SKRIPSI

ANALISA CURAH HUJAN MENGGUNAKAN METODE HSS GAMA I TERHADAP INISISASI DEBRIS FLOW DI KALI PUTIH AREA GUNUNG MERAPI

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan

Oleh

Rizki Kurniadhi NIM. 5101412026

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2016

PERSETUJUAN PEBIMBING

Nama	:	Rizki Kurniadhi
NIM	:	5101412026
Program Studi	:	S1 Pendidikan Teknik Bangunan
Judul Skrisi	:	ANALISA CURAH HUJAN MENGGUNAKAN METODE HSS GAMA I TERHADAP INISIASI DEBRIS FLOW DI KALI PUTIH AREA GUNUNG MERAPI

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 21 September 2016

Pembimbing I	Pembimbing II
Drs. Lashari, M.T.	**Dr. Rini Kusumawardani, S.T, M.T, M.Sc.**
NIP.19550410985031001	NIP. 197809212005012001

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Analisa Curah Hujan Menggunakan Metode HSS GAMA I Terhadap Inisiasi Debris Flow Di Kali Putih Area Gunung Merapi" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 21 September 2016.

Oleh:

Nama : **Rizki Kurniadhi**

NIM : **5101412026**

Program Studi : S-1 Pendidikan Teknik Bangunan

Panitia:

Ketua

Dra. Sri Handayani, M.Pd.

NIP. 196711081991032001

Sekretaris

Eko Nugroho J, S.Pd, M.T.

NIP. 197207021999031001

Penguji I

Untoro Nugroho, S.T, M.T.

NIP. 196906151997021001

Penguji II

Drs. Lashari, M.T.

NIP.195504109850310 01

Penguji III

Dr. Rini Kusumawardani, S.T, M.T, M.Sc.

NIP. 197809212005012001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Nur Qudus, M.T.

NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bawhwa skripsi saya yang berjudul "Analisa Curah Hujan Menggunakan Metode HSS GAMA I Terhadap Inisiasi Debris Flow Di Kali Putih Area Gunung Merapi" disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan telah disebut dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir skripsi ini. Skripsi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di perguruan tinggi manapun.

Semarang, 21 September 2016

Rizki Kurniadhi

5101412026

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Aku melihat ke sekelilingku dan memperhatikan bahwa setiap orang mempunyai objek cinta serta kekasih masing-masing, dan tetap ingin hidup bersama dengan yang dicintainya itu hingga ke liang lahat. Karena itu aku menjadikan amal baikku sebagai objek cinta. Hingga saat aku meninggal dunia nanti, amal baikku akan menyertai aku masuk ke alam kubur.

(Hatim al-Ashim)

Now think deeply. What would you like each of these speakers to say about you and your life? What kind on husband, wife, father, or mother would you like their words to reflect? What kind of son or daughter or cousin? What kind of friend? What kind of associate?

What character would you like them to have remember? What contributions, what achievement would you want to remember? Look carefully at the people around you. What difference would you like to have made in their lives?

(Stephen Covey)

PERSEMBAHAN

1. Allah Azza wa Jalla, atas nikmat sehat dan waktu luang.
2. Muhammad SAW, atas *syaksiyyah islamiyyah* yang dipercontohkan.
3. Ibu Sumarni dan Bapak Pujiono, atas pengajaran sikap altruistis, dan juga sikap antipati terhadap segala bentuk hipokrisi.
4. Kakak, P Dewi Safitri dan Adik, A Ayu Rahmawati, teruslah bertumbuh dengan ilmu.
5. Seluruh civitas Universitas Negeri Semarang, khususnya prodi Pendidikan Teknik Bangunan S-1 angkatan 2012 dan Jurusan Teknik Sipil.

ABSTRAK

Aktivitas letusan Gunung Merapi tahun 2010 yang berupa *pyroclastic flow* menghasilkan 130 m^3 endapan bahan vulkanik yang terakumulasi di hulu sungai. Kondisi seperti ini dapat memicu bahanya sekunder berupa aliran debris yang diakibatkan oleh intensitas hujan dengan durasi yang cukup untuk menginisiasi banjir lahar. Takahashi (1991) menjabarkan angkutan sedimen pada sistem sungai dikasifikasikan atas tiga kelompok. (1) *debris flow*, (2) *immature debris flow*, dan (3) *individual debris flow*. Parameter yang mempengaruhi inisiasi aliran debris meliputi konsentrasi sedimen (C_*), kemiringan dasar sungai (θ), kedalaman air (h_o), diameter butrian (d_{50}), berat volume tanah (γ_s), berat volume air (γ_w), dan sudut geser tanah (ϕ).

Dalam kajian ini mencoba untuk menganalisis pengaruh curah hujan terhadap Persamaan Takahashi. Lokasi penelitian di Kali Putih Kabupaten Magelang. Adapun data curah hujan diperoleh dari pencatatan Stasiun Ngepos dan Stasiun Maron dalam bentuk satu jam (mm/jam), curah hujan harian (mm).

Hasil analisis ini menunjukan bahwa curah hujan (durasi dan intensitas) yang relatif kecil tidak dapat menginisasi aliran debris. Secara kuantatif penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- Intensitas hujan maksimum lebih dari 33 mm/jam dapat menginisiasi aliran debris di Kali Putih. Persentase eskalasi dan resesi perhitugan Persamaan Takahashi masing-masing titik adalah: PU – D2 2 sebesar 1,42%, PU – D2 1 sebesar 4,02%, PU – D1 3 sebesar -14,68%, PU – D1 2 sebesar 3,61%, PU – D1 1 sebesar 4,64%, PU – C10 3 sebesar 123,04%, PU – C10 2 sebesar 11,78%, PU – C10 1 sebesar 13,69%.
- Titik awal inisiasi aliran debris yakni pada alur sungai yang memiliki kemiringan dasar minimum 8 derajat dan memerlukan kedalaman air minimum 0,031 m.
- Kemiringan dasar sungai (θ) dan kedalaman air (h_o) merupakan variabel yang berpengaruh besar terhadap Persamaan Takahashi untuk memprediksi kejadian aliran debris.
- Curah hujan anteseden memiliki pengaruh dominan terhadap inisiasi aliran debris. Akan tetapi tidak dapat digunakan sebagai parameter untuk memprediksi kejadian aliran debris.
- Siklus hujan intensitas tinggi yang memicu aliran debris terjadi pada bulan Desember hingga bulan Maret. Sistem pantau disarankan berada pada bangunan sabo PU – C10. Karena hasil analisa penerapan Persamaan Takahashi merupakan yang tertinggi dan diduga sebagai tempat dimulainya aliran debris.

