

**STUDI PENGARUH KEJADIAN HUJAN TERHADAP BANJIR LAHAR DI SUNGAI GENDOL
MENGUNAKAN SIMLAR**

***STUDY OF THE EFFECT OF RAIN INCIDENCE ON DEBRIS FLOW IN THE GENDOL RIVER
USING SIMLAR***

Jazaul Ikhsan*¹, Azqia Dara Adam², Ani Hairani³

^{1,3} Dosen / Program Magister Teknik Sipil / Program Pasca Sarjana / Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

² Mahasiswa / Program Studi Teknik Sipil / Fakultas Teknik / Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Korespondensi: jazaul.ikhsan@umy.ac.id

ABSTRAK

Indonesia mempunyai gunung api aktif terbanyak di dunia yang berpotensi untuk meletus. Letusan gunung berapi menimbulkan bencana, baik primer maupun sekunder. Salah satu bencana sekunder adalah banjir lahar saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Untuk mengurangi dampak bencana diperlukan mitigasi bencana. Salah satu bentuk mitigasi bencana adalah dengan melakukan simulasi banjir lahar/debris untuk memprediksi kecepatan, volume, tinggi dan luas area terdampak banjir lahar/debris. Simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan *software* SIMLAR. Simulasi dilakukan pada Sungai Gendol yang merupakan salah satu sungai dengan daerah aliran sungai yang memiliki ancaman banjir lahar/debris yang serious. Simulasi dilakukan dengan 3 type hyetograf dan tiap typenya terdapat 3 nilai intensitas hujan yang berbeda yaitu 162 mm, 243 mm dan 324 mm. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai kecepatan pada tipe 1, 2 dan 3 mengalami kenaikan dibandingkan kondisi eksisting. Nilai kecepatan pada tipe 1 dengan intensitas hujan 162 mm adalah 2,35 m/s, dengan intensitas hujan 243 mm adalah 2,48 m/s, dan dengan intensitas hujan 324 mm adalah 2,58 m/s. Selain itu, parameter tinggi, volume dan luas juga mengalami kenaikan tiap simulasi. Kesimpulan yang diperoleh bahwa intensitas hujan berbanding lurus dengan kecepatan, volume, luas dan tinggi. Selain itu tipe hyetograf juga berpengaruh pada jam puncak saat volume maksimum, tinggi maksimum dan kecepatan maksimum.

Kata Kunci: Banjir lahar, intensitas hujan, pola hyetograf. SIMLAR.

ABSTRACT

Indonesia is a country with the largest number of active volcanoes in the world and has the potential to erupt. This causes primary and secondary disasters, one of which is secondary disasters caused by lava floods during heavy rains. So disaster mitigation is needed by simulating lava floods to find out the predictions of speed, volume, height and area affected by lava floods. The simulation was carried out using SIMLAR software, carried out on Gendol River which is one of the watersheds that has the threat of lahar flooding. The test was carried out with 3 hyetograph patterns and for each pattern there were 3 simulations with different rainfall intensities, namely 162 mm, 243 mm and 324 mm. From these tests, the speed values in patterns 1, 2 and 3 increased each simulation to the existing simulation. The speed value obtained by pattern 1 at 162 mm rain intensity is 2.35 m/s, at 243 mm rain intensity is 2.48 m/s, and at 324 mm rain intensity is 2.58 m/s. In addition, at high yields, volume and area also increase in each simulation due to the higher rainfall intensity. This proves that the intensity of rain is directly proportional to speed, volume, area and height. In addition, the hyetograph pattern also affects the peak hours when the maximum volume, maximum height and maximum speed are reached.

Keywords: Debris flow, rain intensity, hyetograph, SIMLAR

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai gunung api terbanyak di dunia, kurang lebih 500 gunung api dan 127 gunung api dikategorikan aktif dan berpotensi untuk meletus. Gunung Merapi adalah salah satu yang teraktif, yang terletak di antara Yogyakarta dan Jawa Tengah. Pada saat gunung meletus, bencana yang ditimbulkan tidak hanya terjadi secara langsung (primer), tetapi juga bahaya sekunder yaitu banjir lahar yang terjadi pada saat terjadi hujan lebat (Munir, 2019). Banjir lahar merupakan kumpulan sedimen yang keluar dari gunung berapi dengan dorongan dari air hujan dan mengarah ke permukaan yang lebih rendah. Lahar tersebut akan terbawa turun melalui lereng gunung ketika hujan turun dengan deras (Asmara dkk., 2021).

Daerah Istimewa Yogyakarta harus mewaspadai potensi terjadinya banjir lahar dingin di beberapa sungai berhulu Gunung Merapi saat puncak musim hujan, terutama Sungai Gendol. Banjir lahar terjadi saat curah hujan dengan intensitas tinggi bercampur dengan material gunung berapi hingga membentuk aliran (F. Hidayat & Rudiarto, 2013). Berdasar penelitian Hidayat, dkk. (2017), disimpulkan bahwa nilai intensitas hujan berbanding lurus dengan parameter kecepatan dan parameter tinggi aliran lahar.

Kerusakan yang dirimbulkan oleh bencana sekunder ini mempunyai tingkat besar tergantung dari jumlah sedimen yang terangkut, intensitas hujan, serta kepadatan pemukiman di dekat sungai (Ardana & Purwanto, 2013). Kejadian banjir lahar menyebabkan kerugian yang serius baik secara materil ataupun non-materil, seperti: jembatan, jalan, rumah, bangunan sabo, perkebunan dan lahan pertanian, dan hewan ternak, bahkan korban jiwa (Kholiq, 2017).

Karena besarnya dampak yang terjadi akibat banjir lahar, maka diperlukan usaha pencegahan dampak bencana tersebut. Simulasi banjir lahar, seperti menggunakan aplikasi SIMLAR, adalah salah satu cara yang dapat dilakukan untuk pencegahan bencana tersebut. Software SIMLAR ini mempunyai output prediksi aliran banjir lahar berbasis SIG (sistem informasi geografis) yang bisa diolah untuk diambil data arah, volume serta luas area dampak banjir lahar (Kholiq, 2017).

