PENGARUH INTENSITAS HUJAN TERHADAP KECEPATAN DAN TINGGI BANJIR LAHAR BERDASAR PEMODELAN SIMLAR 2.1

INFLUENCE OF RAINFALL INTENSITY TO LAHAR FLOOD VELOCITY AND HEIGTH BASED ON SIMLAR 2.1 MODELLING

Rokhmat Hidayat[1)] Akhyar Musthofa[1)] Perdi Bahri[1)]

[1)]Balai Litbang Sabo Puslitbang SDA Kementerian PUPR
Jl. Sopalan. Sleman. Yogyakarta
Email: rokhmathidayat33@gmail.com

ABSTRAK

Jumlah sebaran gunungapi aktif yang banyak menjadikan Indonesia sebagai negara yang rentan terhadap bencana banjir lahar. Walaupun banjir lahar termasuk bencana sekunder dari erupsi gunungapi, tapi memilki dampak yang besar ditinjau dari aspek lingkungan, sosial, ekonomi, infrastrukur hingga korban jiwa. Sebagai contoh kejadian bencana banjir lahar yang dipicu oleh curah hujan yang tinggi adalah di Kali Putih Magelang pada tanggal 24 Januari 2011. Penelitian ini membahas pengaruh curah hujan terhadap kecepatan aliran lahar dan tinggi aliran lahar. Lokasi penelitian adalah Kali Putih yang berada di lereng bagian barat Gunungapi Merapi, Magelang, Jawa Tengah. Analisis dilakukan dengan menggunakan model numerik dengan perangkat lunak SIMLAR 2.1. Pemodelan dilakukan dengan beberapa skenario, yaitu intensitas hujan 60mm/jam, 70mm/jam, 80mm/jam, 90mm/jam, 100mm/jam. Kecepatan aliran lahar hasil pemodelan divalidasi menggunakan data kecepatan aliran lahar hasil pengukuran lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas hujan berbanding lurus dengan kecepatan aliran lahar dan tinggi aliran lahar. Semakin besar intensitas hujan maka semakin besar kecepatan aliran lahar dan tinggi alirannya. Selain itu hasil pemodelan juga menunjukkan kecepatan aliran lahar yang paling besar terjadi pada hujan 100 mm/jam dengan kecepatan aliran lahar sebesar 2,88 m/det dan mempunyai deviasi sebesar 17,71% dibandingkan dari hasil observasi yang telah dilakukan sebelumnya. Tinggi aliran lahar mengalami peningkatan rata-rata sebesar 24,31% dengan meningkatnya curah hujan sebesar 10 mm/jam.

Kata Kunci *: Gunungapi, aliran lahar, SIMLAR 2.1, kecepatan aliran, tinggi aliran*

ABSTRACT

Large amount of active volcanoes distribution makes Indonesia a country vulnerable to lahar flow. Although lahar flow is categorized under volcanic eruption secondary disaster, it has large impacts in environmental, social, economic, infrastructure and casualties. For example, the incident of lahar flow disaster triggered by high rainfall was occurred in Putih River Magelang, on 24th January 201 . This study discusses the effect of rainfall intensity on lahar flow velocity and height. This study was carried out using a numerical model, SIMLAR 2.1, in Putih River, located on western slopes of Merapi Volcano, Magelang, Central Java. Modeling was performed by using several rain intensity scenarios, i.e. 60mm/hour, 70mm/hour, 80mm/hour, 90mm/hour and 100mm/hour. The velocity of lahar flow simulated by the model was validated using lahar flow velocity data from field measurement. The results showed that rainfall intensity has linear correlation with lahar flow velocity and height. Higher rainfall intensity results in higher lahar flow velocity and height. In addition, the modelling result also showed that the largest lahar flow velocity (2,88m/s) occurred when the rainfall was 100mm/hour and has a deviation of 17.71% compared to previous observations. In average, lahar height in the River increases around 24.31% when the rainfall increases 10 mm/hour.

Keywords *: Volcanoes, lahar flow, SIMLAR 2.1, flow velocity, lahar height*

PENDAHULUAN

Di Indonesia terdapat 128 gunungapi aktif yang tersebar dari Sabang hingga Merauke, dan mayoritas diantaranya menunjukkan aktivitas erupsi sejak 100 tahun terakhir (Mulyaningsih, 2015). Erupsi Gunungapi Merapi 2010 menimbulkan bencana primer maupun skunder. Bencana primer terkait langsung dengan erupsi, sementara bencana sekunder terkait dengan banjir lahar. Erupsi Merapi 2010 mengeluarkan material letusan sebanyak 150 juta m3. Besarnya volume endapan material erupsi Gunung Merapi pada lereng-lereng Merapi, maka bahaya banjir lahar akan semakin meningkat. Hujan dengan intensitas tinggi berpotensi menyebabkan aliran lahar yang dapat membahayakan masyarakat yang beraktivitas di bantaran sungai-sungai yang berhulu di Puncak Gunung Merapi (Badan Geologi, 2010). Besarnya potensi material piroklastik yang masih menumpuk mengancam penduduk yang berada di kawasan Gunung Merapi, berupa Banjir Lahar bila material tersebut tersapu oleh aliran hujan.

Banjir lahar secara umum terbentuk oleh tiga faktor, yang pertama adanya endapan material-material sisa erupsi pembentuk aliran lahar di hulu sungai, intensitas hujan tinggi, dan grafitasi (Kusumosubroto, 2013). Meskipun bercampur dengan fragmen batuan aliran lahar memiliki kecepatan aliran lebih deras dibanding dengan aliran biasa, dimana kecepatan aliran lahar dapat mencapai kecepatan 65 km/jam, dan dapat mengalir dengan kecepatan tinggi hingga mencapai jarak hingga 80 km (Daryono, 2011). Dampak yang diakibatkan aliran lahar yaitu antara lain aspek sosial, ekonomi dan lingkungan (Giyarsih dan Gamayanti, 2014).

