

ANALISIS SPASIAL ALIRAN LAHAR MENGGUNAKAN HEC-HMS DAN HEC-RAS PADA KALI GENDOL-OPAK KAWASAN GUNUNG MERAPI

Ilham Ulinnuha^{*)}, Yudo Prasetyo, LM Sabri

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : ulinnuhailham97@gmail.com

ABSTRAK

Gunung Merapi merupakan salah satu gunung api yang masih aktif sampai saat ini. Erupsi Gunung Merapi dapat mengeluarkan sejumlah material vulkanik yang dapat mengendap di hulu sungai sebagai lahar. Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berhulu di Gunung Merapi apabila terjadi turun hujan dengan intensitas tinggi dan dalam durasi waktu yang lama, lahar tersebut akan mengalir mengikuti kelerengan permukaan dan dapat mengakibatkan suatu bencana. Salah satu sungai yang memiliki endapan material vulkanik yang tinggi adalah Kali Gendol-Opak, kemudian disebut sebagai Daerah Aliran Sungai (DAS) Gendol-Opak. *Software* HEC-HMS dalam penelitian ini digunakan untuk menghitung debit banjir rencana. Parameter untuk menentukan debit banjir rencana antara lain data curah hujan, nilai CN (*Curve Number*) dan *Impervious* dihitung dari jenis tanah, penggunaan lahan dan luas sub-DAS. Penggunaan lahan dibuat dari klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode klasifikasi *supervised*. Luasan sub-DAS didelineasi pada ArcMap menggunakan analisis *watershed*. Debit aliran lahar dihitung dari penambahan koefisien C* pada debit banjir rencana. Pada pemodelan aliran lahar menggunakan *software* HEC-RAS, parameter yang digunakan antara lain koefisien Manning, geometri data, debit aliran lahar dan *terrain*. Data untuk *Terrain* menggunakan data elevasi dari DEMNAS. Setelah pemodelan berhasil didapatkan, aliran lahar diidentifikasi luapannya dari *buffer* sempadan sungai. Penelitian ini memperoleh simulasi aliran lahar yang memiliki luas dampak sebesar 724,553 ha (8,97%) pada 10 desa di Kabupaten Sleman antara lain Desa Argomulyo, Bimomartani, Glagaharjo, Hargobinangun, Kepuharjo, Selomartani, Sindumartani, Tamanmartani, Umbulharjo dan Wukirsari. Desa Argomulyo menjadi desa yang terdampak aliran lahar paling luas dengan luas 206,335 ha (28,48%). Sebanyak 593,117 ha (81,86%) aliran lahar masuk pada zona sempadan sungai. Berdasarkan hal tersebut, untuk mengurangi kerugian bencana maka pemerintah dapat mengedukasi warga agar tidak melakukan aktivitas di zona tersebut.

Kata Kunci: DAS, HEC-HMS, HEC-RAS, Lahar

ABSTRACT

Merapi Volcano is one of the active volcanoes. Eruption of the Merapi Volcano can release a number of volcanic material which can settle upriver as lahar. In watersheds that are tipped at Merapi Volcano, if there is rain with high intensity and for a long duration, the lahar will flow based on the slope of the surface and can result in a disaster. One river that has high volcanic material deposits is Kali Gendol-Opak, then referred to as the Gendol-Opak River Basin. HEC-HMS software in this research is used to calculate the planned flood discharge. The parameters to determine the planned flood discharge include rainfall data, CN (Curve Number) and Impervious values calculated from soil type, land use and subbasin. Land use is made from land cover classification using the supervised classification method. Area of sub-basin delineated in ArcMap using watershed analysis. Lahar flow discharge is calculated from the addition of the C coefficient to the planned flood discharge. In lahar flow modeling using HEC-RAS software, parameters used include Manning coefficient, data geometry, lahar flow discharge and terrain. Data for terrain uses elevation data from DEMNAS. After modeling has been successfully obtained, overflow of lahar flow is identified by buffer of demarcation of river. This research obtained a lahar flow simulation which has an impact area of 724.553 ha (8.97%) in 10 villages in Sleman Regency including Argomulyo, Bimomartani, Glagaharjo, Hargobinangun, Kepuharjo, Selomartani, Sindumartani, Tamanmartani, Umbulharjo and Wukirsari villages. Argomulyo village is the most impacted village with an area of 206.335 ha (28.48%). As much as 593.117 ha (81.86%) of the lahar flow into zone of river border. Based on these, to reduce disaster losses the government can educate residents not to carry out activities in the zone.*

Keywords: HEC-HMS, HEC-RAS, Lahar, Watershed

**) Penulis Penanggung Jawab*

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Letusan gunung api dapat membahayakan bagi kelangsungan hidup manusia yaitu terjadinya kematian manusia dan kehancuran properti. Peristiwa letusan gunung api berpengaruh secara langsung (primer) maupun tidak langsung (sekunder) (Tilling, 1989). Bahaya langsung dari letusan gunung api antara lain longsoran puing, letusan lateral, semburan lumpur, leleran lava, aliran piroklastik, jatuhnya piroklastik, gas vulkanik beracun. Bahaya tidak langsung dari letusan gunung api antara lain semburan lumpur sekunder, efek atmosfer, gempa bumi disebabkan magma dan longsoran vulkanik.

Gunung Merapi berada di wilayah Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta serta Jawa Tengah meliputi Kabupaten Magelang, Boyolali dan Klaten. Sejarah letusan Gunung Merapi besar pada abad 21 terjadi pada tahun 2010. Jarak waktu erupsi terdekat dari tahun 2010 adalah erupsi tahun 2006 dan 2018. Tahun 2006 erupsi diawali dengan pertumbuhan kubah lava dan pada puncak erupsi terdapat awan panas. Erupsi tahun 2010 muncul kolom letusan awan panas, serta material letusan kala itu mencapai 130 juta m³. Erupsi tahun 2018 didominasi oleh pelepasan gas serta menghasilkan material kurang dari 100.000 m³ dengan lontaran radius kurang dari 3 km dari puncak (Sabandar, 2018). Ancaman lain adalah banjir lahar yang menerjang daerah aliran sungai yang tersebar di lereng Gunung Merapi.