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Sumintadireja (2000) dalam Armaya & Hizbaron (2015) lahar adalah campuran antara bahan erupsi Gunung Merapi, terutama abu vulkanik dengan air yang berasal dari hujan dan tertampung di dalam kawah gunung. Selain itu lahar juga mempunyai daya luncur yang sangat tinggi dan dapat menempuh jarak yang cukup jauh dengan kecepatan sekitar 40-60 km/jam.

Pada tahun 2010 terjadi erupsi Gunung Merapi terbesar sejak tahun 1872, Rizal & Hizbaron (2015) menjelaskan sisa hasil erupsi tersebut masih menyisakan sisa endapan piroklastik di puncak gunung yang diperkirakan masih terdapat sejumlah 130 juta m³. Sehingga pada musim hujan, risiko terjadi bencana banjir lahar akan semakin besar, karena curah hujan tinggi yang terjadi pada bagian atas Gunung Merapi akan membawa endapan piroklastik dan menyebabkan terjadinya banjir lahar.

SIMLAR memiliki kepanjangan Simulasi Lahar yang merupakan *software* mengenai pemodelan limpasan akibat lahar. SIMLAR kemampuan simulasi sebesar 2000 arah vertikal (y) dan 400 grid spasial arah horizontal (x), dengan konskwensi apabila resolusi semakin besar. SIMLAR menggambarkan hasil running berdasarkan hidrograf banjir yang berbanding dengan parameter waktu. Data hidrograf banjir tersebut diinputkan menggunakan fitur SIMLAR yang dihitung dengan memakai metode HSS (Hidrograf Satuan Sintetik) Nakayasu (Hidayat dkk. 2017).

SIMLAR adalah aplikasi simulasi banjir debris/ banjir lahar yang merupakan integrasi 3 sub program yaitu sub program hidrograf banjir, sub program hidrograf akibat keruntuhan bendung alam dan sub program simulasi 2D banjir debris (Kholiq, 2017). Pada sub program hidrograf banjir menghasilkan hidrograf banjir yang disebabkan oleh hujan efektif di DAS (daerah aliran sungai), sub program program hidrograf karena keruntuhan bendung menghasilkan hidrograf banjir karena keruntuhan bendung alam dan sub program simulasi 2D banjir debris menghasilkan animasi banjir debris dan prediksi daerah yang redampak.

Dalam simulasi menggunakan SIMLAR dibutuhkan data DEM. DEM adalah data digital dengan format *raster* yang memiliki informasi elevasi dan koordinat (x,y) pada setiap piksel nya, yang bermanfaat untuk menggambarkan situasi topografi di daerah yang akan ditinjau (Ramadhany

dkk. 2012). Menurut Hidayat dkk. (2017) dalam simulasi, data topografi adalah salah satu data yang mempengaruhi ketelitian hasil simulasi. Oleh karena itu diperlukan data DEM dengan resolusi tinggi, untuk hasil simulasi yang lebih bagus dapat memakai data DEM dengan resolusi spasial 5m dari citra Lidar (*Light Detection Radar*).

Dalam penggunaan data DEM, aliran sungai perlu diperhatikan apakah sesuai dengan kondisi asli sungai di lapangan. Apabila terjadi perbedaan antara data DEM dengan di lapangan maka perlu dilakukan modifikasi peta DEM dengan perangkat lunak SIG. (Hidayat dkk. 2017).

Selain itu, dalam simulasi menggunakan SIMLAR diperlukan nya data curah hujan. Curah hujan adalah ketinggian air hujan yang tertampung pada suatu tempat datar dengan kondisi tidak mengalir, tidak menguap dan tidak meresap. Maksud dari curah hujan 1 mm diartikan sebagai air hujan setinggi 1 mm yang jatuh pada tempat datar dengan luas 1 m² yang diasumsikan tidak ada yang mengalir, meresap dan menguap (Mulyono, 2014).

Data curah hujan yang digunakan dalam perhitungan debit banjir adalah hujan yang terjadi pada daerah aliran sungai dalam waktu yang sama. Perhitungan curah hujan tersebut menggunakan metode poligon *Thiessen*, karena metode ini sesuai apabila stasiun hujan tidak tersebar merata dan jumlahnya terbatas dibanding luasnya (Gunawan dkk., 2020).

Kemudian data curah hujan dianalisis debit banjir. Perhitungan debit banjir dengan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu merupakan salah satu metode yang sering digunakan di Indonesia. Metode tersebut merupakan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf banjir rancangan pada suatu DAS, dalam membuat hidrograf banjir tersebut perlu mencari karakteristik atau parameter daerah aliran sungai (Sutapa, 2005).

Ulinuha dkk. (2020), lahar yang terjadi pada Gunung Merapi terbentuk dari endapan lapisan piroklastik, endapan tersebut dapat berubah menjadi lahar jika terjadi curah hujan tinggi dengan durasi yang panjang. Salah satu daerah aliran sungai yang memiliki ancaman banjir lahar yaitu Daerah Aliran Sungai (DAS) Gendol-Opak. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa aliran lahar berdampak pada beberapa desa dari hulu sampai hilir sungai. Simulasi menunjukkan bahwa aliran lahar berdampak pada beberapa wilayah dalam satuan desa di Daerah Aliran Sungai Gendol-Opak, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas Daerah Terdampak Aliran Banjir Lahar

Desa	Kecamatan	Kabupaten	Luas (ha)	Luas (%)
Argomulyo	Cangkringan	Sleman	206,335	28,48 %
Bimomartani	Ngemplak	Sleman	88,777	12,25 %
Glagaharjo	Cangkringan	Sleman	51,072	7,05 %
Hargobinangun	Pakem	Sleman	21,271	2,94 %
Kepuharjo	Cangkringan	Sleman	20,288	11,08 %
Selomartani	Kalasan	Sleman	13,344	1,84 %
Sindumartani	Ngemplak	Sleman	191,741	26,46 %
Tamanmartani	Kalasan	Sleman	51,303	7,08 %
Umbulharjo	Cangkringan	Sleman	0,617	0,09 %
Wukirsari	Cangkringan	Sleman	19,806	2,73 %
Jumlah			724,553	100%

Sumber Ulinuha dkk., (2020)