Kata Kunci: *Debris Flow*, Inisiasi, Kali Putih, Gunung Merapi

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanya kepada Allah SWT., yang mengajarkan (manusia) dengan perantara kalam. Sehingga skripsi yang berjudul Pengaruh Curah Hujan Metode Hss Gama I Terhadap Inisiasi Debris Flow Gunung Merapi dapat terselesaikan.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1 pada Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Penyusun sangat menyadari tanpa adanya bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak yang terkait serta dorongan untuk penulisan karya ilmiah ini akan lama terselesaikan. Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan rasa penghargaan dan terima kasih setinggi-tingginya kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus Usman, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Dra. Sri Handayani, M.Pd., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan.
4. Drs. Lashari, M.T., selaku dosen pembimbing pertama,
5. Dr. Rini Kusumawardani, S.T, M.T, M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua.
6. Untoro Nughroho, S.T, M.T., selaku penguji skripsi.
7. Seluruh civitas Universitas Negeri Semarang yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir dari kata pengantar ini, semoga penulisan skripsi ini dapat memberi manfaat bagi semua pihak.

Semarang, 21September 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul ii

Persetujuan Pembimbing iii

Pengesahan Kululusan iv

Motto dan Persembahan v

Abstrak vi

Kata Pengantar vii

Abstrak viii

Daftar Isi vi

Daftar Tabel xi

Daftar Gambar xii

Daftar Lampiran xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Identifikasi Masalah 3

1.3 Perumusan Masalah 3

1.4 Pembatasan Masalah 4

1.5 Tujuan 4

1.6 Manfaat 5

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Aliran Debris (*Debris Flow*) 6

2.2 Persamaan Takahashi 7

2.3 Penentuan Diameter Endapan Aliran Debris 14

2.4 Hidrograf Satuan Sintetik Gama I 14

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian 21

3.2 Metode Pengumpulan Data 22

3.2.1 Data Primer 22

3.2.2 Data Sekunder 22

3.3 Metode Analisa 23

3.3.1 Analisa Morfologi 23

3.2.2 Analisa Material Dasar Sungai 23

3.4 Analisa Penampang Memanjang Sungai 30

3.5 Analisa Curah Hujan 30

3.6 Analisa Persamaan Takahashi untuk Kondisi *Real* di Alur Sungai 31

3.7 Metode Pendekatan Utama 31

3.8 Perumusan Analisa 32

3.9 Hipotesis 33

3.10 Bagan Alir Penelitian 34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Situasi Gunung Merapi 35

4.1.1 Siklus Letusan Gunung Merapi 37

4.1.2 Daerah Potensial Terkena Dampak 39

4.1.3 Karakteristik Erupsi Tahun 2010 46

4.2 Hasil pemeriksaan Sedimen 47

4.2.1 Pemeriksaan Uji Kadar Air 47

4.2.2 Pemeriksaan Ujian Berat Jenis Tanah 48

4.2.3 Pemeriksaan Uji *Soil Properties* 48

4.2.4 Uji Analisis Butiran 49

4.2.5 Pemeriksaan Uji Geser Langsung 51

4.3 Karakteristik Kali Putih 51

4.3.1 Profil Melintang Kali Putih 52

4.4 Hasil Perhitungan Tinggi Air Minimum (h_o) Penyebab *Debris Flow* 55

4.5 Analisa Curah Hujan 56

4.6 Analisa Sensitifitas Persamaan Takahashi 63

4.7 Analisa Persamaan Takahashi untuk Kondisi Nyata di Sungai 64

4.7.1 Hidrograf Satuan Sintetik Gama I 64

4.7.2 Analisa Persamaan Takahashi 69

4.7.3 Analisa Dalam Bentuk Grafik 73

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 77

5.2 Saran 78

DAFTAR PUSTAKA

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh tipe tanah terhadap nilai *density, void ratio, and porosity* 13

Tabel 4.1 Distribusi aliran piroklastik 47

Tabel 4.2 Desa berpotensi lahar 47

Tabel 4.3 Kadar air sedimen 47

Tabel 4.4 Berat jenis tanah 48

Tabel 4.5 Nilai γ_b, γ_d, γ_s, γ_{sat} 48

Tabel 4.6 Nilai S_r, n, e, D_r, R_c 49

Tabel 4.7 Sistem klasifikasi *unfied* 49

Tabel 4.8 Direct shear test 51

Tabel 4.9 Kedalaman air minimum 56

Tabel 4.10 Data hujan yang terjadi *debris flow* 57

Tabel 4.11 Data hujan yang tidak terjadi *debris flow* 58

Tabel 4.12 Data curah hujan yang menimbulkan aliran debris 59

Tabel 4.13 Data curah hujan yang tidak menimbulkan debris 60

Tabel 4.14 Daerah pengaliran sungai (DPS) Putih 65

Tabel 4.15 Perhitungan debit terjadi aliran debris 66

Tabel 4.16 Perhitungan debit tidak terjadi aliran debris 67

Tabel 4.17 Perhitungan h_o terjadi aliran debris 68

Tabel 4.18 Perhitungan h_o tidak terjadi aliran debris 69

Tabel 4.19 Pembuktian Persamaan Takahashi yang terjadi aliran debris 71

Tabel 4.20 Pembuktian Persamaan Takahashi yang tidak terjadi aliran debris 72

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Fenomena bencana aliran debris 2