Kali Putih adalah sungai yang paling banyak dialiri oleh material Gunungapi Merapi setiap kali erupsi. Banjir lahar Gunungapi Merapi ini merusak permukiman yang ada disekitarnya. Pada peristiwa erupsi Gunungapi Merapi yang terjadi pada tahun 2010, tidak semua sungai yang berhulu di Gunungapi Merapi mengalami banjir lahar, sungai yang paling parah terkena dampak dari aliran lahar hujan adalah Kali Putih. Mitigasi bencana sangat diperlukan terutama bagi daerah-daerah yang sudah pasti diketahui rawan terhadap bencana alam. Selain untuk mengindari jatuhnya korban jiwa dan kerusakan sarana prasana yang lebih banyak, mitigasi bencana dimaksudkan agar daerah-daerah rawan bencana tersebut dapat siap siaga terhadap bencana jika sewaktu-waktu bencana yang ada tiba-tiba terjadi (Shinta, 2015). Banjir lahar di Kali Putih pada 2011 menyebabkan putusnya jalan nasional yang menghubungkan Jogja – Magelang, Gambar 1.

Penelitian ini bertujuan untuk menyusun pemodelan banjir lahar yang akan berlangsung berdasarkan curah hujan. Pemodelan banjir lahar ini meliputi penyebaran horizontal, tinggi, dan kecepatan aliran. Input data untuk pemodelan banjir lahar meliputi data karakteristik sedimen, data DEM (*digital elevation model*), hidrograf banjir, dan data hujan. Hasil pemodelan banjir lahar ini diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan dan upaya penanggulangan banjir lahar yang lebih cepat dan tepat.

TINJAUAN PUSTAKA

Ada beberapa faktor yang menyebabkan dahsyatnya banjir lahar di kawasan barat Merapi, di antaranya adalah karakteristik endapan material vulkanik di sisi barat Merapi yang lebih ringan dan tingginya intensitas curah hujan di kawasan Merapi. Dampak dari dominasi aliran hujan abu ke arah barat ini menyebabkan di kawasan barat Merapi lebih banyak menyimpan material piroklastik ringan hasil letusan yang berarah vertikal seperti material abu, pasir dan kerikil. Berbeda dari kondisi endapan material di kawasan barat Merapi, maka karakteristik material yang terendapkan di kawasan selatan Merapi relatif lebih berat. Ini disebabkan karena endapan material erupsi kawasan selatan Merapi lebih banyak dikontrol oleh tumpahan material piroklastik berukuran lebih besar seperti pasir, kerikil, kerakal, dan bongkahan batu besar (Daryono, 2011).

Sumber: Tempo.co

Gambar 1 Korban Banjir Lahar di Kali Putih

Salah satu metode mitigasi bencana aliran lahar yaitu mitigasi bencana lahar dengan menggunakan pemodelan SIMLAR 2.1. Pemodelan banjir lahar dengan SIMLAR 2.1 dapat menggambarkan penyebaran banjir lahar secara horisontal maupun vertikal (ketinggian banjir lahar). SIMLAR juga dapat memodelkan kecepatan banjir lahar. Input data yang diperlukan untuk pemodelan banjir lahar meliputi data karakteristik sedimen, data DEM, hidrograf banjir, dan data hujan (Hardjosuwarno dkk, 2012).

Metode pengujian dan analisis banjir lahar dengan metode pemodelan numerik telah banyak dilakukan, antara lain pemodelan resiko bencana lahar (Hidayat dan Rudiarto, 2013), pemodelan genangan lahar (Sanghyun dkk, 2013), pemodelan volume lahar (Ramadhan, 2016) pemodelan kecepatan aliran lahar (Musthofa, 2015), mitigasi banjir (Markowska, 2012), dan sedimentasi (Ikhsan, 2014).

Bates & Jackson (1987) mendefinisikan lahar sebagai aliran lumpur terutama terjadi dari material vulkaniklastik pada lereng gunungapi. Fragmen-fragmen yang terbawa meliputi piroklastik, tanah dan lava tercampur dengan air hujan atau air danau kawah yang tercurah selama ledakan. Lahar terjadi mengikuti turunnya hujan lebat dan alirannya melalui lembah-lembah dan daerah rendah. Lahar dapat pula terjadi pada waktu letusan dengan tumpahnya danau kawah atau mencairnya salju di puncak gunungapi. Lahar mempunyai berat jenis antara 2– 2,5 gr/cc dan dapat menempuh kecepatan sekitar 40 – 60 km/jam sehingga jika mengalir sangat berbahaya, mampu menyeret bermacam-macam ukuran batuan, mampu merusak segala sesuatu baik itu batuan atau bangunan ataupun kawasan yang di lewatinya (Sumintaredja, 2000).

Hidrograf banjir didapatkan dengan menggunakan hidrograf banjir satuan sintetik Nakayasu. Hujan efektif diperhitungkan dengan menganalisis besaran hujan yang terinfiltarasi dengan menggunakan persamaan ϕ-indeks Gama I (Harto, 1993) di bawah ini.

$$\phi = 10{,}49 - 3{,}85\times10^{-6} - A^{2} + 1{,}69\times10^{-13}\times\left(\frac{A}{SN}\right)^{4}$$

.....(1)

dimana, A; merupakan luas DAS (km^2),

SN; merupakan frekuensi sumber.

Hasil analisis besaran hujan yang terinfiltrasi kemudian dijadikan masukan data hidrograf banjir. Metode Hidrograf banjir yang digunakan yaitu hidrograf satuan sintetis nakayasu. Hidrograf banjir tersebut direncanakan dengan waktu 15 menit tiap ordinat hidrografnya. Aliran debris dapat diasumsikan sebagai aliran horizontal dua-dimensi, atas hal tersebut arah y yang berupa arah vertikal dari persamaan *Navier-Strokes* menunjukkan persamaan differensial sebagai berikut. Persamaan momentum diferensial ditunjukkan pada persamaan 2 (Takahashi 2007).

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \quad \text{.....(2)}$$

Persamaan momentum arah x dana arah y ditunjukkan pada persamaan 3 dan 4 dibawah ini.