Penelitian yang telah dilakukan oleh Hidayat dkk. (2017), mengenai analisis simulasi banjir lahar menggunakan SIMLAR 2.1, dapat menampilkan sebaran aliran lahar secara spasial. Hasil pemodelan tersebut menggambarkan penyebaran banjir lahar secara horizontal (luas rambatan) maupun vertikal (ketinggian banjir lahar) dan kecepatan banjir lahar. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kecepatan dan tinggi banjir lahar di pengaruhi oleh intensitas hujan. Hubungan hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan antara Intensitas Hujan dengan Ketinggian dan Kecepatan Banjir 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

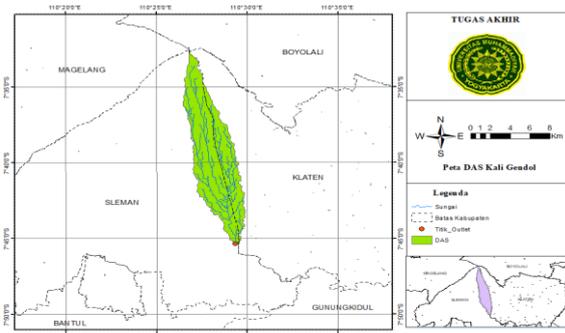
Sumber Hidayat dkk. (2017)

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa intensitas hujan berbanding lurus dengan tinggi dan kecepatan banjir lahar.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Sungai Gendol yang terletak di Kapanewon Cangkringan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Sumber Hasil Penelitian (2022)

Data Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan data topografi berupa data DEM, data tersebut bersifat Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mendefinisikan nilai kontur pada area sungai dan *output* yang dihasilkan adalah 2D. Data tersebut dapat diunduh secara gratis melalui [website http://tanahair.indonesia.go.id/](http://tanahair.indonesia.go.id/) yang memiliki resolusi 0,27 *arcsecond* dengan format *.tif*.

Data selanjutnya yang digunakan adalah data hujan yang didapat dari Balai SABO Yogyakarta, data hujan yang digunakan adalah data hujan tahun 2015 sampai tahun 2019. Data hujan yang digunakan ini terdapat pada stasiun Ngandong dengan hujan maksimum berdurasi 3 jam, dikarenakan durasi 3 jam didasarkan pada durasi hujan dominan di daerah Gunung Merapi. Data curah hujan maksimum berdurasi 3 jam setiap tahunnya pada stasiun Ngandong dapat dilihat pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Data curah hujan maksimum

Dapat dilihat pada gambar diatas bahwa tahun 2018 memiliki curah hujan tertinggi dibandingkan tahun lainnya. Oleh karena itu simulasi ini menggunakan curah hujan pada tahun 2018 yaitu sebesar 162 mm.

Kemudian diperlukan sampel sedimen yang diperoleh dari lokasi penelitian. Letak pengambilan sampel berada di hulu, tengah dan hilir sungai, yang setiap bagian diambil 3 titik yaitu sisi kanan, kiri dan tengah *cross*. Data sedimen tersebut kemudian

dilakukan pengujian berat jenis guna mengetahui parameter berat jenis sedimen. Hasil dari pengujian tersebut pada bagian hulu didapatkan rata-rata sebesar 2,636, pada bagian tengah sebesar 2,607 dan bagian hilir sebesar 2,663. Dari ketiga bagian tersebut kemudian didapat rata-rata berat jenis sebesar 2,635.

Data lain yang digunakan adalah data sabo dam. Data sabo dam yang digunakan dalam penelitian ini berupa koordinat dan tinggi sabo yang dapat dilihat pada **Tabel 3.**

Tabel 3. Data sabo dam

Nama Sabo	Koordinat		Tinggi (m)
	x	y	
GE-D5 (Kaliadem)	440104	9158813	14,5
GE-D3 (Kopeng)	440410	9157653	14,5
GE-D2 (Kopeng)	440469	9157122	9,5
GE-D1 (Kepuharjo)	440484	9156806	6,5
GE-C13 (Ngancar)	440612	9155288	14
GE-C12 (Ngancar)	440805	9154517	9,5
GE-C10 (Bakalan)	440842	9153666	9,5
GE-C (Cangkringan I)	440926	9152969	7
GE-C (Bronggang)	440963	9152808	4,6
GE-C (Jetis I)	441169	9152099	5,8
GE-C (Plumbon I)	441507	9151194	5
GE-C7 (Morangan)	441654	9150487	6,5
GE-C9 (Kalimanggis)	441672	9150214	5
GE-C (Jambon)	441980	9149380	4
GE-C (Jerukan)	442057	9149108	4,5
GE-C (Rogobangsari)	442453	9147930	4
GE-C0 (Tulung)	442988	9145067	4

Sumber Balai Sabo (2019)

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melalui beberapa tahapan, yaitu pengambilan sampel, pengujian sampel, simulasi banjir lahar dan analisis hasil *output* simulasi.

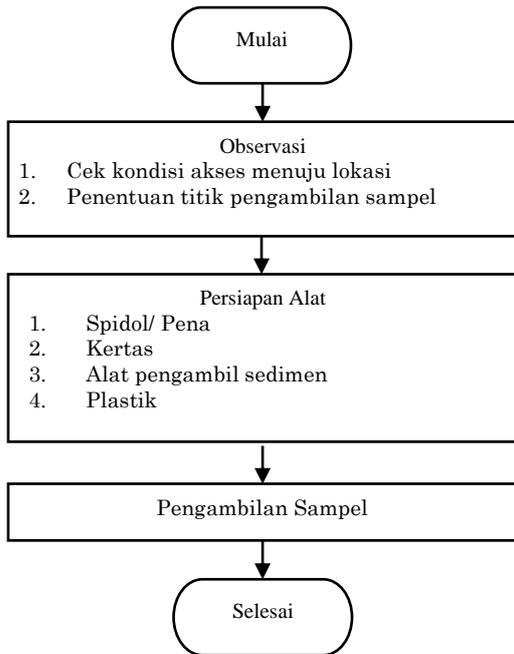
Pengambilan sampel

Pengambilan sampel ini dilakukan dengan cara mengambil sedimen sungai yang kemudian akan diuji di Laboratorium. Tahapan pengambilan sampel pada penelitian ini dijelaskan dalam bentuk *flowchart* yang dapat dilihat pada **Gambar 3.**

Pengujian sampel

Pengujian sampel yang dilakukan adalah pengujian berat jenis untuk mengetahui parameter berat jenis sedimen. Pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah

Yogyakarta. **Gambar 4.** menunjukkan tahapan pengujian sampel.