Gambar 2.1 Distriubsi tegangan dalam lapisan sedimen 7

Gambar 2.2 Susunan tanah dasar 11

Gambar 2.3 Sketsa penetapan WF 17

Gambar 2.4 Sketsa penetapan RUA 17

Gambar 2.5 Sketsa penetapan tingkatan sungai 18

Gambar 3.1 *Catchment area* Kali Putih 22

Gambar 4.1 Foto udara gunung merapi 35

Gambar 4.2 Penampakan jenis bahaya Gunung Merapi 37

Gambar 4.3 Aliran piroklastik Gunung Merapi tahun 1901 – 2010 38

Gambar 4.4 Sebelum letusan 2010 38

Gambar 4.5 Sesudah letusan 2010 38

Gambar 4.6 Evolusi morfologi puncak Gunung Merapi 39

Gambar 4.7 Peta sebaran *ashfall deposits* pada 26 oktober 2010 40

Gambar 4.8 Peta sebaran *ashfall deposits* pada 30 oktober 2010 40

Gambar 4.9 Peta sebaran *ashfall deposits* pada 3 november 2010 41

Gambar 4.10 Peta kerentanan tiap dusun di Gunung Merapi 42

Gambar 4.11 Peta ancaman lahar Gunung Merapi 43

Gambar 4.12 Peta ancaman awan panas Gunung Merapi 44

Gambar 4.13 Peta resiko bahaya *pyroclastic flow* dan *debris flow* Gunung Merapi 45

Gambar 4.14 Peta endapan aliran piroklasitik 2010 46

Gambar 4.16 Kurva distribusi ukuran butiran 50

Gambar 4.15 Penampang melintang Kali Putih 53

Gambar 4.16 Sebaran bangunan sabo Kali Putih 54

Gambar 4.17 Perbandingan curah hujan maksimal dengan curah hujan anteseden 61

Gambar 4.18 Perbandingan curah hujan kumulatif dengan durasi hujan 62

Gambar 4.19 Perbandingan curah hujan maksimal dengan durasi hujan 62

Gambar 4.20 Perbandingan curah hujan maksimal dengan curah hujan kumulatif 62

Gambar 4.21 Hidrograf satuan sintetik GAMA I 65

Gambar 4.22 Nilai Persamaan Takahashi dengan data ho dari HSS Gama I 76

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Dokumentasi Pengujian Material Dasar Sugai

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki banyak gunung berapi, karena pada kawasan ini dilalui tiga lempeng aktif, yaitu lempeng Pasifik, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Eurasia. Pada kawasan pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara Timur, hingga Maluku sering dijumpai bencana alam yang dicatat karena aktivitas gunung berapi. Salah satu gunung yang paling aktif adalah Gunung Merapi yang teletak di Kabupaten Sleman, Magelang, Boyolali, dan Klaten.

Gunung Merapi telah mengalami erupsi sebanyak 68 kali, erupsi terakhir yang terbesar terjadi pada tanggal 26 Oktober 2010. Erupsi ini tercatat yang terbesar bila dibandingkan dengan bencana serupa pada lima kejadian sebelumnya, yaitu kejadian pada tahun 1994, 1997, 1998, 2001, dan 2006 atau terbesar sejak 150 tahun yang lalu tepatnya tahun 1872 (BNPB, 2011).

Setiap letusan gunung berapi akan menghasilkan material yang terdiri atas lava, batuan, pasir, abu serta gas (Santoso, 1999). Material yang terjadi dan terbentuk setelah terjadinya letusan ini membentuk deposit material yang menutup seluruh lahan dan juga mengisi alur sungai. Endapan bahan vulkanik akibat letusan gunung berapi yang berada di sepanjang hulu sungai merupakan bahaya potensial bagi daerah hilirnya.

Erupsi Gunung Merapi menyebabkan bahaya primer dan sekunder (Sagita, 2012). Menurutnya, bahaya primer disebabkan oleh luncuran material *pyroclastic*,

hujan abu vulkanik, aliran lava, dan gas beracun yang bisa terjadi ketika erupsi berlangsung. Bahaya sekunder berdampak dalam kurun waktu yang lebih lama, umumnya setelah erupsi terjadi. Bahaya sekunder berupa longsoran material, perubahan bentuk lereng, morfologi kubah dan *debris flow*. Dijabarkan oleh Yuan (2005) bahwa durasi hujan merupakan parameter penting yang dapat digunakan untuk meramalkan waktu ledak *debris flow*, terutama untuk sistem monitoring *real-time*.

Gambar 1.1 Fenomena bencana aliran debris. (sumber: Djunaedi, *event debris* 16 Januari 2011)

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Masa jenis yang besar, lereng yang curam serta pengaruh gravitasi membuat aliran massa mengalami percepatan. Hal tersebut mengakibatkan *debris flow* ini mempunyai daya rusak yang besar dan mampu merusak apapun yang dilewati termasuk infrastrukur umum (Lavigne, 2000).

Dalam hal penanganan bencana tidak langsung, suatu metode telah diterapkan untuk mengendalikan erosi pada alur sungai gunung berapi, yaitu berupa

seri *check dam* di bagian hulu sungai dan beberapa *sand pocket* di bagian tengah dimana banyak terdapat sendimentasi, serta pekerjaan normalisasi alur dibagian hilir, misalnya: *lining, river training,* dan sebagainya (Mukhlisin, 1998).

Debris flow merupakan salah satu kejadian bencana alam yang sering terjadi pasca erupsi gunung berapi dan erat kaitannya dengan aktivitas manusia di sekitaran area tersebut. Oleh karena salah satu fokus yang penulis bahas dalam skripsi yang berjudul **"Analisa Curah Hujan Menggunakan Metode HSS GAMA I Terhadap Inisisasi Debris Flow di Kali Putih Area Gunung Merapi".**

1.2 Identifikasi Masalah

Adapun identifikasi masalah adalah sebagai berikut:

1. Penyebab awal kejadian aliran debris.
2. Hubungan antara curah hujan dengan inisiasi aliran debris.
3. Hubungan antara hujan lebat dan karakter deposit terhadap proses awal gerak yang selanjutnya menjadi aliran debris.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

1.3 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perilaku penyebab awal kejadian aliran debris.
2. Pengaruh curah hujan dengan inisiasi aliran debris.
3. Karakter hujan lebat dan karakter deposit terhadap proses awal gerak yang selanjutnya menjadi aliran debris.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Area yang diamati untuk penelitian adalah Area Merapi (Gunung Merapi), yang terletak diantara Kabupaten Sleman, Magelang, Boyolali, dan Klaten.
2. *Debris flow event* di Kali Putih pada rentang waktu Desember 2010 hingga Desember 2012.
3. *Soil Investigation Sediment* pada bangunan sabo diantaranya: PU-D2 (Mranggen), PU-D1 (Mranggen), PU-C10 (Ngepos) dengan jumlah masing-masing lokasi diambil tiga sampel sedimen yang dapat menginisiasi aliran debris.