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \beta\frac{\partial(uN)}{\partial x} + \beta\frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gH\frac{\partial H}{\partial x} - \tau_{bx} \quad \text{.....(3)}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \beta\frac{\partial(uM)}{\partial x} + \beta\frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gH\frac{\partial H}{\partial y} - \tau_{by} \quad \text{.....(4)}$$

Ket, *h;* tinggi aliran (m),

H; jarak vertikal dari titk referensi (m),

M, N debit aliran debris pada arah *x* dan *y* (m^2/det)

τ_b ; tegangan geser dasar dalam arah *x* dan *y*.

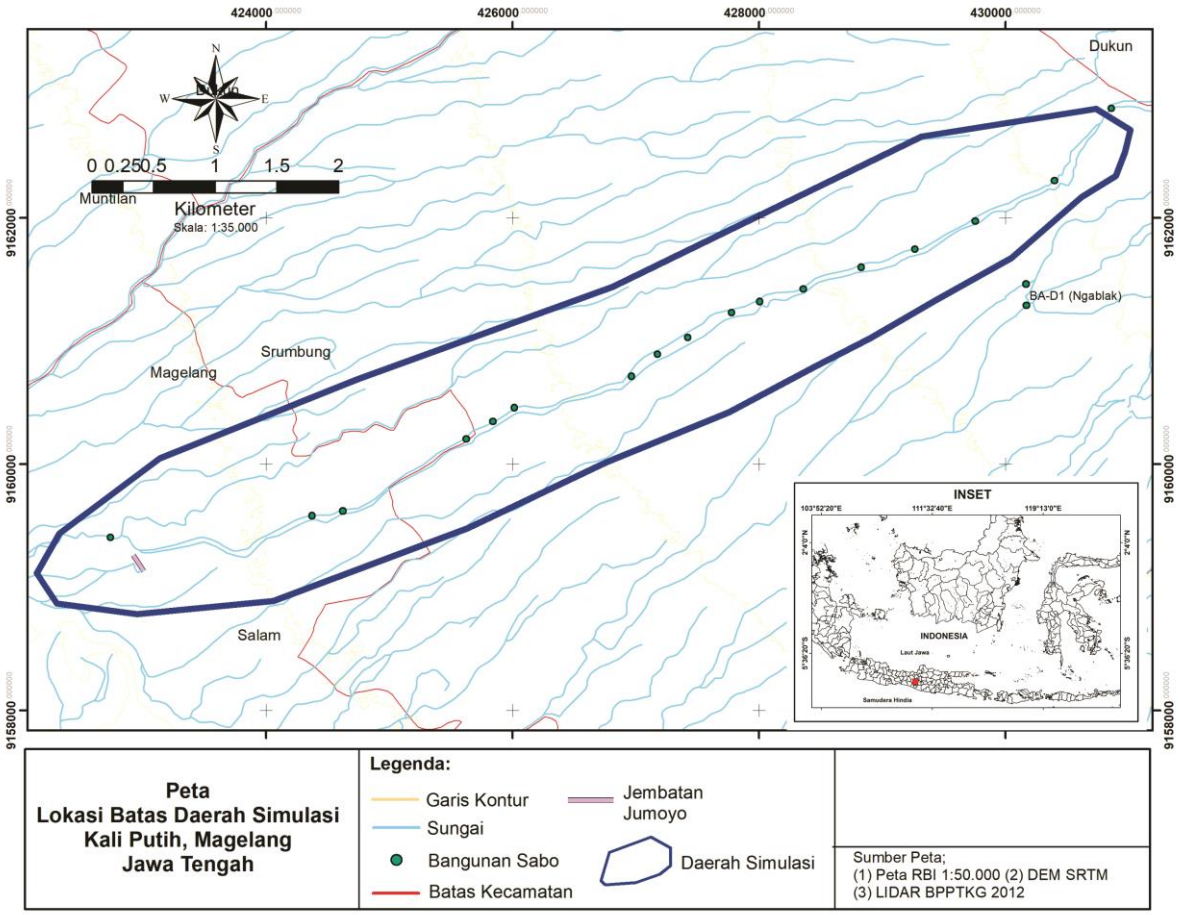
Berikut persamaan massa material dasar ditunjukkan pada persamaan 5 berikut ini.

$$c * \frac{\partial z_b}{\partial t} + \left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y}\right) = 0 \quad \text{.....(5)}$$

Ket, *c* adalah konsentrasi material dasar volume q_{bx}

$q_{by.}$ adalah debit sedimen dasar per unit.

Debit sedimen dapat dihitung dari nilai *N* dan *M* atau menggunakan persamaan angkutan sedimen dasar. Erosi lereng diperhitungkan dengan menerapkan persamaan Ashida, Egashira dan Kamamoto dan Angkutan sedimen diperhitungkan dengan menggunakan persamaan Ashida, Takahashi dan Mizuyama (Takahashi 2007).



Gambar 2 Lokasi Penelitian

Peta topografi yang berupa peta DEM

Data topografi merupakan salah satu data yang mempengaruhi ketelitian hasil simulasi. Atas hal tersebut diperlukan data DEM dengan resolusi spasial maksimal 30 m. Ketelitian hasil simulasi akan lebih baik ketika simulasi menggunakan data DEM dengan resolusi spasial 5-10 m. Untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih baik, dalam penelitian ini menggunakan data DEM dengan resolusi spasial 5m dari citra Lidar (*Light Detection Radar*).

Perlu diperhatikan alur sungai pada DEM dengan sungai di lapangan belum tentu sama persis. Atas hal tersebut perlu cek alur sungai DEM dan alur sungai yang ada di lapangan apakah sesuai atau tidak. Apabila tidak sesuai maka perlu dilakukan modifikasi peta DEM. Modifikasi peta DEM dapat menggunakan perangkat lunak sistem informasi geografi (SIG).

SIMLAR memiliki batas simulasi sebesar 400 grid spasial arah horizontal (x) dan 2000 arah vertikal (y) Sebagai catatan semakin besar resolusi akan memperpanjang durasi proses *running* simulasi dan memperkecil luasan batas daerah simulasi.