Lahar yang terjadi pada Gunung Merapi terbentuk dari endapan lapisan piroklastik. Curah hujan tinggi dengan durasi yang panjang dapat mengakibatkan endapan material piroklastik tersebut berubah menjadi aliran lahar. Aliran lahar pada Gunung Merapi mulai terbentuk pada ketinggian seribu hingga dua ribu meter. Sepanjang perjalanan dari hulu ke hilir, aliran lahar merusak tutupan lahan seperti pemukiman warga, perkebunan, hutan. Penanggulangan bencana akibat letusan gunung api perlu diupayakan penekanan terjadinya korban dan kerugian harta. Sampai saat ini, apabila terdapat hujan dengan intensitas yang tinggi maka terjadi banjir lahar di sungai yang berhulu di Gunung Merapi. Daerah aliran sungai (DAS) Gendol-Opak merupakan salah satu DAS yang memiliki ancaman banjir lahar.

Bencana banjir lahar dapat terjadi jika aliran lahar meluap dari sempadan sungai. Aktivitas warga lereng Gunung Merapi banyak dilakukan di sekitar aliran sungai. Sempadan sungai digunakan untuk aktivitas sungai. Idealnya sempadan sungai tidak diperuntukkan untuk aktivitas manusia seperti pemukiman, namun dapat digunakan untuk hutan maupun ditanami pohon sebagai pelindung sungai.

Penelitian tentang aliran lahar sebagai salah satu jenis aliran debris telah banyak dilakukan. Beberapa jenis *software* yang digunakan untuk simulasi aliran lahar adalah LAHARZ, SIMLAR dan HyperKANAKO. *Software* LAHARZ merupakan *software open source* yang menyimulasikan aliran lahar dengan parameter volume endapan lahar tanpa

parameter curah hujan. SIMLAR merupakan produk yang digunakan oleh peneliti dari pemerintah dan tidak bersifat *open source*. *Software* tersebut dapat menyimulasikan aliran lahar dengan parameter curah hujan, koefisien Manning dan morfologi sungai. HyperKANAKO merupakan *software* dari Jepang bersifat tidak *open source*. HyperKANAKO dapat menyimulasikan aliran lahar dengan parameter curah hujan, koefisien Manning, waktu simulasi dan *terrain*.

HEC-HMS dan HEC-RAS merupakan aplikasi berbasis *open source*. *Software* HEC-HMS digunakan untuk menghitung debit banjir rencana. Parameter untuk menentukan debit banjir rencana antara lain data curah hujan, kemudian nilai CN (*Curve Number*) dan *Impervious* dihitung dari jenis tanah, penggunaan lahan dan luas sub-DAS. Debit aliran lahar dihitung dari penambahan koefisien C* pada debit banjir rencana. *Software* HEC-RAS digunakan untuk simulasi aliran lahar. Parameter yang digunakan antara lain koefisien Manning, geometri data, debit aliran lahar dan *terrain*.

Kajian ini menggunakan metode pengolahan serta analisis Penginderaan Jauh, Sistem Infotmasi Geografis dan Analisis Hidrologi. Penginderaan jauh dimanfaatkan untuk klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra satelit resolusi menengah. Analisis hidrologi menggunakan *software* HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System*) dan HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*) untuk membuat model aliran lahar. Sistem Informasi Geografis digunakan sebagai analisis spasial aliran lahar menggunakan DEM resolusi menengah. Dengan mengetahui bahaya aliran lahar dapat meningkatkan kewaspadaan terhadap ancaman di masa mendatang.

I.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana luas dampak aliran lahar terhadap suatu wilayah?
2. Bagaimana luas aliran lahar terhadap batas sempadan sungai berdasarkan Peraturan Menteri PUPR RI Nomor 28/PRT/M/2015?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Memperoleh luasan wilayah yang terdampak aliran lahar
2. Memperoleh luasan aliran lahar terhadap batas sempadan sungai berdasarkan Peraturan Menteri PUPR RI Nomor 28/PRT/M/2015.

I.4 Batasan Masalah

Agar ruang lingkup penelitian yang dibahas tidak terlalu jauh dari kajian masalah, maka penelitian ini dibatasi pada hal – hal berikut :

1. Analisis aliran lahar dibatasi pada wilayah studi DAS Gendol-Opak.
2. Jenis lahar adalah lahar hujan.
3. DAS Gendol-Opak pada penelitian ini adalah Kali Gendol (Sub-DAS Opak) dan Kali Opak

- (DAS utama) dengan batas Kali Opak adalah mengacu pada batas dari basin.
4. Batas DAS Gendol-Opak deliniasi dari wilayah basin menggunakan analisis *watershed* pada *software* ArcGIS.
 5. Analisis *watershed* menggunakan data DEM (*Digital Elevation Model*) Nasional (DEMNAS).
 6. Parameter untuk analisis hidrologi antara lain curah hujan, penggunaan lahan, jenis tanah, batas DAS dan batas sub-DAS dan koefisien Manning.
 7. Perhitungan debit banjir rencana dilakukan pada *software* HEC-HMS untuk mengetahui data hidrograf dan debit banjir dari data curah hujan 9 tahun (2010-2018) tiga stasiun hujan terdekat DAS Gendol-Opak (Stasiun Sopalán, Sorasan dan Randugunting).
 8. Debit maksimum dihasilkan dari perhitungan *software* AProb.
 9. Debit banjir lahar dihitung dari rumus $Q_p = (1+C^*)Q_0$.
 10. Parameter penggunaan lahan dibuat berdasarkan klasifikasi tutupan lahan.
 11. Pemodelan aliran lahar dilakukan pada *software* HEC-RAS.
 12. Klasifikasi tutupan lahan menggunakan klasifikasi *supervised* pada citra satelit resolusi menengah dengan koreksi geometrik dan radiometrik serta penajaman citra menggunakan *band panchromatic*.
 13. Klasifikasi tutupan lahan terdiri dari hutan, pasir, pertanian, pemukiman/bangunan, kebun dan lahan kosong. Verifikasi lapangan dilakukan pada tiap-tiap kelas klasifikasi kecuali hutan.
 14. Simulasi aliran lahar tidak memperhatikan bangunan pengendali banjir lahar seperti sabo dam.