1.5 Tujuan

Tujuan melakukan penulisan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan estimasi mendasar dan akurat terhadap fenomena aliran debris terhadap Persamaan Takahashi.
2. Menganalisa ketebalan muka air penyebab awal kejadian aliran debris pada kondisi alur Kali Putih.
3. Menganalisa parameter dominan dalam Persamaan Takahashi.
4. Menganalisa pengaruh curah hujan anteseden terhadap inisiasi aliran debris.
5. Menjabarkan hasil penelitan sebagai masukan pengembangan sistem peringatan dini bencana sekunder Gunung Merapi.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

1.6 Manfaat

Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan akan memberikan deskripsi mengenai mekanisme inisiasi aliran debris di Kali Putih. Adapun beberapa manfaat dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Bangsa dan Negara

   Memberikan masukan kepada praktisi di bidang persungaian, khususnya mengenai proses terjadinya inisiasi *debris flow* yang dikaitkan dengan pola spasial intensitas hujan.

2. Bagi Ilmu Pengetahuan

   Inventarisasi ilmu pengetahuan potensi bahaya *debris flow* khususnya pengembangan *early warning system* di area Kali Putih.

3. Bagi Penulis

   Eskalasi ilmu penulis di bidang teknik sipil khususnya *geo-hydro hazard risk management*.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aliran Debris (*Debris Flow*)

Debris flow atau yang lebih dikenal banjir lahar oleh masyarakat Indonesia adalah aliran deras dari campuran air, lumpur, dan puing-puing pasca erupsi gunung berapi yang secara tiba-tiba terdorong ke depan dengan komposisi barisan batuan saling berdesakan. Takahashi (2007) memberi ekspresi penjelasan, *debris flow* merupakan aliran sedimen dan campuran air yang seolah-olah itu adalah aliran carian terus menerus yang didorong oleh gravitasi, dan mencapai mobilitas besar dari ruang kosong diperbesar dengan air jenuh atau lumpur.

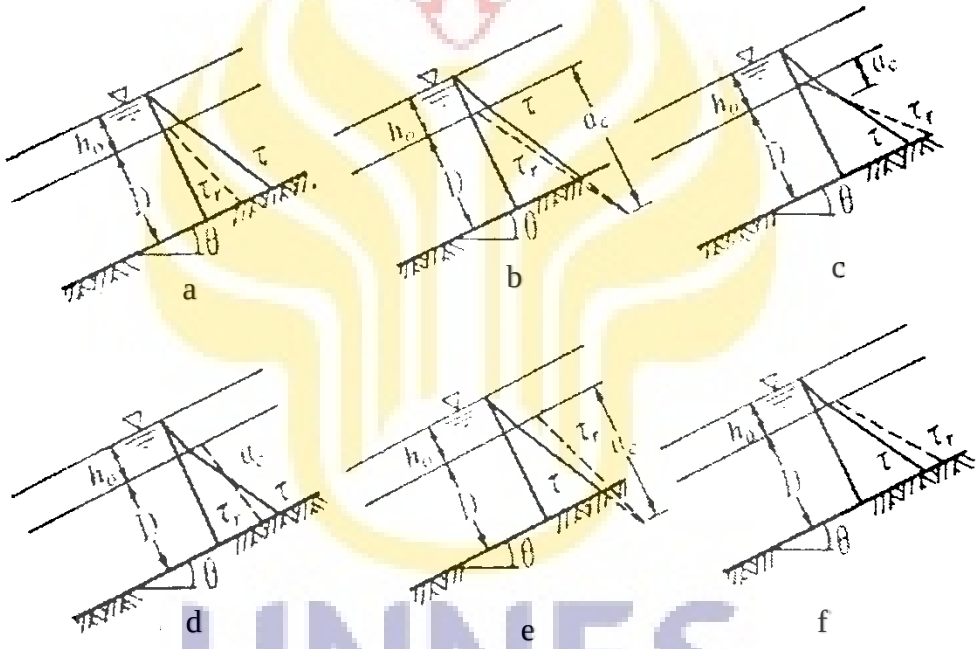
Matsubayashi, dalam Mukhlisin (1998) memberikan contoh misalkan ada material kubus 1 m^3 bisa mengandung air kurang dari 0,5 m^3 yang berfungsi sebagai awal penggerak (yang diperlukan) ke bawah karena gaya beratnya sendiri.

Melalui satu seri eksperimen, Matsubayashi, dalam Mukhlisin (1998) menjelaskan secara rinci, bahwa *debris flow* tidak teralirkan oleh karena gaya gesek (*tractive force*) dari air yang mengalir, akan tetapi oleh tenaga sedimen itu sendiri atau akibat beratnya sendiri. Jadi migrasi sedimen tidak terbawa dalam bentuk terpisah antara pasir dan batu (*individual transported*), tetapi dalam bentuk kesatuan (*collective transported*), di mana pasir dan batu mengalir sekaligus, bahkan batuan besar (*huge boulders)* terkadang masuk di dalamnya.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2.2 Persamaan Takahashi

Mekanisme aliran dideskripsikan oleh Takahashi (2007) dengan mengasumsikan bahwa air dan material sedimen yang terangkut oleh aliran sebagai satu kesatuan yaitu aliran debris. Teori persamaan aliran debris selanjutnya dengan pertimbangan material-material debris, yaitu dengan mengasumsikan sebagai sebuah benda yang terletak pada bidang miring (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Distriubsi tegangan dalam lapisan sedimen. (sumber: Takahashi. Debris Flow Mechanics, Predictions, and Countermeasures. 2007)

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Asusmsi yang digunakan dalam lapisan sedimen atau endapan dasar sungai yang berupa tanah non-kohesif, dengan kedalaman (**D**) dan kemiringan (**θ**). Pada saat aliran setebal (**h_o**) lewat, ruang pori diantara endapan sedimen sudah menjadi jenuh dan aliran rembesan yang sejajar akan terjadi. Menurut Takahashi, besarnya tegangan geser pada sungai memiliki 6 keadaan seperti terlihat pada Gambar 2.1.