Hidrograf banjir

SIMLAR menginterpretasikan hasil simulasi berdasarkan ordinat hidrograf banjir debit berbanding waktu. Hidrograf banjir dapat dimasukan dengan menggunakan fitur hitungan hidrograf yang tersedia di SIMLAR. Hidrograf banjir tersebut dianalisa menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Gambar 3). Atau pengguna dapat pula memasukkan data hidrograf banjir manual langsung. Parameter koefisien HSS Nakayasu yaitu panjang sungai: 8.6 Km, luas DAS: 7.71 km^2, TP: 1.52 jam, dan T0.3: 1.9 Jam.

Gambar 3 menunjukkan hidrograf banjir dengan berbagai variasi hujan. Debit banjir meningkat berbanding lurus dengan peningkatan intesitas hujan yang terjadi. Intensitas hujan 60 mm/jam memiliki debit puncak sebesar 40,44 m^3/detik, Intensitas hujan 70 mm/jam memiliki debit puncak sebesar 48,59 m^3/detik, . Intensitas hujan 80 mm/jam memiliki debit puncak sebesar 56,76 m^3/detik, . Intensitas hujan 90 mm/jam memiliki debit puncak sebesar 64,92 m^3/detik

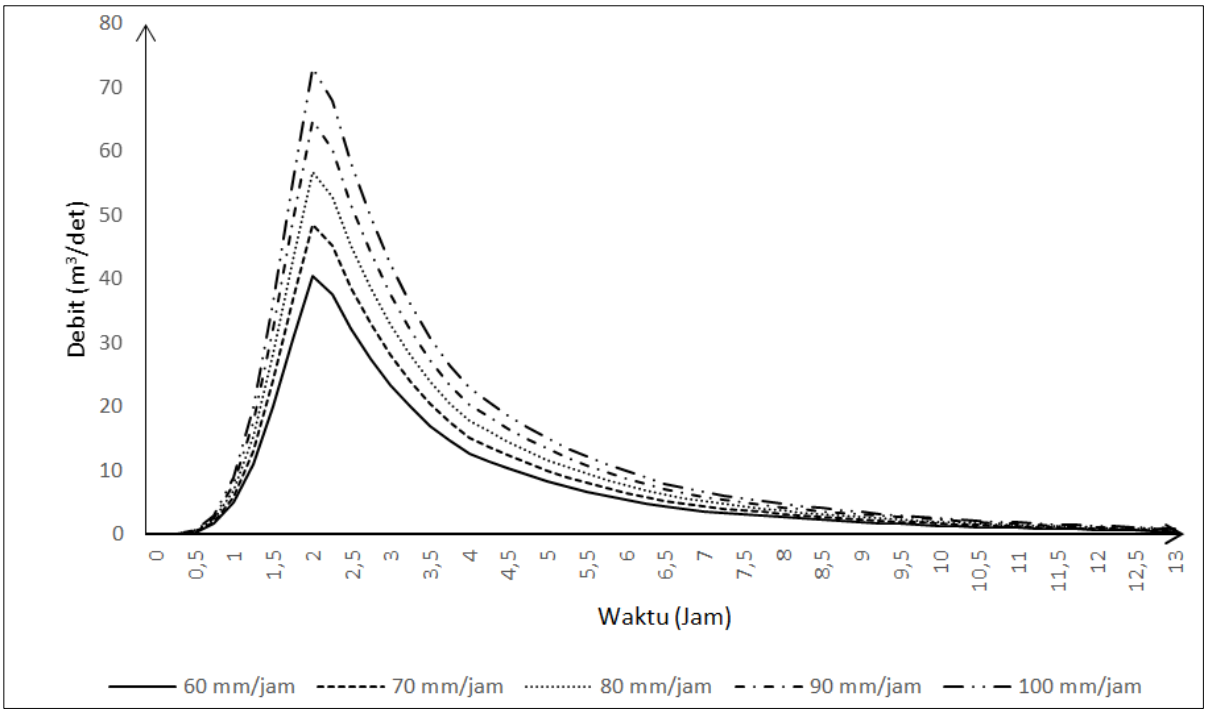
dan intensitas hujan 100 mm/jam memiliki debit puncak sebesar 73,09 m^3/detik. Diagram alir peneletian ditunjukkan pada Gambar 4.

Data karakteristik sedimen

Berupa data karakteristik sumber sedimen. Dalam pengolahanya diperlukan data-data yang mendukung karakteristik sedimen antara lain. Volume potensi sedimen kemudian distribusi gradasi butiran sedimen. Pengambilan sampel tanah dapat dilakukan pada bagian hulu yang merupakan daerah zona produksi sedimen. Karakteristik sumber sedimen yang digunakan yaitu berat jenis deposit sedimen: 1800 Kg/m^3, estimasi sumber sedimen: 300.000 m^3, densitas air lumpur: 1,38 g/cm^3, densitas sedimen: 1,80 g/cm^3, dan gradasi Butiran. Untuk karakteristik distribusi ukuran butir dapat dilihat pada Tabel 1.