I.5 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian tugas akhir ini merupakan salah satu sungai yang berhulu di Kawasan Gunung Merapi yaitu Daerah Aliran Sungai Gendol-Opak. Letak koordinat penelitian ini pada 7°35'32,43" LS dan 110°27'10,77" BT.
2. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :
 - a. *Hardware*
 - i. Laptop Acer E 14 Intel ® Core TM i5-4210U 1.7 Ghz with Turbo Boost up to 2.7 GHz
 - ii. Garmin GPSmap 64s
 - b. *Software*
 - i. HEC-HMS 4.3
 - ii. HEC-RAS 5.0.6
 - iii. ArcMap 10.4.1
 - iv. Global Mapper 17.0
 - v. Garmin BaseCamp 4.7.0
 - vi. ENVI 5.1
 - vii. Aprob 4.1
 - viii. Microsoft Word 2016
 - ix. Microsoft Excel 2016

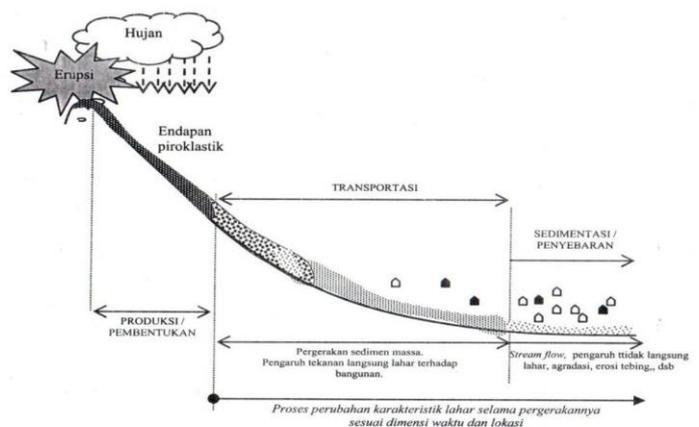
- x. Microsoft Visio 2016
3. Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :
 - a. DEMNAS dari BIG
 - b. Citra Landsat 8 bulan Juni 2019 dari USGS
 - c. Data curah hujan tahun 2010-2018 Stasiun Pengamatan Hujan Randugunting, Sopalán dan Sorasan dari Balai Litbang Sabo
 - d. Peta jenis tanah Jawa Tengah-DIY dari BPN Provinsi Jawa Tengah
 - e. Peta RBI 1:25.000 Kabupaten Sleman dan Klaten dari BIG

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Lahar

Lahar merupakan istilah dari Jawa yang berarti campuran debris batuan dan air yang mengalir dengan cepat, konsentrasi tinggi dan sedimen-sarat yang tidak tercampur dengan baik dari gunung berapi (Lavigne dkk, 2007). Aliran lahar terbentuk dari endapan material piroklastik hasil erupsi gunung api yang berada di puncak atau bagian hulu alur sungai. Endapan material piroklastik yang dipengaruhi curah hujan tinggi dan durasi panjang akan berubah endapan tersebut menjadi aliran lahar. Aliran lahar secara mekanisme pergerakan merupakan bentuk aliran debris, sehingga lahar merupakan salah satu jenis dari aliran debris.

Kusumosubroto pada 2013 menjelaskan perbedaan lahar secara genetik terbagi menjadi lahar letusan (primer) dan lahar hujan (sekunder). Lahar letusan terbentuk dari erupsi gunung api yang memiliki danau kawah, seperti Gunung Kelud Jawa Timur. Lahar hujan terbentuk dari endapan material piroklastik yang berubah menjadi jenuh karena terkena air hujan dalam jumlah besar seperti terjadi di Gunung Merapi, Gunung Semeru dan lain-lain. Ilustrasi proses terjadinya aliran lahar hujan pada gunung api terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1 Proses Terjadinya Aliran Lahar Hujan Pada Gunung Api (Kusumosubroto, 2013)

II.2 Daerah Aliran Sungai (Watershed)

Menurut Asdak pada 1995, Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah yang di batasi punggung-punggungan gunung dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung oleh punggung gunung tersebut dan dialirkan melalui

sungai-sungai kecil ke sungai utama (Raharjo dkk, 2016). Analisis dengan menggunakan data permukaan digital untuk penentuan aliran air pada suatu wilayah sering disebut sebagai analisis *watershed*. Analisis *watershed* dapat dilakukan menggunakan data DEM. Hasil analisis *watershed* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Watershed (ESRI, 2013)

Watershed memiliki beberapa komponen seperti batas dari *watershed*, sub-basin, *drainage divides*, jaringan sungai, dan *outlet*. Sub-basin merupakan aliran sungai yang lebih kecil. *Drainage divides* adalah batas antara daerah aliran sungai. *Outlet* atau *pour point*, adalah titik di permukaan di mana air mengalir keluar dari suatu daerah, serta merupakan titik terendah di sepanjang batas DAS.

II.3 Klasifikasi Supervised

Klasifikasi *Supervised* meliputi sekumpulan algoritma yang didasari pemasukan contoh objek (berupa nilai spektral) oleh operator (Danoedoro, 2012). Sampel merupakan contoh objek, sedangkan lokasi geografis kelompok piksel sampel disebut sebagai *training area*. Proses *training area* untuk sampel oleh peneliti digunakan untuk memberikan identifikasi bagi komputer dalam mengenal objek berdasarkan nilai spektralnya.

Algoritma klasifikasi sangat menentukan akurasi dari Klasifikasi *Supervised*. Pengambilan sampel secara digital oleh analisis pada dasarnya merupakan cara “melatih” komputer untuk mengenali objek berdasarkan kecenderungan spektralnya (Danoedoro, 2012). Klasifikasi dilakukan dengan cara menyamakan persepsi visual dari peneliti dengan komputer (*software* pengolah citra). Pada proses klasifikasi diperlukan kemampuan yang baik dalam memilih *training sampel area* agar dapat diterjemahkan dengan baik oleh *software*.