Tegangan geser ($\boldsymbol{\tau}$) merupakan tegangan tangensial yang bekerja, sedangkan ($\boldsymbol{\tau_r}$) merupakan tegangan yang menahannya. Material dasar sungai atau debris akan bergerak kebawah atau ke hilir seperti keadaan Gambar 2.1 a, b, dan d disebabkan ($\boldsymbol{\tau}$) melebihi ($\boldsymbol{\tau_r}$). Dalam kasus bila lapisan endapan sedimen atau debris sangat tebal seperti Gambar 2.1 e dan f maka material dasar sungai akan stabil atau tidak terbawa oleh aliran air. Beberapa butiran sedimen akan bergerak bila ($\mathbf{a_c}$) lebih besar dari diameter tunggalnya seperti keadaan Gambar 2.1 c. Oleh karena itu pada Gambar 2.1 a, b, c dan d aliran debris sangat memungkinkan timbul.

Selanjutnya, Takahashi (1991) menjabarkan angkutan sedimen pada sistem sungai di daerah pegunungan diklasifikasikan atas tiga kelompok berdasarkan mekanismenya. Kelompok pertama adalah *debris flow* (aliran debris sempurna), kelompok kedua adalah *immature debris flow* (aliran debris tidak sempurna) dan kelompok ketiga adalah *individual particle transport/bed load.* Mengenai hal tersebut Wardoyo dalam disertasinya (2014) mengatakan perbedaan utama aliran lahar sempurna dan aliran lahar tidak sempurna terletak pada lapisan material jenuh yang bergerak. Dikatakan aliran lahar sempurna bila material jenuh mengalami transport secara utuh, sementara aliran lahar tidak sempurna bila terdapat sebagian saja dari material jenuh yang mengalami transport.

Mekanisme aliran debris yang disyaratkan oleh Takahasi (1976) adalah sebagai berikut:

$$\sigma = g \sin \theta \, [C_* (\gamma_s - \gamma_w) \, a + \gamma_w \, (a + h_o)] \qquad \textbf{[1]}$$

dimana:

σ = tegangan geser yang bekerja, (N/m^2)

θ = sudut kemiringan dasar sungai, (^{o})

h_o = kedalaman air minimum, (m)

C_* = konsentrasi sedimen,

a = tebal lapisan sedimen yang diharapkan akan bergerak, (m)

g = percepatan gravitasi bumi, (m/det)

γ_s = berat jenis partikel butiran, (ton/m^3)

γ_w = berat jenis air, (ton/m^3)

Kemudian tegangan geser yang menahan bergeraknya material dasar sungai, mempunyai persamaan:

$$\sigma_r = g \cos\theta \, [C_* (\gamma_s - \gamma_w) \, a] \tan\phi \qquad \textbf{[2]}$$

dimana:

σ_r = tegangan geser yang menahan, (N/m^2)

ϕ = sudut gesek dalam material dasar sungai, (^{o})

Keadaan seperti Gambar 2.1 a, akan terjadi bila $d\tau/da \geq d\tau_1/da$. Selanjutnya gerakan aliran debris akan terpenuhi, bila:

$$\tan\theta \geq \frac{C_*(\gamma s - \gamma w)}{[\, C_*(\gamma s - \gamma w) + \gamma w]} \tan\phi \qquad \textbf{[3]}$$

Kemiringan dasar sungai yang memenuhi persamaan [3] akan menyebabkan kelongsoran dasar sungai walaupun aliran rembesan belum mencapai permukaan. Dalam hal ini, kemungkinan bahwa $\boldsymbol{\tau_r}$ akan lebih besar $\boldsymbol{\tau}$ disekitar lapisan

permukaan akan selalu ada, sehingga dasar sungainya seolah-olah stabil. Fenomena ini lebih tepat jika disebut dengan kelongsoran tanah, yang sangat berbeda dengan fenomena *debris flow*. Bencana longsor yang berupa rusaknya struktur dasar sungai dapat terjadi tanpa adanya aliran air yang cukup atau terpenuhinya persyaratan. Dengan kata lain, aliran debris akan terjadi bila ada aliran air diatas akumulasi deposit. Selanjutnya keadaan seperti Gambar 2.1 c dan d, akan terjadi bila $d\tau/da \leq d\tau_1/da$ dan $a_c \geq d$, dengan d adalah diameter rata-rata yang dianggap representasi sedimen debris. Diameter yang digunakan adalah d_{50} dari endapan debris tersebut.

Keadaan seperti ini akan terjadi, bila:

$$\frac{C*(\gamma s - \gamma w)}{[C*(\gamma s - \gamma w)+(1+{}^{ho}/_{d})]}\tan\phi \leq \tan\theta \leq \frac{C*(\gamma s - \gamma w)}{[C*(\gamma s - \gamma w)+\gamma w]}\tan\phi \qquad \textbf{[4]}$$

Apabila a_c lebih dangkal dari D, secara teoritis tidak akan ada lapisan butiran yang bergerak yang disebabkan oleh gaya-gaya static tersebut. Namun, bila masih ada gerakan lapisan butiran, hal ini pasti disebabkan oleh adanya gaya-gaya *drag and lift* dari permukaan yang merupakan angkutan sedimen secara umumnya. Kemudian, kemiringan dasar kritis yang menybabkan aliran debris akan diberikan dalam bentuk persamaan:

$$\tan\theta = \frac{C*(\gamma s - \gamma w)}{[C*(\gamma s - \gamma w)+\gamma w\,(1+{}^{ho}/_{d})]}\tan\phi \qquad \textbf{[5]}$$