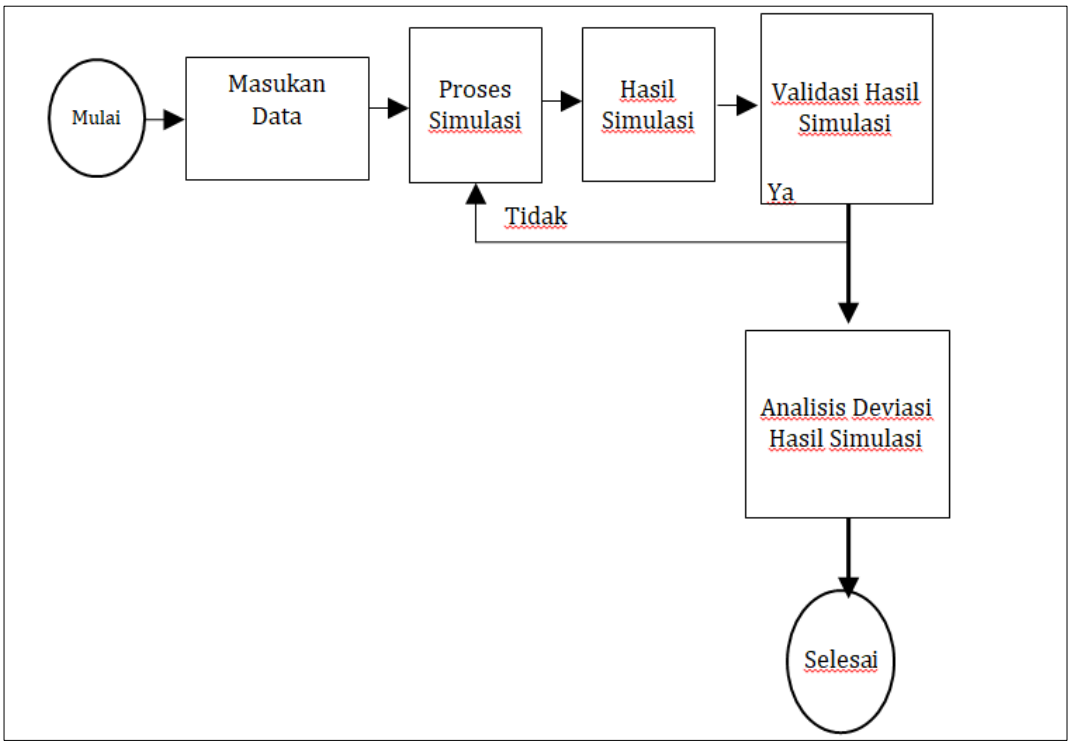
Tabel 1 Distribusi ukuran butir

Nilai tengah diameter butiran (mm)	Komposisi (%)	
	Material Sumber Sedimen	Material Dasar Sungai
0,30	40%	34%
0,12	27%	33%
1,2	33%	33%



Sumber: Nakayasu

Gambar 3 Hidrograf Banjir Metode Nakayasu dengan Berbagai Variasi Hujan



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

METODOLOGI

Studi ini dimulai dengan pengumpulan data-data yang diperlukan untuk pemodelan banjir lahar (lihat sub bab data). Setelah data yang diperlukan didapat, simulasi banjir lahar di Kali Putih dilakukan dengan menggunakan pemodelan numerik SIMLAR 2.1. Pemodelan banjir lahar dilakukan dengan lima skenario intensitas, yaitu hujan 60 mm, 70 mm, 80 mm, 90 mm dan 100 mm. Masing-masing hujan tersebut berdurasi 1 jam. Daerah pemodelan dimulai dari Bangunan Sabo PU-D2 hingga Bangunan Sabo PU-C2, sepanjang 8,42 km.

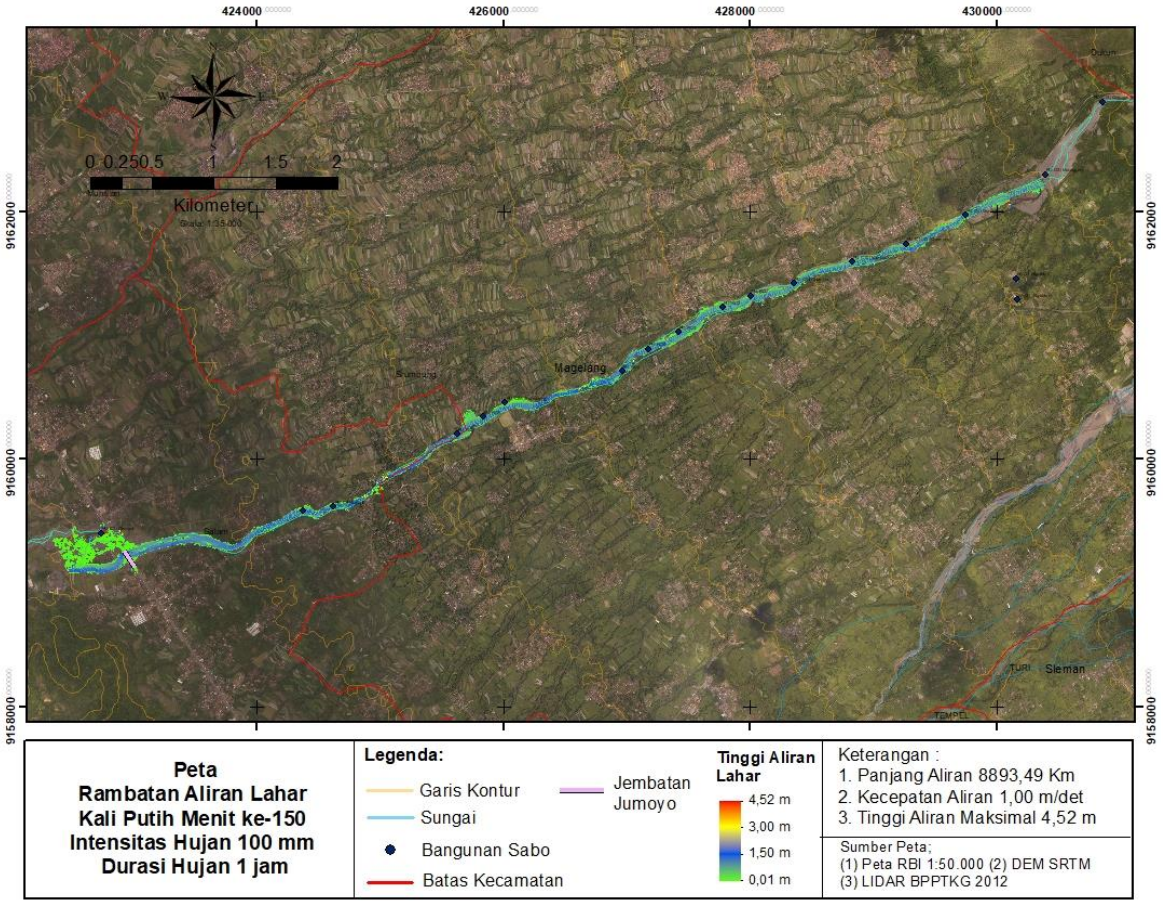
Hasil kecepatan lahar hasil simulasi masing-masing intensitas hujan dibandingkan satu sama lain untuk mendapatkan deviasi kecepatan aliran lahar. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil analisis pemodelan dengan data observasi yang didapatkan dari penelitian sebelumnya. Data tersebut berupa kecepatan aliran lahar yang diukur menggunakan perangkat pendeteksi getaran *Geophone*.