II.4 Sempadan Sungai

Garis sempadan sungai adalah garis maya di kiri dan kanan palung sungai yang ditetapkan sebagai batas perlindungan sungai. Batas sempadan sungai mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28/PRT/M/2015 tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Garis Sempadan Danau. Garis sempadan digunakan untuk memberikan fungsi agar sungai tidak terganggu oleh aktivitas di sekitarnya.

Garis sempadan sungai besar tidak bertanggung di luar kawasan perkotaan ditentukan paling sedikit berjarak 100 m dari tepi kiri dan kanan palung sungai sepanjang alur sungai. Garis sempadan sungai kecil tidak bertanggung di luar kawasan perkotaan, ditentukan

paling sedikit 50 m dari tepi kiri dan kanan palung sungai sepanjang alur sungai.

II.5 HEC-HMS

HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center–Hydrologic Modeling System*) adalah *software* yang dikembangkan oleh *U.S Army Corps of Engineering*. *Software* ini digunakan untuk analisis hidrologi dengan mensimulasikan proses curah hujan dan limpasan langsung (*run off*) dari sebuah wilayah sungai. HEC-HMS didesain untuk bisa diaplikasikan dalam area geografik yang sangat luas untuk menyelesaikan masalah, meliputi suplai air daerah pengaliran sungai, hidrologi banjir dan limpasan air di daerah kota kecil ataupun kawasan tangkapan air alami (Feldman, 2000).

Perhitungan model HEC-HMS adalah data curah hujan sebagai input air untuk satu atau beberapa sub-basin. Jenis data input berupa intensitas, volume, atau kumulatif volume hujan. Setiap sub-basin dianggap sebagai sebuah tandon yang tidak linear dengan data hujan sebagai *inflownya*. Komponen yang keluar dari sub-basin antara lain aliran permukaan, infiltrasi dan penguapan.

II.6 HEC-RAS

HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*) adalah *software* yang dikembangkan oleh *US Army Corps of Engineers*. *Software* ini dapat digunakan untuk menghitung aliran tetap (*Steady Flow*) dan aliran tidak tetap (*Unsteady Flow*).

HEC-RAS memiliki komponen analisis sungai untuk perhitungan profil permukaan air aliran tetap, simulasi aliran tidak stabil satu dimensi dan / atau dua dimensi, perhitungan transportasi sedimen batas bergerak yang tidak stabil atau sepenuhnya tidak stabil dan analisis kualitas air (Brunner, 2016). HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik serta pelaporan.

II.7 Debit Banjir Lahar

Pada penelitian ini, debit banjir lahar dihitung dengan pendekatan debit banjir rencana hasil analisis hidrologi. Pendekatan ini mengacu pada persamaan yang ada pada Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan Teknis Tanggul pada Sungai Lahar oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah Tahun 2004 yang ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$Q_p = (1 + C^*)Q_0 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

Q_p = debit sedimen rencana/debit banjir lahar (m³/s)

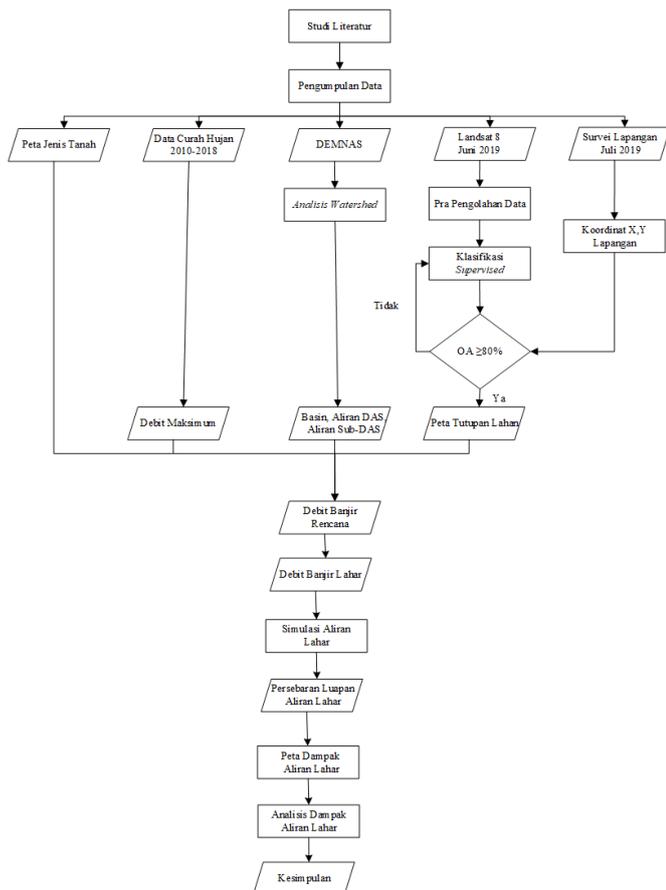
C^* = konsentrasi butiran dalam volume material debris pada dasar sungai sebelum bergerak

Q_0 = debit banjir rencana (m³/s)

III. Metodologi Penelitian

III.1 Pengolahan Data

Secara garis besar tahapan penelitian dijabarkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir penelitian

III.2 Alur Penelitian

Pada penelitian ini dengan langkah dibagi menjadi tiga proses, yang terdiri dari:

1. Tahap persiapan
 - a. Studi Literatur
 - b. Pengumpulan data yang dibutuhkan
 - c. Pemahaman data yang akan digunakan sebagai bahan penelitian
 - d. Pemahaman metode penelitian untuk memecahkan masalah yang akan diteliti
2. Tahap pengolahan data

Tahap pengolahan data pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian yaitu

- a. Deliniasi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Data yang digunakan pada pengolahan ini adalah DEMNAS menggunakan analisis *watershed* pada *software* ArcMap. Analisis *watershed* digunakan untuk mendapatkan Daerah Aliran Sungai (DAS), sub-DAS dan basin pada Kali Gendol-Opak sebagai parameter perhitungan dalam analisis hidrologi.

- b. Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi *supervised* digunakan untuk mengklasifikasi tutupan lahan yang ada pada wilayah studi kasus. Klasifikasi ini sebagai data masukan untuk mengetahui penggunaan lahan yang disyaratkan pada parameter analisis hidrologi. Landsat 8 digunakan sebagai citra yang diolah menggunakan *software* ENVI.