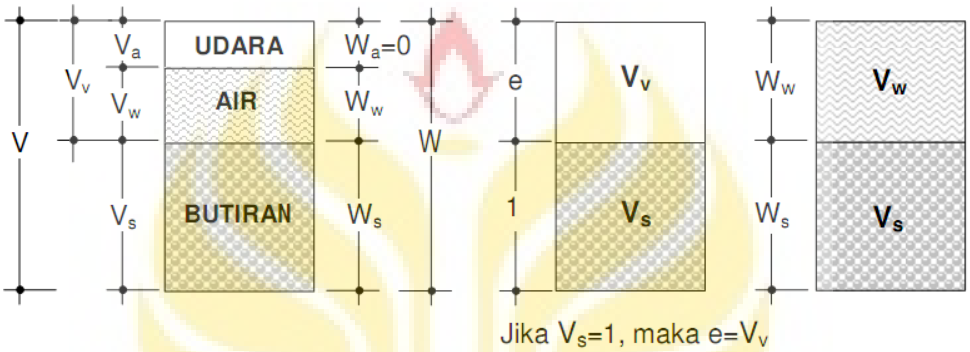
Dari persamaan [5] dapat dilihat, bahwa semakin besar nilai h_o, maka akan semakin landailah kemiringan kritis yang akan menyebabkan aliran debris. Nilai banding antara volume butiran padat dan volume keseluruhan bahan dasar disebut dengan konsentrasi sedimen, yaitu:

$$C * = \frac{Vs}{V} \quad [6]$$

dimana:

V_s = volume butiran padat

V = volume keseluruhan sedimen



Gambar 2.2 Susunan tanah dasar. (sumber: Rizki, dkk, 2013)

Prinsip yang harus dipahami adalah :

$$W = W_w + W_s \quad [7]$$

$$V = V_a + V_w + V_s \quad [8]$$

$$V_v = V_a + V_w \quad [9]$$

dengan,

W = berat tanah total (gr)

W_w = berat air (gr)

W_s = berat butiran padat (gr)

V = volume tanah total (cm^3)

V_a = volume udara (cm^3)

V_w = volume air (cm^3)

V_s = volume butiran padat (cm^3)

V_v = volume rongga pori (cm^3)

Hubungan volume yang biasa digunakan dalam mekanika tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*) dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

$$\text{Angka Pori (e)} = \frac{Vv}{Vs} \quad \textbf{[10]}$$

$$\text{Porositas (n)} = \frac{Vv}{V} \quad \textbf{[11]}$$

$$\text{Derajat Kejenuhan (Sr)} = \frac{Vw}{Vv} \text{x } 100\% \quad \textbf{[12]}$$

Sedangkan hubungan berat yang biasa digunakan adalah kadar air (*moisture content*), dan berat volume (*unit weight*).

$$\text{Kadar Air (w)} = \frac{Ww}{Ws} \text{x } 100\% \quad \textbf{[13]}$$

$$\text{Berat Volume Basah } (\gamma b) = \frac{W}{V} \quad \textbf{[14]}$$

$$\text{Berat Volume Kering } (\gamma d) = \frac{Ws}{V} \quad \textbf{[15]}$$

Tabel 2.1 Pengaruh tipe tanah terhadap nilai *density, void ratio, and porosity*

Tipe Tanah	Masa Volume (g/cm^3)		Angka Pori (*Void Ratio*)		Porositas (%)	
	ρ_{min}	ρ_{max}	e_{min}	e_{max}	n_{min}	n_{max}
gambae	2,30	1,50	0,70	0,15	44	13
Krikil ber-lanau	2,20	1,70	0,57	0,20	36	17
Krikil ber-lempung	2,15	1,70	0,57	0,24	36	19
Pasir	2,20	1,50	0,77	0,20	44	17
Pasir ber-lanau	2,00	1,40	0,91	0,34	48	25
Pasir ber-lempung	2,00	1,40	0,91	0,34	48	25
Lanau anorganik	1,95	1,30	1,04	0,36	51	26
Lanau organik	1,70	0,65	3,00	0,55	75	35
Lempung anorganik	1,90	0,80	2,38	0,42	70	30
Lempung organic	1,60	0,50	4,40	0,70	81	41

Jika berat volume butiran padat (γ_s) = W_s / V_s (gr/cm^3), maka perbandingan antara berat volume butiran padat (γs) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur tertentu adalah berat jenis (*spesific gravity*) :

$$Gs = \frac{\gamma s}{\gamma w} \quad \textbf{[16]}$$

Takahashi menyebutkan bahwa asal terjadinya aliran debris terjadi pada kondisi jenuh, sedangkan pada saat jenuh nilai S = 1, sehingga:

$$e = \omega . Gs \quad \textbf{[17]}$$

sedangkan:

$$C * = \frac{1}{1+e} \quad \textbf{[18]}$$

Sehingga bila nilai e dapat ditentukan akan diperoleh nilai konsentrasi bahan dasarnya (C_*).

2.3 Penentuan Diameter Endapan Aliran Debris

Pasir, krikil, krakal, dan *boulder* merupakan bahan-bahan dasar material yang terdapat pada sungai. Dengan beragam jenis variasi besar butiran sedimen, maka teknik sampling material dasar dengan kedalam 1 meter sesuai standar ASTM.

Sebagai kelanjutannya, tebal air minimum (h_o) yang menginisiasi aliran debris dapat ditentukan, bila kemiringan dasar sungai (θ), berat jenis dasar (γ_s), berat jenis air (γ_w), berat volume kering (γ_d), angka pori (e) dan d_{50} dapat diketahui.

2.4 Hidrograf Satuan Sintetik Gama I

Sri Harto (1993) mengembangkan hidrograf satuan sintetik berdasarkan perilaku hidrologis di 30 DAS di Pulau Jawa. Meskipun hidrograf ini dikembangkan hanya di pulau jawa, ternyata masih relevan untuk digunakan di seluruh daerah lain di Indonesia.

Permasalahan lain yang timbul dari penggunaan hidrograf satuan tersebut ialah diperlukannya data yang baik, yaitu (1) data AWLR, (2) data pengukuran debit, (3) data hujan harian dan (4) data dengan durasi per jam. Kerumitan selanjutnya disebabkan untuk menginventarisasi data yang tersedia. Untuk mengatasi hal ini maka dikembangkan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf-

satuan tanpa mempergunakan data tersebut atau yang lebih dikenal dengan hidrograf satuan sintetik.