Dalam melakukan pemodelan numerik diperlukan pengukuran tingkat kesalahan error yang terjadi untuk mengukur ketelitian hasil pemodelan tersebut. Pada kajian ini untuk mengukur tingkat kesalahan hasil pemodelan diukur dengan menggunakan metode kesalahan relatif. Pengukuran tingkat kesalah dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemodelan dapat menampilkan sebaran aliran lahar secara spasial, tinggi banjir lahar, dan dapat menampilkan kecepatan banjir lahar. Contoh pemodelan banjir lahar pada Kaliputih dapat dilihat pada Gambar 5. Dari gambar 5 dapat dilihat sebaran banjir lahar dan kedalaman banjir. Tinggi banjir lahar ditunjukkan oleh simbol warna pada area yang mengalami banjir. Lokasi-lokasi dengan kedalaman banjir yang tinggi mayoritas berada di tengah sungai.

Program similar dapat memberikan gambaran luas rambatan dan ketinggian banjir lahar. Hasil kajian menunjukkan semakin besar intensitas hujan yang terjadi, maka semakin luas rambatan banjir lahar yang terjadi. Hasil pemodelan peta rambatan aliran banjir lahar hasil pemodelan dengan hujan 100mm/jam pada menit ke 150 ditunjukkan pada Gambar 5.



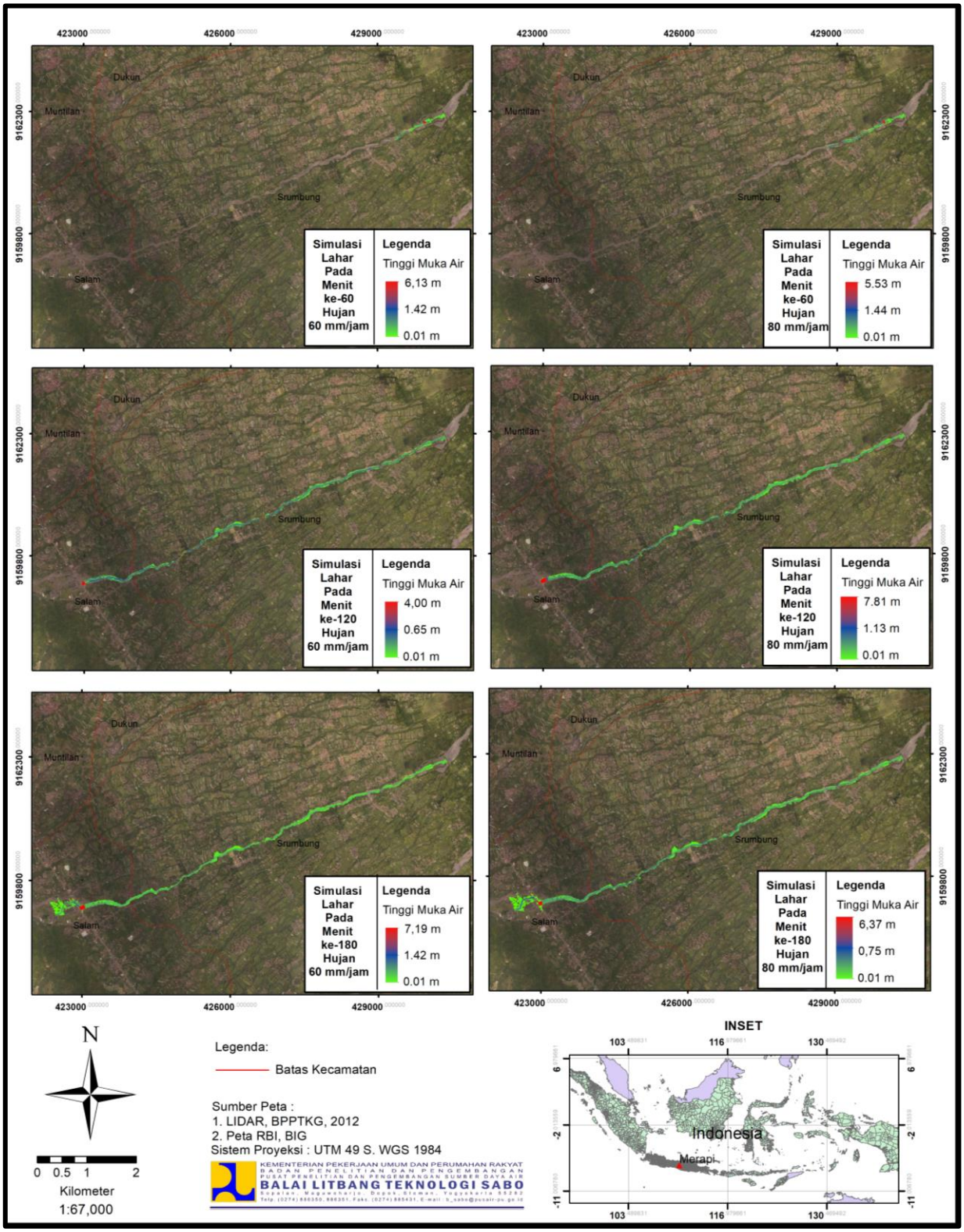
Gambar 5 Sebaran Rambatan Aliran Lahar Hasil Simulasi dengan Intensitas Hujan 100 mm/jam Menit Ke-150