Gambar 3. Flowchart pengambilan sampel



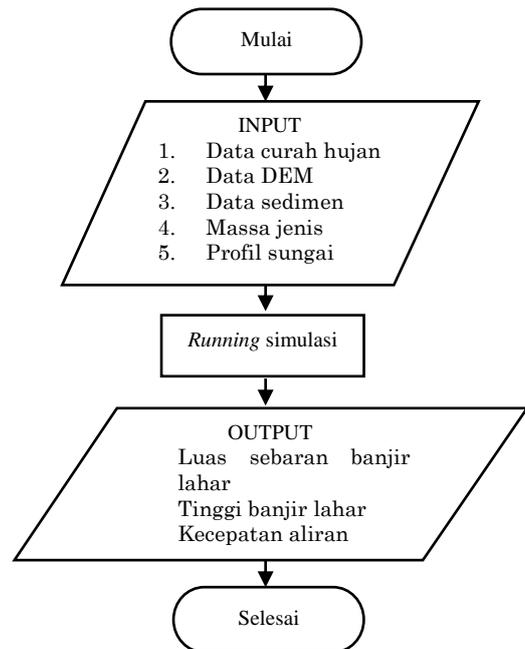
Gambar 4. Flowchart pengujian sampel

Simulasi

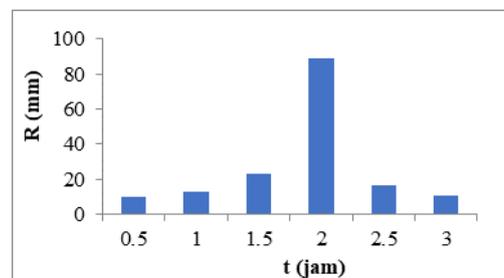
Langkah pertama yang dilakukan dalam simulasi adalah membuat proyek baru dalam SIMLAR, kemudian memasukkan data hyetograf dan hidrograf sesuai dengan data yang telah didapat. Setelah itu memasukkan data DEM dengan format .asc, menentukan batas wilayah simulasi (*mesh area*) dan titik *inflow point*. Kemudian

melakukan skenario adanya bangunan sabo dengan cara mengubah nilai *moveable bed thickness* menjadi 0 pada titik bangunan sabo tersebut. Hal itu dilakukan karena bangunan sabo tersebut memiliki bahan material beton yang tidak mudah tergores oleh erosi. Langkah simulasi dijelaskan dalam bentuk *flowchart* pada **Gambar 5**.

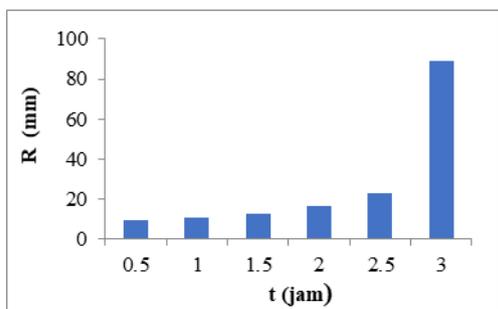
Penelitian ini melakukan 3 simulasi berdasarkan tingginya intensitas hujan yaitu simulasi eksisting dengan intensitas 162 mm, simulasi 1,5 dengan intensitas 243 mm dan simulasi 2 dengan intensitas 324 mm. Setiap simulasi nya terdapat 3 skenario pola hujan yang berbeda berdasarkan pola hyetograf. 3 skenario pola hujan tersebut dapat dilihat berturut-turut pada **Gambar 6**, **Gambar 7** dan **Gambar 8**.



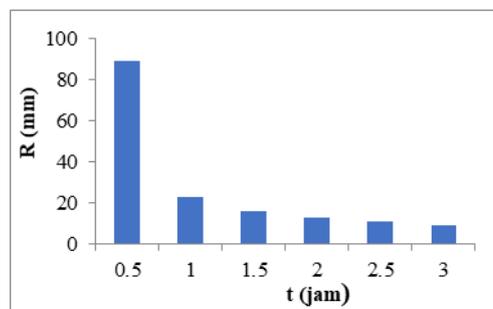
Gambar 5. Flowchart Langkah simulasi



Gambar 6. Grafik hyetograf pola 1
Sumber Hasil Penelitian (2022)



Gambar 7. Grafik hyetograf pola 2
Sumber Hasil Penelitian (2022)



Gambar 8. Grafik hyetograf pola 3
Sumber Hasil Penelitian (2022)

Analisis hasil simulasi

Setelah proses *running* selesai, *output* yang dihasilkan berformat *.txt* dan *.asc*. Sehingga hasil *running* untuk analisis kecepatan dan volume perlu di modifikasi terlebih dahulu dengan aplikasi *Notepad++* yang kemudian diolah lagi pada *Ms. Excel*. Sedangkan untuk hasil *running* analisis luas dan tinggi banjir lahar perlu diolah pada *software ArcGIS* untuk mendapatkan nilai yang diperlukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil simulasi dan nilai yang sudah didapat maka diperoleh nilai perbandingan kecepatan, volume, luas dan tinggi sebagai berikut.

Kecepatan

Nilai kecepatan yang didapat dari simulasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 9**.