- c. Pengolahan Hidrologi

Pada pengolahan hidrologi dimulai dengan membuat *polygon Thiessen* untuk mendapatkan curah hujan

maksimum dari tiga stasiun pengamatan hujan. Penentuan nilai CN dan *Impervious* menggunakan beberapa parameter di antaranya penggunaan lahan, jenis tanah dan sub-DAS. Perhitungan frekuensi curah hujan rencana menggunakan *software* AProb, dan menghitung intensitas curah hujan. Berdasarkan beberapa nilai yang dihasilkan tersebut dimasukkan sebagai data *input* ke dalam *software* HEC-HMS.

- d. Pengolahan Debit Banjir Rencana

Pengolahan debit banjir rencana menggunakan *software* HEC-HMS. HEC-HMS adalah suatu program analisa yang digunakan untuk mencari debit rencana dari tiap penggal sungai dalam suatu DAS. Hasil *output* berupa debit yang akan digunakan untuk debit rencana dalam perhitungan selanjutnya.

Tahapan dalam perhitungan debit banjir rencana yaitu menghitung parameter kondisi fisik DAS Gendol-Opak (*Basin Model*). Pada perhitungan parameter kondisi fisik harus diketahui kemiringan sungai dari hulu hingga ke hilir, selanjutnya luas dan Panjang subDAS, kemudian elevasi dan kemiringan sub-DAS dari hulu hingga ke hilir untuk menghitung waktu konsentrasi (*tc*) dan *lag time* (*L*).

- e. Perhitungan Debit Banjir Lahar

Banjir lahar adalah salah satu jenis dari aliran debris di daerah gunung api yang terbentuk dari air dan sedimen. Debit banjir lahar dihitung menggunakan Persamaan 1 dimana nilai C^* sebesar 0,6 untuk aliran debris.

- f. Pengolahan HEC-RAS

Pengolahan HEC-RAS digunakan untuk memodelkan aliran lahar di DAS Gendol-Opak terutama di alur utama sungai yakni Kali Gendol dan Kali Opak. Pemodelan menggunakan jenis *unsteady flow* karena kecepatan pada lokasi berubah terhadap waktu. Hal tersebut dikarenakan aliran lahar yang memiliki perubahan kecepatan karena material sedimen yang dibawa oleh aliran air. Parameter yang dibutuhkan ialah nilai kekasaran pada penampang sungai (koefisien Manning).

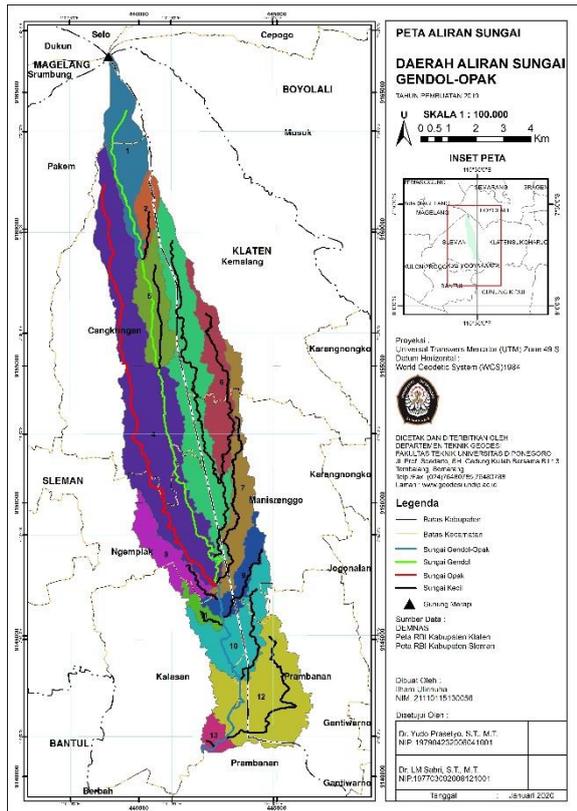
IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil Deliniasi Daerah Aliran Sungai

Setelah dilakukan deliniasi DAS menggunakan analisis *watershed*, diperoleh aliran sungai dan luasan DAS atau basin. Hasil dari analisis *watershed* dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 1 menunjukkan panjang setiap sub-DAS dan luas dari tiap sub-DAS.

Tabel 1 Luas dan Panjang Sub-DAS

No.	Nama Sub-DAS	Luas Sub-DAS (ha)	Panjang Sub-DAS (m)
1	Sub-DAS 1	586,708	6.114,547
2	Sub-DAS 2	168,337	1.894,006
3	Sub-DAS 3	1.259,605	15.181,932
4	Sub-DAS 4	2.173,972	18.759,065
5	Sub-DAS 5	442,530	3.977,450
6	Sub-DAS 6	529,096	7.997,504
7	Sub-DAS 7	515,645	7.742,866
8	Sub-DAS 8	326,822	2.211,932
9	Sub-DAS 9	253,821	3.632,939
10	Sub-DAS 10	584,499	4.512,801
11	Sub-DAS 11	90,899	1.275,585
12	Sub-DAS 12	1.035,971	7.564,745
13	Sub-DAS 13	107,689	433,674



Gambar 4 Peta Aliran Sungai DAS Gendol-Opak

IV.2 Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan

Hasil dari klasifikasi supervised terdapat enam kelas tutupan lahan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Luas Tutupan Lahan

No.	Kelas Tutupan Lahan	Luas (ha)
1	Hutan	307,818
2	Pasir	343,850
3	Pemukiman	1.769,366
4	Kebun	2.733,419
5	Pertanian	2.326,883
6	Lahan Kosong	594,259

Pada proses klasifikasi supervised membutuhkan penilaian akurasi dari hasil klasifikasi tersebut. Tingkat akurasi dapat diuji menggunakan matriks konfusi. Akurasi dapat dihitung menggunakan matriks konfusi antara lain *producer's accuracy*, *user's accuracy*, *overall accuracy* dan *kappa coefficient*.