HSS Gama I terdiri dari tiga bagian pokok yaitu, (1) sisi naik (*rising clim*), (2) puncak (*crest*), (3) sisi turun (*recession clim*) yang ditentukan oleh nilai koefisien tampungan (K) yang mengikuti persamaan berikut:

$$Q_t = Q_p\,(e)^{-t/K} \quad \textbf{[19]}$$

dengan:

Q_t = debit pada jam ke t (m^3/d)

Q_p = debit puncak (m^3/d)

t = waktu saat terjadinnya debit puncak (jam)

K = koefisien tampungan (jam)

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam HSS Gama adalah:

1. Waktu puncak HSS Gama I (*TR*)

$$TR = 0{,}43\ \frac{L}{100\ SF}^{3} + 1{,}0665\ SIM + 1{,}2775 \quad \textbf{[20]}$$

2. Debit Puncak Banjir (*QP*)

$$QP = 0{,}1836\ A^{0.5886}\ TR^{-0{,}4008}\ JN^{0.2381} \quad \textbf{[21]}$$

3. Waktu dasar (*TB*)

$$TB = 27{,}4132\ TR^{0{,}1457}\ S^{-0{,}0986}\ RUA^{0{,}2574} \quad \textbf{[22]}$$

4. Koefisien resesi (*K*)

$$K = 0{,}5617\ A^{0{,}1789}\ S^{-0{,}1446}\ SF^{-1{,}0897}\ D^{0{,}0452} \quad \textbf{[23]}$$

5. Aliran dasar (*QB*)

$$QB = 0{,}4175\ A^{0{,}6444}\ D^{0{,}9430} \quad \textbf{[24]}$$

dimana:

A = luas das (km^2),

L = panjang sungai utama (km),

S = kemiringan sungai,

SF = faktor sumber, perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai semua tingkat,

SN = frekuensi sumber, perbandingan antara jumlah pangsa sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat,

WF = faktor lebar, perbandingan antara DAS yang diukur dari titik sungai yang berjarak 0,75L dengan lebar DAS yang diukur dari di sungai yang berjarak 0,25L dari stasiun hidrometri,

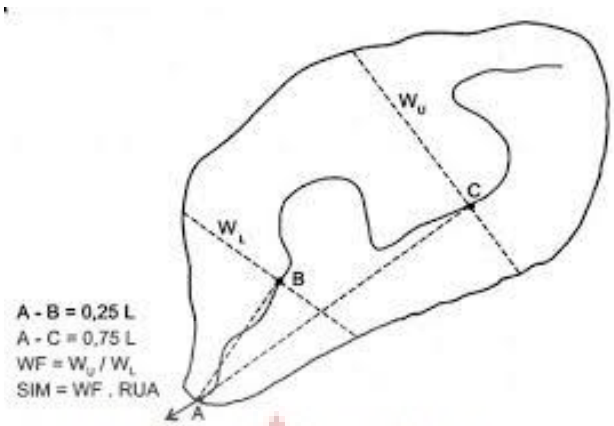
JN = jumlah pertemuan sungai,

SIM = faktor simetri, hasil perkalian antara WF dengan luas DAS di sebelah hulu (RUA),

RUA = luas DAS sebelah hulu, perbandingan antara luas DAS yang diukur dari di hulu garis yang ditarik tegal lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS melalui titik tersebut,

D = kerapatan jaringan kuras, jumlah pajang sungai semua tingkat tiap satuan DAS,

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Gambar 2.3 Sketsa penetapan WF. (sumber: Triatmodjo. Hidrologi Terapan. 2008)

Gambar 2.4 Sketsa penetapan RUA. (sumber: Triatmodjo. Hidrologi Terapan. 2008)

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Penetapan tingkatan-tingkatan sungai dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Sunngai-sungai yang berada di paling ujung adalah sungai-sungai tingkat satu.

2. Apabila dua buah sungai dengan tingkat yang sama bertemu akan terbentuk sungai dengan satu tingkat lebih tinggi.
3. Apabila sebuah sungai bertemu dengan tingkat yang lebih rendah, maka tidak ada kenaikan pada tingkat sungai. Hal ini dapat disaksikan dalam Gambar 2.5.

Gambar 2.5 Sketsa penetapan tingkatan sungai. (sumber: http://pengertian-definisi.blogspot.co.id/2011/09/pola-pengaliran-dan-penyimpanan-air-das.html)

Penetapan parameter-parameter yang disebutkan diatas dapat dilakukan dengan mudah, namun memelukan ketelitian, kesabaran dan peta yang digunakan menggunakan skala 1 : 25.000. Oleh karena itu, pengukuran paling tidak dilakukan minimal tiga kali untuk mendapatkan estimasi pengukuran yang lebih baik.

Selanjutnya persamaan tambahan yang terkait dengan HSS Gama I adalah indeks infiltrasi (Φ indeks). Besarnya Φ indeks didapat dengan persamaan berikut ini:

$$\Phi = 10{,}4903 - 3{,}859.10^{-6}\,A^2 + 1{,}6985.10^{-13}\,\frac{A}{SN}^{4} \qquad \textbf{[25]}$$

dengan:

Φ indeks = indeks infiltrasi (mm/jam)

Memperhatikan cara-cara diatas maka dapat dilihat bahwa hidrograf satuan yang diturunkan dengan cara tersebut hanya berlaku untuk kedalaman hujan tertentu, atau untuk hujan dengan intensitas tertentu, atau untuk satuan waktu tertentu. Khusus untuk hidrograf satuan Gama I, kedalam hujan yang dipergunakan adalah 1 mm/jam dan berlaku untuk luas DAS maksimum 3250 kilometer.

