 November 2018
- Iwardoyo, J. 2012. Kajian Pengelolaan Sedimen Sungai Gendol Pasca Erupsi Merapi. Tesis. (Tidak Diterbitkan). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Iverson, R.M. 2001. *The Debris-Flow Rheology Myth*. USGS. USA.
- Kusumosubroto, H. 2012. *Aliran Debris & Lahar*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Ninyaningrum, C.A. 2013. Analisis Karakteristik Hujan Penyebab Aliran Debris Di Lereng Gunung Merapi. Tesis. (Tidak Dipublikasikan). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Prayogo, L.C. 2015. Analisis Pola Spasial Hujan Durasi Pendek Di Wilayah Lereng Barat dan Selatan Gunung Merapi. Skripsi. (Tidak Dipublikasikan). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Rahmat, A. 2008. *Pengelolaan Sedimen Kali Gendol Pasca Erupsi Merapi Juni 2006*. Forum Teknik Sipil No. XVIII/2. Yogyakarta.
- Saleh, Salmani. 2011. *Pengenalan Surfer*. <http://digilib.its.ac.id>. Diakses pada hari Minggu, 20 Januari 2019 pukul 01.20 WIB
- 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.
- Wusono,A. 2007. Kajian Pengelolaan Sedimen Aliran Debris di Kali Gendol Cangkringan Sleman Yogyakarta. Tesis Magister Pengelolaan Bencana Alam. Sekolah Pascasarjana Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Zhou, DG. Et al. 2009 . *The Mechanism Of Debris Flow: A Preliminary Study*. Department of Civil an Enviromental Engineering. Hongkong University.