Pada penelitian ini perhitungan matriks konfusi menggunakan titik sampel lapangan dari masing-masing kelas dengan pengecualian kelas hutan yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Matriks Konfusi

	Pertanian	Lahan Kosong	Pemukiman	Kebun	Pasir	Jml
Pertanian	28	2	0	1	0	31
Lahan Kosong	3	5	1	2	3	14
Pemukiman	0	0	20	0	0	20
Kebun	4	1	0	23	0	28
Pasir	0	1	0	0	6	7
Jumlah	35	9	21	26	9	100

Hasil pada matriks konfusi pada Tabel 3 menunjukkan nilai *Producer's Accuracy* bernilai 77,18%, *User's Accuracy* bernilai 78,78%, *Overall Accuracy* bernilai 82,00% dan *Kappa Coefficient* memiliki nilai 0,763. Pada penelitian ini menggunakan

nilai *overall accuracy* $\geq 80\%$ (Julzarika dan Carolita, 2015) untuk hasil klasifikasi dapat dilanjutkan untuk proses selanjutnya.

IV.3 Hasil Pengolahan Debit Banjir Rencana

Debit banjir dihasilkan dari data analisis curah hujan selama 9 tahun, *lag time* pada tiap-tiap sub-DAS dan *reach* serta parameter-parameter seperti CN dan *Impervious* yang dimasukkan pada HEC-HMS. Debit banjir rencana pada kala ulang 10 tahun terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4 Debit Banjir Rencana

Date	Time	Inflow From Reach 4 (m ³ /s)	Inflow From Subbasin 4 (m ³ /s)	Outflow (m ³ /s)
01-Jan-19	00:00	0,00	0,00	0,00
01-Jan-19	01:00	95,70	47,70	143,40
01-Jan-19	02:00	240,30	121,40	361,70
01-Jan-19	03:00	256,30	144,30	400,60
01-Jan-19	04:00	215,00	137,80	352,70
01-Jan-19	05:00	196,40	123,60	320,00
01-Jan-19	06:00	119,30	85,40	204,60
01-Jan-19	07:00	31,30	36,80	68,20
01-Jan-19	08:00	9,80	14,60	24,40
01-Jan-19	09:00	4,60	5,60	10,30
01-Jan-19	10:00	3,10	2,10	5,20
01-Jan-19	11:00	0,20	0,70	0,90
01-Jan-19	12:00	2,00	0,20	2,20
01-Jan-19	13:00	0,20	0,00	0,20
01-Jan-19	14:00	1,40	0,00	1,40
01-Jan-19	15:00	0,40	0,00	0,40
01-Jan-19	16:00	0,90	0,00	0,90
01-Jan-19	17:00	0,50	0,00	0,50
01-Jan-19	18:00	0,40	0,00	0,40
01-Jan-19	19:00	0,60	0,00	0,60
01-Jan-19	20:00	0,10	0,00	0,10
01-Jan-19	21:00	0,60	0,00	0,60
01-Jan-19	22:00	-0,10	0,00	0,00
01-Jan-19	23:00	0,60	0,00	0,60
02-Jan-19	00:00	-0,20	0,00	0,00

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bahwa debit puncak (*Peak Outflow*) dari kala ulang 10 tahun terletak pada tanggal 1 Januari 2019 pukul 03.00 dengan debit pada *outflow* sebesar 400,6 m³/s.

IV.4 Hasil Perhitungan Debit Banjir Lahar

Hasil debit banjir lahar didasarkan bahwa aliran lahar merupakan campuran dari volume air dan sedimen yang menghasilkan debit banjir lebih besar dibandingkan dengan debit banjir air. Debit banjir lahar kala ulang 10 tahun didapatkan hasil pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan bahwa debit puncak terletak pada jam ke-3 yakni sebesar 640,96 m³/s.

Tabel 5 Debit Banjir Lahar

Jam	Debit Banjir Rencana (m ³ /s)	Debit Banjir Lahar (m ³ /s)
0	0,00	0,00
1	143,40	229,44
2	361,70	578,72
3	400,60	640,96
4	352,70	564,32
5	320,00	512,00
6	204,60	327,36
7	68,20	109,12
8	24,40	39,04
9	10,30	16,48
10	5,20	8,32
11	0,90	1,44
12	2,20	3,52
13	0,20	0,32
14	1,40	2,24
15	0,40	0,64
16	0,90	1,44
17	0,50	0,80
18	0,40	0,64
19	0,60	0,96
20	0,10	0,16
21	0,60	0,96
22	0,00	0,00
23	0,60	0,96
24	0,00	0,00

IV.5 Hasil Pengolahan HEC-RAS

IV.5.1 Hasil Simulasi Aliran Lahar

Pemodelan dilakukan menggunakan *software* HEC-RAS dengan skema pemodelan analisa *unsteady flow*. Skema pemodelan ini dengan memasukkan data debit banjir lahar dan waktu simulasi diatur sesuai estimasi waktu aliran lahar. Selain itu, untuk pemodelan dibutuhkan beberapa hal antara lain DEMNAS sebagai *terrain* untuk mengalirkan debit, dan pembuatan *geometric data*.



Gambar 5 Simulasi Aliran Lahar

Sifat lahar memiliki kesamaan dengan air yaitu mengalir dari hulu atau tempat yang lebih tinggi ke hilir atau tempat yang lebih rendah. Lahar mengalir dengan membawa material vulkanik ditambah dengan air. Lahar akan berhenti pada suatu titik karena berkurangnya debit serta pengurangan percepatan aliran karena material yang terbawa habis akibat terendapnya material di sepanjang alur. Jangkauan akhir aliran lahar pada kala ulang 10 tahun sejauh 23.703,444 meter terletak di Desa Tamanmartani, Kecamatan Kalasan, Kabupaten Sleman.

Pada Gambar 5, aliran lahar hasil pengolahan HEC-RAS ditampilkan dengan *map layer google satellite* pada perintah *Add Web Imagery Layer* yang terjadi pada daerah kajian. Pada gambar tersebut terdapat nilai kedalaman 7,095 meter, hal ini terjadi karena pada bagian tersebut merupakan aliran sungai sehingga kedalaman mencapai nilai tersebut. Nilai 0,217 meter menunjukkan kedalaman dari luapan lahar, yang ditunjukkan pada Gambar 5 yakni titik aliran dari luapan pada daerah aliran dan Gambar 6 menunjukkan titik pada *google satellite*.