Debit puncak bisa didapatkan dilacak melalui hasil perhitungan *Unit Hydrograph*. Kemudian untuk mencari harga kedalaman air bisa diperoleh dari debit puncak (Q_p) pada suatu sistem DAS. Debit (Q) pada penampang suatu saluran untuk aliran dinyatakan dengan:

$$Q = V\,A \qquad \textbf{[26]}$$

dengan:

$$V = \frac{1}{n}\,R^{2/3}\,S^{1/2} \qquad \textbf{[27]}$$

dimana:

n = koefisien kekasaran manning,

R = jari-jari hidraulik (m),

S = kemiringan saluran,

A = luas penampang saluran,

Suharyono dalam tesis Mukhlisin (1998) menjabarkan untuk mengetahui terjadinya aliran lahar di daerah Gunung Merapi dilakukan analisis secara grafis terhadap hubungan antara intensitas hujan, hujan kumulatif, dan saat terjadinya lahar, mengacu pada Buku Pedoman Curah Hujan Kritik Untuk Peringatan Dini dan

Perintah Pengungsian Akan Terjadinya Lahar yang diterbitkan oleh Departemen Pekerja Umum Jepang, dimana untuk perhitungan parameter hujan menggunakan persamaan berikut:

$$RWA = \sum_{t=1}^{t=7} \alpha \; t \; dt \qquad \textbf{[28]}$$

dengan:

RWA = curah hujan anteseden (mm),

α = koefisien reduksi,

= $0{,}5^{(t/T)}$

t = waktu (hari),

d = tebal curah hujan 24 jam pada hari ke t,

T = 0,5 (hari).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Data yang diperoleh melalui hasil eksperimen laboratorium, kemudian hasil analisa bentuk grafik dan pembahasan dapat disimpulkan kedalam beberapa poin berikut ini:

- Intensitas hujan maksimum lebih dari 33 mm/jam dapat menginisiasi aliran debris di Kali Putih. Persentase eskalasi dan resesi perhitugan Persamaan Takahashi masing-masing titik adalah: PU – D2 2 sebesar 1,42%, PU – D2 1 sebesar 4,02%, PU – D1 3 sebesar -14,68%, PU – D1 2 sebesar 3,61%, PU – D1 1 sebesar 4,64%, PU – C10 3 sebesar 123,04%, PU – C10 2 sebesar 11,78%, PU – C10 1 sebesar 13,69%.
- Titik awal inisiasi aliran debris yakni pada alur sungai yang memiliki kemiringan dasar minimum 8 derajat dan memerlukan kedalaman air minimum 0,031 m.
- Kemiringan dasar sungai (θ) dan kedalaman air (h_o) merupakan variabel yang berpengaruh besar terhadap Persamaan Takahashi untuk memprediksi kejadian aliran debris.
- Curah hujan anteseden memiliki pengaruh dominan terhadap inisiasi aliran debris. Akan tetapi tidak dapat digunakan sebagai parameter untuk memprediksi kejadian aliran debris.
- Siklus hujan intensitas tinggi yang memicu aliran debris terjadi pada bulan Desember hingga bulan Maret. Sistem pantau disarankan berada

pada bangunan sabo PU – C10. Karena hasil analisa penerapan Persamaan Takahashi merupakan yang tertinggi dan diduga sebagai tempat dimulainya aliran debris.

5.2 Saran

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perubahan lebar pada luas tampang dan kontur alur sungai yang diprediksi sebagai titik awal inisiasi aliran debris.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut tentang analisis butrian atau diameter yang mewakili dengan volume 1 m^3 endapan deposit.
3. Dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membangkitkan data debit puncak menggunakan HSS selain Gama I.
4. Dalam satu DPS diharapkan memiliki minimal dua sistem pantau/kamera CCTV untuk mendeteksi inisiasi debris flow.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR PUSTAKA

Afriani, L. (2014). *Kuat Geser Tanah.* Yogyakarta: Graha Ilmu.

BNPB. (2011). *Rencana Aksi Rehabilitasi dan Rekonstruksi Wilayah Pasca Bencana Erupsi Gunung Merapi di Provinsi D.I. Yogyakarta dan Jawa Tengah Tahun 2011-2013.* Indonesia: Kementerian Negara Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.

Chow, V. T. (1958). *Open Channel Hydraulics.* McGraw: Hill, Inc.

Kurniadhi, K., & Dkk. (2013). *Laporan Mekanika Tanah dan Praktik.* Semarang.

Lavigne, F., Thouret, J. C., Voight, B., Suwa, H., & Sumaryono, A. (2000). Lahar at Merapi Volcano: an overview, In: Voight B (ed.), Merapi Volcano, Central Java. *Journal of Volcanology and Gheothermal Research 100*, 423-456.

Legono, D. (2016). Global and Local I-D Rainfall Threshold for Indonesian Sediment-Related Disaster. *Multimodal Sedimen Disaster Workshop.* University of Tsukuba, Japan.

Mukhlisin, M. (1998). Pengaruh Curah Hujan Terhadap Debris Flow. In *Thesis Program Universitas Gajah Mada.*

Mukhlisin, M., Kosugi, K., & Mizuyama, T. (2005). Temporal and Spatial Variations in The Probability of Debris Flow Initiation in Volcanic Watershedes: Boyong River Indonesia and Nojiri River Japan. In M.

Mukhlisin, *Model for Analysis of Slope Filure Initiation adn Debris Flow Run-out* (pp. 9-38). Kyoto: Lambert Academic Publishing.

Sagita, A. F., & Widiyanto. (2012). Penilaian Tingkat Bahaya Lahar Hujan Di Sungai Code. *Jurnal Bumi Indonesia*, 252-260.

Santoso, D. (1999). *Volkanofisik.* Bandung: PT Astra Graphia.

Soemarto. (1987). *Hidrologi Teknik.* Surabaya: Usaha Nasional.

Takahashi, T. (1991). *Lahar Flow - Monograph.* Rotterdam: AA Balkema.

Takahashi, T. (2007). *Debris Flow Mechanics, Prediction and Countermeasures.* London: Taylor & Francis.

Tim Laboratorium. (2008). *Buku Panduan Praktikum Mekanika Tanah I dan II.* Yogyakarta.

Triatmodjo, B. (2003). *Hidraulika II.* Yogyakarta: Beta Offset.

Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan.* Yogyakarta: Beta Offset.

Wardoyo, W. (2014). Karakteristika Inisiasi Aliran Lahar Terpicu Di Sungai Vulkanik. In *Doctoral Program Universitas Gadjah Mada.*

Yuan, C. C., Chien, C. T., Chieh, Y. F., Hui, Y. W., & Chieh, T. C. (2005). Rainfall Duration And Debris-Flow Initiated Studies For Real-Time Monitoring. *Springer-Verlag Environ Geol, DOI 10.1007/s00254-004-123-0*, 715-724.