Tinggi Aliran Lahar

Salah satu hasil dari pemodelan menggunakan perangkat lunak SIMLAR yaitu tinggi aliran banjir lahar. Data tinggi aliran banjir lahar yang diambil yaitu aliran lahar dengan curah hujan 60-100mm/jam pada tinggi puncak. Hasil simulasi menunjukkan semakin tinggi intensitas hujan mengakibatkan tinggi aliran meningkat (lihat Gambar 6). Selain tinggi banjir lahar, intensitas hujan juga berpengaruh terhadap kecepatan penyebaran banjir. Hasil pemodelan tinggi banjir lahar berdasar intensitas hujan dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil tersebut merupakan tinggi aliran maksimal yang terjadi pada masing-masing hujan hasil simulasi. Kenaikan tinggi banjir lahar memiliki perbedaan yang sangat signifkan terjadi pada hujan 60 mm ke 70 mm dimana kenaikan tinggi muka aliran lahar terjadi sebesar 2,59 m. Selain itu perubahan kenaikan TMA antara hujan 90 mm ke 100 mm tidak terlalu signifikan, dimana kenaikan aliran hanya sebesar 0,11 m. Tinggi aliran lahar antara intensitas hujan mengalami peningkatan rata-rata sebesar 24,31%.

Kecepatan Aliran Lahar

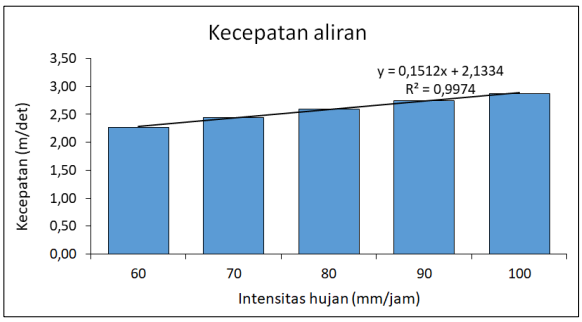
Hasil pemodelan menunjukkan bahwa, intensitas hujan mempengaruhi besarnya kecepatan aliran lahar. Hasil pemodelan banjir lahar berdasar masing-masing intensitas hujan ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 7. Tabel 1 menunjukkan nilai tinggi banjir lahar dan kecepatan aliran lahar berdasarkan intensitas hujan hasil pemodelan SIMLAR. Terdapat pengaruh signifikan antara intensitas hujan terhadap kecepatan aliran lahar. Gambar 7 merupakan grafik hubungan antara kecepatan aliran lahar dengan nilai intensitas hujan. Kenaikan nilai intensitas hujan berpengaruh linier terhadap nilai kecepatan aliran lahar.



Gambar 6 Peta Sebaran Aliran Lahar Hasil Pemodelan Aliran Lahar pada Kali Putih Akibat Hujan 60 mm/jam (Kiri), dan 80mm/jam (kanan), pada Menit ke 60, 120, dan 120.

Tabel 2 Hubungan Intensitas Hujan Terhadap Tinggi dan Kecepatan Aliran Lahar

Intensitas hujan (mm/jam)	Tinggi Banjir (m)	Kecepatan Banjir (m/detik)
60	3,99	2,27
70	6,58	2,44
80	7,80	2,60
90	8,46	2,74
100	8,91	2,80



Gambar 7 Perbandingan Intensitas Hujan Terhadap Kecepatan Lahar

Besaran kecepatan lahar dipengaruhi oleh besarnya intensitas hujan, Tabel 2 dan Gambar 7 menunjukkan peningkatan kecepatan lahar berbanding lurus terhadap besarnya intensitas hujan. Kemudian kecepatan aliran lahar maksimal yang terjadi akibat intensitas hujan 100 mm/jam dan kecepatan aliran lahar yang paling kecil terjadi akibat hujan intensitas 60 mm/jam. Kecepatan aliran meningkat rata-rata 5,74% untuk tiap-tiap intesitas hujan. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan aliran lahar meningkat dengan deviasi yang kecil. Berbanding lurusnya kecepatan aliran lahar dan tinggi intensitas hujan mengakibatkan jarak luncur aliran lahar juga memiliki hubungan linear dengan intensitas hujan.

Validasi

Sulistiyani dkk (2015), telah melakukan penelitian mengukur kecepatan aliran lahar di Kali Putih menggunakan perangkat alat pendeteksi getaran lahar. Perangkat pendeteksi getaran banjir lahar yang digunakan yaitu *Geophone*. Getaran lahar yang dideteksi oleh *Geophone* kemudian dikorelasi silang sehingga mendapatkan kecepatan aliran lahar. Pengukuran dilakukan pada tanggal 2 Maret Tahun 2011. Dari hasil penelitian tersebut di Kali Putih didapatkan kecepatan aliran lahar sebesar 3,50 m/det. Intensitas hujan sebelum banjir lahar terjadi adalah 48,5mm/jam. Nilai intensitas hujan ini sangat berpengaruh terhadap kecepatan banjir lahar. Intensitas hujan berpengaruh terhadap debit aliran lahar, yang selanjutnya berpengaruh terhadap kecepatan aliran lahar.

Hasil penelitian Sulistiyani ini akan dijadikan data observasi sebagai data pembanding kecepatan aliran lahar hasil pemodelan aliran lahar yang dihasilkan oleh perangkat lunak SIMLAR. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa, kecepatan aliran lahar yang dihasilkan pemodelan lahar memiliki deviasi sebesar 52% lebih kecil dibanding hasil observasi yang dilakukan pada tanggal 2 Maret 2011. Hasil pemodelan aliran lahar memiliki kecepatan lebih kecil dibandingkan dari hasil observasi yang mungkin diakibatkan oleh beberapa faktor yaitu data debit dan peta DEM yang tidak sama. Debit banjir yang dimodelkan memiliki nilai lebih kecil. Hal ini dikarenakan keterbatasan data hasil observasi di lapangan dalam hal pengukuran debit banjir. Kemudian, kondisi topografi yang telah berubah mengakibatkan data topografi tidak dapat mendekati kondisi di lapangan sehingga kecepatan lahar observasi dan hasil pemodelan memiliki deviasi.