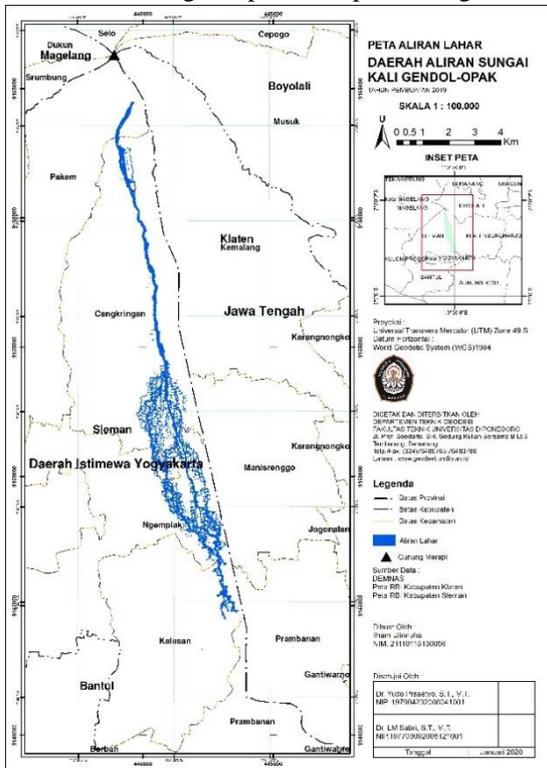
Gambar 6 Tampilan Google Satellite Pada Daerah Aliran IV.6 Analisis Dampak Aliran Lahar Pada Wilayah

Aliran lahar melewati dan berdampak pada beberapa desa dari hulu sampai hilir sungai dimana aliran lahar berhenti. Hasil simulasi menunjukkan aliran lahar berdampak pada 10 desa seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Tabel 6 menunjukkan luas dampak aliran lahar terhadap masing-masing wilayah dalam satuan desa di daerah aliran sungai Gendol-Opak.

Tabel 6 Luas Wilayah Terdampak Aliran 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	80,288	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	100,00%

Desa yang terdampak aliran lahar paling luas adalah Desa Argomulyo dengan luas 206,335 ha (28,48%). Desa Argomulyo menjadi desa yang memiliki dampak dari aliran lahar terluas karena luapan aliran lahar mencapai jauh dari aliran utamanya. Faktor kedalaman sungai yang rendah membuat volume aliran yang seharusnya dapat melewati aliran sungai dapat meluap dari sungai.



Gambar 7 Peta Aliran Lahar

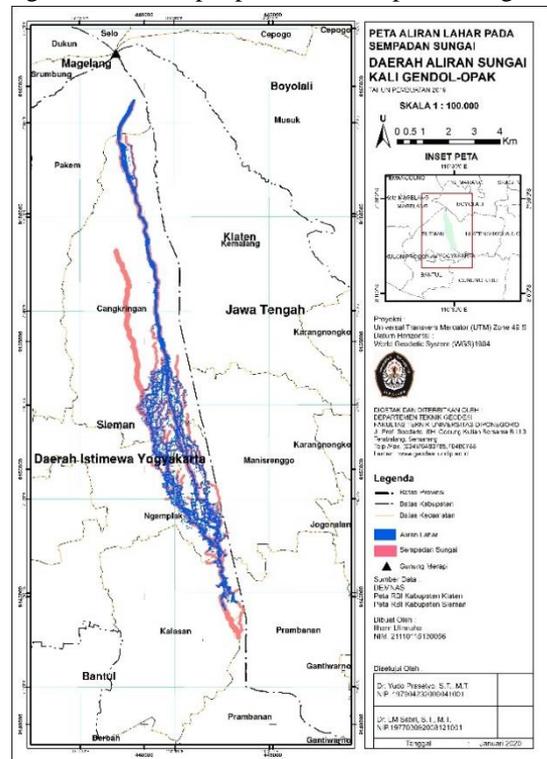
IV.7 Analisis Aliran Lahar Berdasarkan Garis Sempadan Sungai

Aliran lahar yang masih masuk zona batas garis sempadan sungai menunjukkan bahwa aliran tersebut bukan merupakan suatu bencana dan sebaliknya, karena sempadan sungai diperuntukkan untuk aktivitas sungai agar tidak terganggu oleh aktivitas di sekitarnya. Luasan masing-masing desa terdampak aliran lahar yang berada pada luar zona garis sempadan sungai ditunjukkan pada Tabel 7 serta ditunjukkan pada Gambar 8.

Tabel 7 Luas Desa Terdampak Aliran Lahar Luar Garis Sempadan Sungai

Desa	Luas Terdampak (ha)	Luas Terdampak Terhadap Total Luas Simulasi (%)
Argomulyo	44,916	6,20%
Bimomartani	23,396	3,23%
Glagaharjo	0,732	0,10%
Hargobinangun	0,922	0,13%
Kepuharjo	8,397	1,16%
Selomartani	0,911	0,13%
Sindumartani	41,861	5,78%
Tamanmartani	8,587	1,19%
Umbulharjo	0,032	0,00%
Wukirsari	1,682	0,23%
Luas (Pada Luar Garis Sempadan Sungai)	131,437	18,14%
Luas Total Simulasi	724,553	

Berdasarkan Tabel 7 menunjukkan bahwa dampak aliran lahar yang meluap melebihi batas garis sempadan sungai masing-masing berjumlah 131,437 ha (18,14%) dari luas total hasil simulasi atau berjumlah 724,553 ha (81,86%) yang berada pada zona sempadan sungai. Mengacu pada nilai tersebut menunjukkan bahwa aliran lahar hasil simulasi sebagian besar terdapat pada zona sempadan sungai.