Nilai kecepatan maksimum yang dihasilkan dari simulasi tiap pola nya dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Nilai kecepatan maksimum

Pola	Simulasi	Kecepatan (m/s)
Pola 1	Simulasi Eksisting	2,35
	Simulasi 1,5	2,48
	Simulasi 2	2,58
Pola 2	Simulasi Eksisting	2,13
	Simulasi 1,5	2,55
	Simulasi 2	2,65
Pola 3	Simulasi Eksisting	2,20
	Simulasi 1,5	2,35
	Simulasi 2	2,91

Sumber Hasil Penelitian (2022)

Berdasarkan gambar dan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa naik turunnya nilai kecepatan yang didapatkan mengikuti pola hidrograf dan kecepatan maksimum yang terjadi pada jam puncak setiap pola nya mengikuti pola hyetograf sesuai dengan urutan nilai intensitas hujan. Selain itu, juga disimpulkan bahwa semakin tinggi intensitas hujan

maka nilai kecepatan puncak yang dihasilkan juga semakin tinggi. Hal tersebut membuktikan bahwa nilai intensitas hujan berbanding lurus dengan nilai kecepatan banjir lahar.

Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Hidayat dkk., (2017) menyimpulkan bahwa intensitas hujan sangat mempengaruhi besarnya nilai kecepatan aliran lahar. Sehingga, kenaikan nilai intensitas hujan berpengaruh linier terhadap nilai kecepatan aliran. Persentase kenaikan nilai kecepatan aliran terhadap simulasi eksisting setiap pola nya dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5.

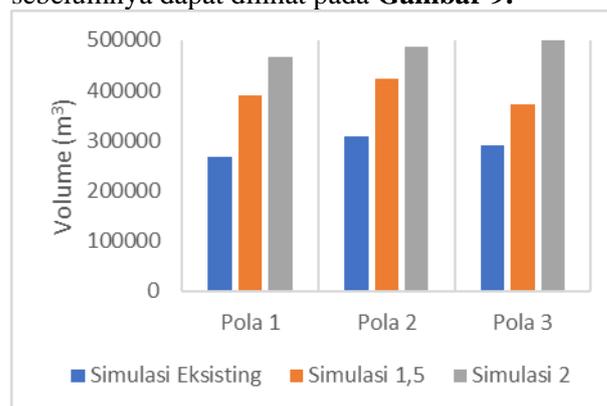
Persentase kenaikan nilai kecepatan aliran

Pola	Simulasi	Kenaikan Kecepatan (m/s)	Persentase Kenaikan (%)
Pola 1	Simulasi 1,5	0,13	5,53
	Simulasi 2	0,23	9,79
Pola 2	Simulasi 1,5	0,42	19,63
	Simulasi 2	0,51	24,06
Pola 3	Simulasi 1,5	0,15	6,62
	Simulasi 2	0,70	31,95

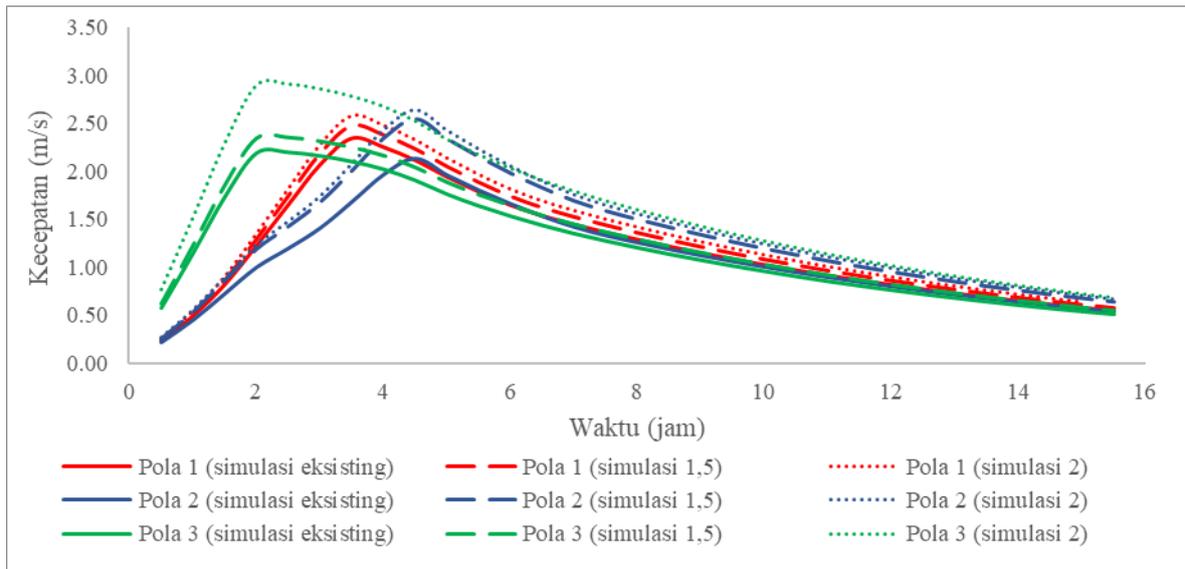
Sumber Hasil Penelitian (2022)

Volume

Perbandingan nilai volume yang dihasilkan dari simulasi yang telah dilakukan sebelumnya dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Perbandingan volume banjir lahar
Sumber Hasil Penelitian (2022)



Gambar 10. Perbandingan nilai kecepatan
Sumber Hasil Penelitian (2022)

Volume maksimum yang dihasilkan dari simulasi tiap pola nya dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Nilai volume maksimum banjir lahar

Pola	Simulasi	Volume (m ³)
Pola 1	Simulasi Eksisting	267879,81
	Simulasi 1,5	389277,36
	Simulasi 2	466064,82
Pola 2	Simulasi Eksisting	309146,02
	Simulasi 1,5	422125,86
	Simulasi 2	486906,51
Pola 3	Simulasi Eksisting	289633,26
	Simulasi 1,5	372718,50
	Simulasi 2	498974,71

Berdasarkan nilai volume maksimum yang didapatkan tiap pola nya dapat disimpulkan bahwa nilai intensitas hujan dan pola hyetograf sangat mempengaruhi nilai volume maksimum banjir lahar. Semakin tinggi nilai intensitas hujan maka nilai volume maksimum yang dihasilkan juga semakin tinggi. Sedangkan pengaruh pola hyetografnya adalah terhadap jam waktu volume maksimum tersebut terjadi pada aliran. Pola 3 menghasilkan volume maksimum di jam lebih awal dibandingkan pada pola 1 dan 2, dikarenakan pola 3 pada pola hyetograf nya hujan puncak berada di awal.

Persentase kenaikan nilai volume aliran terhadap simulasi eksisting setiap pola nya dapat dilihat pada **Tabel 7**.