KESIMPULAN

Program SIMLAR dapat memodelkan banjir lahar secara horizontal (luas banjir lahar) dan vertical (tinggi banjir). Besarnya curah hujan berbanding lurus dengan tinggi aliran lahar. Kenaikan tinggi muka aliran lahar memiliki perbedaan yang sangat signifkan terjadi pada hujan 60 mm ke 70 mm dimana kenaikan tinggi muka aliran lahar terjadi sebesar 2,59 m. Tinggi aliran lahar antara intensitas hujan mengalami peningkatan rata-rata sebesar 24,31%.

Kecepatan aliran lahar memiliki hubungan yang linear dengan intensitas hujan. Semakin besar intensitas hujan berbanding lurus dengan kecepatan lahar. Hasil pemodelan kecepatan aliran lahar dilakukan perbandingan dengan hasil pengukuran kecepatan banjir lahar dengan alat geophone. Hasil validasi menunjukkan bahwa kecepatan aliran lahar dari SIMLAR memiliki deviasi sebesar 52% lebih kecil dibandingkan dengan hasil data observasi yang telah dilakukan sebelumnya yang dilakukan dengan menggunakan alat geophone. Untuk menekan tingkat kesalahan pemodelan aliran lahar diperlukan data debit banjir faktual dan diperlukan keteletian peta topografi. Untuk penelitian lanjutan diperlukan banyak skenario pemodelan untuk menghasilkan hasil pemodelan yang mendekati kejadian

sesungguhnya dan data validasi sebagai pembanding. Skenario pemodelan meliputi volume sedimen, konsentrasi sedimen dan kekasaran dasar saluran *n* manning.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini kami mengucapkan banyak teriamkasih kepada Kepala Balai Litbang Sabo atas kesempatan yang diberikan sehingga bisa menyelesaikan makalah ini. Tak kami ucapkan banyak terimakasih kepada teman-teman semua atas bantuan dan kerjasamanya.

DAFTAR PUSTAKA

Bates R. L., dan Jakcson J. A., 1987, Glossary of Geology, American Geology Institute, Virginia, Amerika

Badan Geologi, 2010, Penurunan status aktivitas Gunung Merapi dari Awas ke Siaga, diakses dari web, http://www.merapi.bgl.esdm.go.id/pdf/2010/12/EvaluasiAWAS_SIAGA_Merapi_3Des2010_5279a6.pdf , pada 22 Januari 1918

BNPB., 2011. Panduan Perencanaan Kontinjensi Menghadapi Bencana, Edisi-2.

Daryono, 2011, Ancaman Banjir Lahar Merapi. dalam http://data.bmkg.go.id/share/ Dokumen/artikel-ancaman_banjir-lahar-merapi-daryono-bmkg-2011.pdf diakses pada tanggal 22 Januari 2018

Hidayat F., Rudiarto, I., 2013. Pemodelan Resiko Banjir Lahar Hujan Pada Alur Kali Putih Kabupaten Magelang, Jurnal Teknik PWK Volume 2 Nomor 4, Universitas Dipenogoro.

Giyarsih S., R., Gamayanti, P. 2014. Dampak Banjir Lahar Terhadap Aspek Sosial: Studi Kasus Banjir Lahar Pasca Erupsi Merapi Gunung Merapi 2010 di Kecamatan Cangkirngan. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Ikhsan J., 2014, Studi Numerik Perubahan Elevasi dan Tipe Gradasi Material Dasar Sungai, Simposium Nasional Teknologi Terapan 2 (SNTT 2): S-7 - S-15.

Kumalawati, R., Rijanta, Sartohadi, J., & Pradiptyo, R. 2010. *Evaluation of Settlement Damage Due To Lahar Flood in Kali Putih.* UGM, Yogyakarta.

Kusumosubroto, H., 2013. *Aliran Debris dan Aliran Lahar, Pembentukan, Pengaliran, Pengendapan dan Pengendaliannya*, halaman 221-295, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Markowska, J., 2012. Aplication of HEC-RAS Model For Estimating Changes In Watercourse Geometry During Floods., Studia Geotechnica et Mechanica, Vol. XXXIV, No. 2: 63-72.

Mulyaningsih, S., 2015. Vulkanologi, Yogyakarta: Penerbit Ombak.

Musthofa, A., 2015. Simulasi Banjir Bandang untuk Sistem Peringatan Dini dan Peta Bahaya. Tesis, Yogyakarta: UGM.

Sanghyun K., Taebok S., Hyunjun K., Kwangjun J., Sungwook K., Khilha L, Sung-Hyo Y. 2013. Prediction of Lahar Inundation Area for Volcanic Eruption of Baegdusan using LAHARZ. IAVCEI Scientific Assembly - July 20 - 24 Kagoshima, Japan Forecasting Volcanic Activity - Reading and translating the messages of nature for society: 972.

Ramadhan S., 2016. Pemanfaatan Aplikasi LAHARZ Untuk Model Lahar di Sungai Gendol Menggunakan Data LIDAR, Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Harto S., B., 1993. *Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian*. Nafiri Offset, Yogyakarta.

Shinta D., 2015, Mitigasi Bencana Lahar Hujan Gunungapi Merapi Berbasis Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh di Sub DAS Kali Putih Kabupaten Magelang. thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Sulistiyani, Nandaka IGM, Atin L.S., Sulistio A., Nurudin, dan Rozin M., 2015 Aplikasi Metode Korelasi Silang untuk Perhitungan Kecepatan Aliran Lahar di Kali Putih, Kali Boyong, dan Kali Senowo. Yogyakarta: BPPTKG.

Takahashi, T., 2007. Debris FLow: Mechanic, Prediction, and Countermeasures. Leiden: Taylor & Francis.

Hardjosuwarno S., Raharjo A. P., Ikhsan J., Rosyadi I., 2012, Panduan Pengoperasian Program Simulasi 2D Banjir Lahar (SIMLAR), Balai Litbang Sabo, Kementerian PU, Yogyakarta.