Gambar 8 Peta Aliran Lahar Pada Sempadan Sungai

IV.8 Hasil Verifikasi Lapangan

Verifikasi dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil simulasi aliran lahar dengan kondisi di lapangan yang terjadi akibat erupsi tahun 2010. Kondisi di lapangan mengenai terjadinya aliran lahar dilakukan wawancara terhadap warga di sekitar lokasi titik sampel. Sampel berjumlah 37 titik, jumlah sampel minimal sebanyak 30 untuk dapat mewakili populasi (Roscoe, 1975 pada Amirullah, 2015).

Kesesuaian diukur dari persamaan kondisi dari kejadian di lapangan dan hasil simulasi. Apabila di lapangan terjadi aliran lahar dan di simulasi juga terjadi aliran lahar maka masuk kategori sesuai. Kemudian jika di lapangan tidak terjadi aliran lahar dan pada simulasi terjadi aliran lahar maka masuk kategori tidak sesuai. Presentasi kesesuaian hasil verifikasi dihitung dari jumlah sesuai dibagi jumlah sampel.

Berdasarkan verifikasi lapangan, jumlah simulasi dengan data lapangan adalah 28 titik dari 37 titik sampel. Presentase kesesuaiannya sebesar 75,6 %. Hal ini menunjukkan bahwa simulasi aliran lahar hampir mendekati kenyataan di lapangan. Menurut pengamatan di lapangan oleh penulis, ketidaksesuaian simulasi dengan data di lapangan diakibatkan hasil simulasi melebihi batas aliran lahar di lapangan (*over estimate*).

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Aliran lahar memiliki luas dampak sebesar 724,553 ha (8,97%) pada wilayah Desa Argomulyo, Bimomartani, Glagaharjo, Hargobinangun, Kepuharjo, Selomartani, Sindumartani, Tamanmartani, Umbulharjo dan Wukirsari. Berdasarkan hasil verifikasi di lapangan dengan tingkat kesesuaian sebesar 75,68%, simulasi aliran lahar dengan pendekatan air menggunakan *software* HEC-HMS dan HEC-RAS dapat mendekati kenyataan di lapangan.
2. Luas aliran lahar terhadap batas sempadan sungai berdasarkan Peraturan Menteri PUPR RI Nomor 28/PRT/M/2015 sebesar 593,117 ha (81,86%) berada pada zona sempadan sungai. Hal tersebut menunjukkan bahwa aliran lahar sebagian besar terdapat pada zona sempadan sungai. Pemerintah dapat melakukan upaya mengurangi kerugian bencana dengan memberikan edukasi kepada warga agar tidak melakukan aktivitas di zona tersebut. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan agar selanjutnya lebih baik pada jenis penelitian yang sama, terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. Pemahaman tentang aliran lahar harus lebih baik lagi, karena aliran lahar merupakan kasus yang sangat kompleks.
2. Pastikan data-data yang dibutuhkan untuk seluruh parameter pengolahan pada HEC-HMS telah lengkap dan tersedia untuk daerah aliran sungai yang akan diteliti.
3. Pengolahan aliran lahar menggunakan HEC-HMS dan HEC-RAS perlu dikaji lebih jauh lagi agar hasil aliran lahar lebih mendekati keadaan nyata.
4. Tindakan mitigasi aktif untuk pengendalian aliran lahar seperti sabo dam telah banyak dibangun, sehingga parameter perhitungan keberadaan sabo dam perlu untuk diperhatikan agar mendapatkan hasil pemodelan yang lebih nyata.
5. Pada penelitian ini, aliran lahar menggunakan pendekatan air, untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan uji sampel terhadap aliran lahar untuk mengetahui kecepatan aliran, jenis dan bentuk material.

DAFTAR PUSTAKA

Amirullah. 2015. Metode Penelitian Manajemen. Malang: Bayumedia Publishing

Brunner, G.W. 2016. HEC-RAS *User's Manual*. California: U.S Army Corps of Engineering

Danoedoro, P. 2012. Pengantar Penginderaan Jauh Digital. Yogyakarta: Penerbit Andi

Feldman, A.D. 2000. HEC-HEM *Technical Reference Manual*. California: U.S Army Corps of Engineering

Julzarika, A., dan Carolita, I. 2015. Klasifikasi Penutup Lahan Berbasis Objek Pada Citra Satelit Spot Dengan Menggunakan Metode Tree Algorithm. *Majalah Ilmiah*

Globe. Volume 17. No 2. Hal 97-104

Kusumosubroto, H. 2013. Aliran Debris dan Lahar: Pembentukan, Pengaliran, Pengendapan dan Pengendaliannya. Yogyakarta: Graha Ilmu

Lavigne, F., Thouret, J.C., Hadmoko, D.S., dan Sukatja, C.B. 2007. *Lahars In Java: Initiations, Dynamics, Hazard Assessment and Deposition Processes*. Forum Geografi. Volume 21. No 1. Hal 17-32

PUPR. 2004. Pedoman Konstruksi Bangunan : Perencanaan Teknis Tanggul Pada Sungai Lahar. Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor : 360/KPTS/M/2004. Jakarta:PUPR

PUPR. 2015. Penetapan Garis Sempadan Sungai Dan Garis Sempadan Danau . Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28/Prt/M/2015. Jakarta: PUPR

Raharjo, P.D., Winduhutomo, S., Widayanto, K., dan Puswanto, E. 2016. Analisa Hidrologi Permukaan Dalam Hubungannya Dengan Debit Banjir Das Lukulo Hulu Dengan Menggunakan Data Penginderaan Jauh. *Jurnal Geografi*. Volume 3. No 2. Hal 164-224

Tilling, R.I. 1989. *Volcanic Hazard and Their Mitigation: Progress and Problems*. California. Reviews of Geophysics. U.S. Geological Survey. Volume 27. Edisi 2. Hal 237-269

Pustaka dari internet :

ESRI. 2013. *Understanding Drainage Systems*. http://webhelp.esri.com/arcgisdesk-top/9.3/printBooks_topics.cfm?pid=6050 diakses pada 7 Juli 2019

Sabandar, S. 2018. Cek Perbandingan Letusan Merapi 2006, 2010, dan 2018. <https://www.liputan6.com/regional/read/3552188/cek-perbandingan-letusan-merapi-2006-2010-dan-2018> diakses pada 15 November 2019