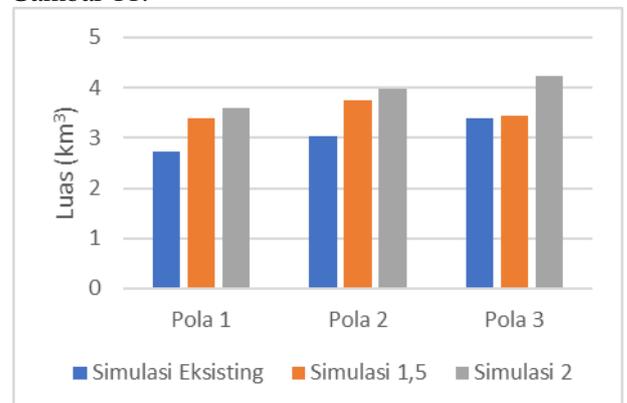
Tabel 7. Persentase kenaikan nilai volume aliran

Pola	Simulasi	Kenaikan Volume (m ³)	Persentase Kenaikan (%)
Pola 1	Simulasi 1,5	121397,55	45,32
	Simulasi 2	198185,01	73,98
Pola 2	Simulasi 1,5	112979,85	36,55
	Simulasi 2	177760,49	57,50
Pola 3	Simulasi 1,5	83085,23	28,69
	Simulasi 2	209341,45	72,28

Sumber Hasil Penelitian (2022)

Luas dan Tinggi

Perbandingan nilai luas yang didapat pada 15,5 jam atau jam terakhir dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan luas sebaran banjir lahar
Sumber Hasil Penelitian (2022)

Nilai luas banjir lahar setiap pola pada waktu jam terakhir dapat dilihat **Tabel 8.** dibawah ini.

Tabel 8. Nilai luas sebaran banjir lahar

Pola	Simulasi	Luas (km ²)
Pola 1	Simulasi Eksisting	2,72
	Simulasi 1,5	3,40
	Simulasi 2	3,60
Pola 2	Simulasi Eksisting	3,04
	Simulasi 1,5	3,74
	Simulasi 2	3,98
Pola 3	Simulasi Eksisting	3,40
	Simulasi 1,5	3,43
	Simulasi 2	4,22

Sumber Hasil Penelitian (2022)

Berdasarkan nilai luas pada jam terakhir yang telah didapatkan dari simulasi, dapat disimpulkan bahwa intensitas hujan yang semakin tinggi menyebabkan luas sebaran banjir lahar semakin besar. Sesuai dengan yang telah dijelaskan oleh Hidayat dkk., (2017) bahwa semakin besar nilai intensitas hujan maka akan semakin luas rambatan banjir lahar yang akan terjadi.

Persentase kenaikan nilai luas sebaran terhadap simulasi eksisting setiap pola nya dapat dilihat pada **Tabel 9.**

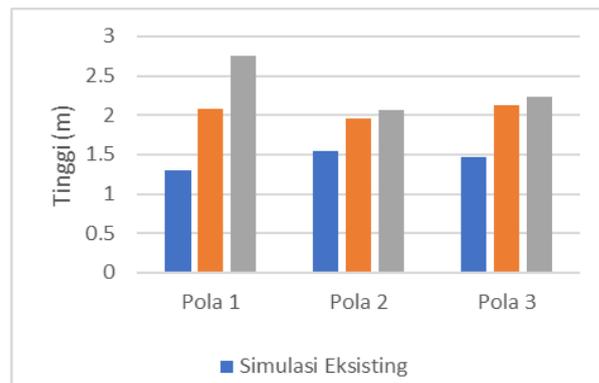
Tabel 9. Persentase kenaikan nilai luas sebaran

Pola	Simulasi	Kenaikan Luas (km ²)	Persentase Kenaikan (%)
Pola 1	Simulasi 1,5	0,68	25,19
	Simulasi 2	0,88	32,52
Pola 2	Simulasi 1,5	0,70	23,09
	Simulasi 2	0,95	31,29
Pola 3	Simulasi 1,5	0,03	00,85
	Simulasi 2	0,82	24,06

Sumber Hasil Penelitian (2022)

Nilai tinggi banjir lahar yang didapat dari simulasi, nilai tersebut diperoleh pada saat jam puncak atau pada saat tinggi maksimum. Jam puncak pada pola 1 yaitu 3,5 jam, pola 2 pada 4,5 jam dan pola 3 pada 2,5 jam yang dihitung dari awal simulasi. Perbandingan nilai tinggi banjir lahar dapat dilihat pada Gambar 12.

Nilai tinggi banjir maksimum yang dihasilkan oleh simulasi dapat dilihat pada Tabel 10



Gambar 12. Perbandingan tinggi banjir lahar Sumber Hasil Penelitian (2022)

Tabel 10. Nilai tinggi maksimum banjir lahar

Pola	Simulasi	Tinggi (m)
Pola 1	Simulasi Eksisting	1,30
	Simulasi 1,5	2,08
	Simulasi 2	2,76
Pola 2	Simulasi Eksisting	1,54
	Simulasi 1,5	1,96
	Simulasi 2	2,07
Pola 3	Simulasi Eksisting	1,47
	Simulasi 1,5	2,12
	Simulasi 2	2,24

Sumber Hasil Penelitian (2022)

Nilai tinggi banjir yang dihasilkan menunjukkan bahwa nilai tersebut tergantung dengan nilai intensitas hujan dan pola hyetograf. Karena semakin tinggi intensitas hujan, maka nilai tinggi maksimum banjir lahar juga akan semakin meningkat. Sedangkan pola hyetograf akan mempengaruhi waktu saat tinggi maksimum itu terjadi. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Hidayat., (2017) bahwa selain kecepatan banjir lahar, intensitas hujan juga mempengaruhi nilai tinggi aliran.

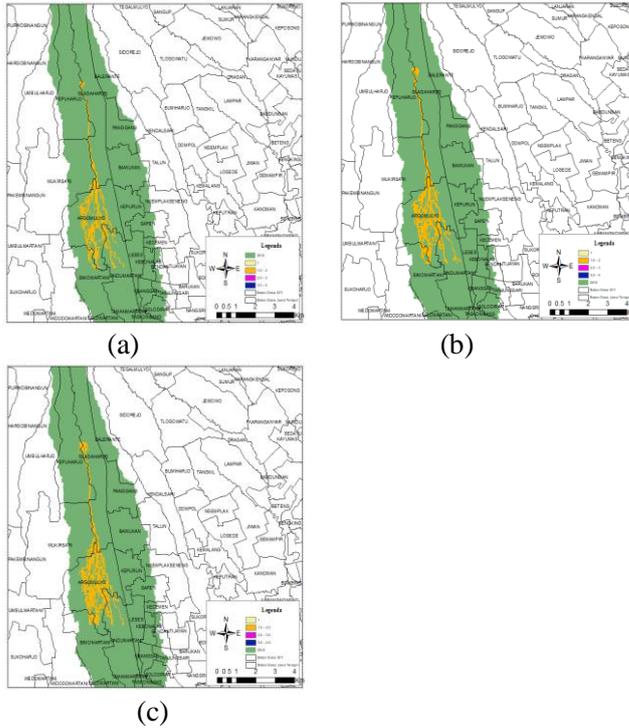
Persentase kenaikan nilai tinggi banjir lahar terhadap simulasi eksisting setiap pola nya dapat dilihat pada **Tabel 11.**

Tabel 11. Persentase kenaikan nilai tinggi banjir lahar

Pola	Simulasi	Kenaikan Tinggi (m)	Persentase Kenaikan (%)
Pola 1	Simulasi 1,5	0,78	60,00
	Simulasi 2	1,46	112,31
Pola 2	Simulasi 1,5	0,42	27,27
	Simulasi 2	0,53	34,42
Pola 3	Simulasi 1,5	0,65	44,22
	Simulasi 2	0,77	52,38

Sumber Hasil Penelitian (2022)

Hasil luas sebaran banjir lahar pada pola 1 dapat dilihat pada **Gambar 13**.



Gambar 13. (a) Luas dsitribusi banjir pola 1 simulasi eksisting (b) Luas distribusi banjir pola 1 simulasi 1,5 (c) Luas distribusi banjir pola 1 simulasi 2
Sumber Hasil Penelitian (2022)

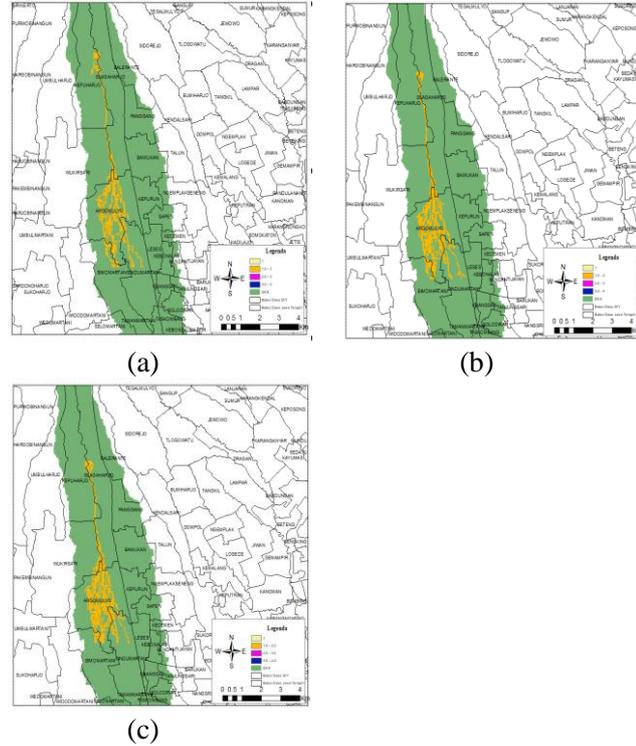
Daftar desa yang terkena sebaran tersebut dapat dilihat pada **Tabel 12**.

Tabel 12. Desa terdampak banjir lahar pola 1

Simulasi Eksisting	Simulasi 1,5	Simulasi 2
Glagaharjo	Glagaharjo	Glagaharjo
Kepuharjo	Kepuharjo	Kepuharjo
Wukirsari	Wukirsari	Wukirsari
Argomulyo	Argomulyo	Argomulyo
Bimomartani	Bimomartani	Bimomartani
Sindumartani	Sindumartani	Sindumartani

Sumber Hasil Penelitian (2022)

Hasil luas sebaran banjir lahar pada pola 2 dapat dilihat pada **Gambar 14**.



Gambar 14. (a) Luas distribusi banjir pola 2 simulasi eksisting (b) Luas distribusi banjir pola 2 simulasi 1,5 (c) Luas distribusi banjir pola 2 simulasi 2
Sumber Hasil Penelitian (2022)

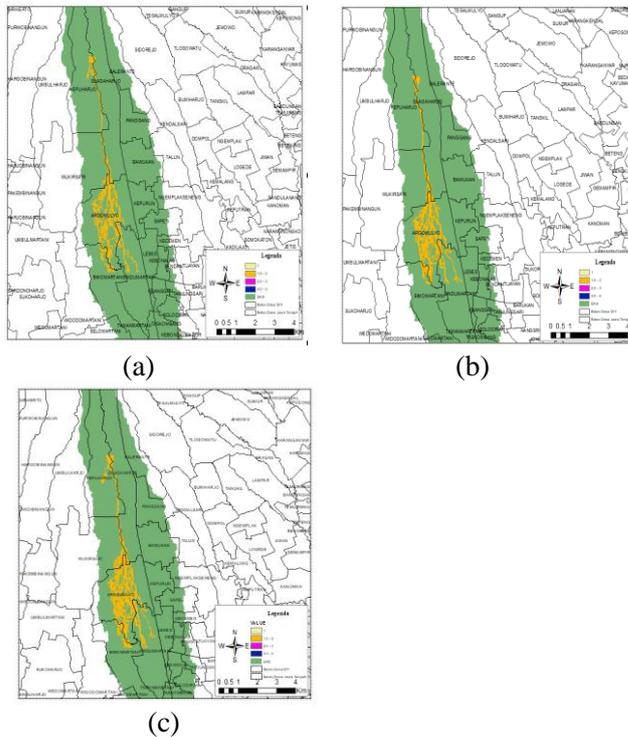
Daftar desa yang terkena sebaran tersebut dapat dilihat pada **Tabel 13**.

Tabel 13. Desa terdampak banjir lahar pola 2

Simulasi Eksisting	Simulasi 1,5	Simulasi 2
Glagaharjo	Glagaharjo	Glagaharjo
Kepuharjo	Kepuharjo	Kepuharjo
Wukirsari	Wukirsari	Wukirsari
Argomulyo	Argomulyo	Argomulyo
Bimomartani	Bimomartani	Bimomartani
Sindumartani	Sindumartani	Sindumartani

Sumber Hasil Penelitian (2022)

Hasil luas sebaran banjir lahar pada pola 3 dapat dilihat pada **Gambar 15**.



Gambar 15. a) Luas distribusi banjir pola 3 simulasi eksisting (b) Luas distribusi banjir pola 3 simulasi 1,5 (c) Luas distribusi banjir pola 3 simulasi 2
Sumber Hasil Penelitian (2022)

Daftar desa yang terkena sebaran tersebut dapat dilihat pada **Tabel 14**.

Tabel 14. Desa terdampak banjir lahar pola 3

Simulasi Eksisting	Simulasi 1,5	Simulasi 2
Glagaharjo	Glagaharjo	Glagaharjo
Kepuharjo	Kepuharjo	Kepuharjo
Wukirsari	Wukirsari	Wukirsari
Argomulyo	Argomulyo	Argomulyo
Bimomartani	Bimomartani	Bimomartani
Sindumartani	Sindumartani	Sindumartani

Sumber Hasil Penelitian (2022)

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, didapat bahwa naik turunnya kecepatan pada setiap simulasi dipengaruhi oleh pola hidrograf, pola hyetograf berpengaruh pada waktu dimana kecepatan puncak ditempuh dan tingginya kecepatan maksimum tergantung dengan tinggi nya

intensitas hujan. Oleh sebab itu, intensitas hujan berbanding lurus dengan kecepatan banjir lahar. Pada volume banjir lahar yang didapat juga dipengaruhi oleh intensitas hujan dan pola hyetograf, semakin tinggi intensitas hujan maka volume maksimum yang dihasilkan juga akan meningkat. Pengaruh pola hyetografnya adalah terhadap jam waktu volume maksimum terjadi. Pola 3 menghasilkan volume maksimum di jam lebih awal dibandingkan pada pola 1 dan 2, dikarenakan pola 3 pada pola hyetograf hujan puncak berada di awal. Selain itu, intensitas hujan dan pola hyetograf juga berpengaruh pada luas terdampak dan tinggi nya banjir lahar. Dari semua simulasi yang telah dilakukan, simulasi 2 dengan intensitas hujan paling tinggi dengan nilai sebesar 324 mm menyebabkan dampak yang paling besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY), melalui Lembaga Riset dan Inovasi (LRI) atas dukungan pendanaan melalui skema hibah penelitian internal tahun 2022, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan lancar. Penulis juga mengucapkan kepada semua pihak yang membantu dan mendukung penelitian ini, sehingga bisa berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardana, D. M. S., & Purwanto, T. H. (2013). Penentuan Jalur Evakuasi dan Tampak Banjir Lahar Dingin Gunung Merapi Magelang, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(2), 149–154.
- Armaya, D. A. B., & Hizbaron, D. R. (2015). Penaksiran Tingkat Kerentanan Sosial Terhadap Bahaya. *Jurnal Bumi Indonesia*, 4(4), 1–10.
- Asmara, R. A., Prasetyo, A., Stevani, S., & Hapsari, R. I. (2021). Prediksi Banjir Lahar Dingin Pada Lereng Merapi Menggunakan Data Curah Hujan Dari Satelit. *JIP (Jurnal Informatika Polinema)*, 7(2), 35–42.
- Gunawan, G., Berperi, & Purnama, L. (2020). Analisis Debit Banjir Rancangan Sub DAS Air Bengkulu. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 17(1), 1–9.
- Hidayat, F., & Rudiarto, I. (2013). Pemodelan Resiko Banjir Lahar Hujan Pada Alur Kali Putih Kabupaten MAgelang. In *Teknik PWK (Vol. 2, Issue 4)*.
- Hidayat, R., Musthofa, A., & Bahri, P. (2017). Pengaruh Intensitas Hujan Terhadap Kecepatan

dan Tinggi Banjir Lahar Berdasar Pemodelan SIMLAR 2.1. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 8(1), 125–134.

Kholiq, M. A. (2017). Simulasi Aliran Banjir Lahar Pasca Erupsi Gunung Merapi 2010 Terhadap Keberadaan Sabo DAM di Sungai Gendol. *Jurnal Teknisia*, XXII(2).

Mulyono, D. (2014). Analisis Karakteristik Curah Hujan di Wilayah Kabupaten Garut Selatan. *Jurnal Konstruksi*, 13(1), 1–9.

Munir, Moh. D. (2019). Bangunan Sabo Dam, Fungsi dan Potensinya sebagai Pendukung Geowisata Gunung Merapi. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 10(2), 15–26.

Ramadhany, A. S., DS, A. N., & Subardjo, P. (2012). Daerah Rawan Genangan Rob di Wilayah Semarang. *Journal Of Marine Research*, 1(2), 174–180.

Rizal, M. A., & Hizbaron, D. R. (2015). Analisis Kerentanan Fisik Bahaya Banjir Lahar di Desa Sekitar Kali Putih Kabupaten Magelang. *Jurnal Bumi Indonesia*, 4(1), 175–184.

Sutapa, W. (2005). Kajian Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Untuk Perhitungan Debit Banjir Rancangan di Daerah Aliran Sungai Kodina. *MEKTEK*, 7(1), 35–40.

Ulinuha, I., Prasetyo, Y., & Sabri, L. (2020). Analisis Spasial Aliran Lahar Menggunakan HEC-HMS dan HEC-RAS Pada Kali Gendol-Opak Kawasan Gunung Merapi. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(1), 20–28.