

DIPA PENELITIAN

**LAPORAN PENELITIAN
HIBAH BERBASIS DIPA FT UNILA**



**PEMODELAN ANALISIS SPASIAL ALIRAN LAHAR DINGIN
UNTUK MITIGASI BENCANA GUNUNG MERAPI**

Oleh:

Armijon, S.T., M.T	NIDN.0010047307	Ketua
Setyanto, Ir., M.T	NIDN.0030085503	Anggota
G.Perangin Angin, Ir., M.T	NIDN.0020035703	Anggota
Eko Rahmadi., S.T., M.T	NIDN.0010027107	Anggota
DR. Eng. Alexander Purba., S.T., M.T	NIDN.0007116803	Anggota

**PROGRAM STUDI T.GEODESI
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018**

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG TAHUN 2018**

Judul : PEMODELAN ANALISIS SPASIAL ALIRAN LAHAR DINGIN
UNTUK MITIGASI BENCANA GUNUNG MERAPI

Jenis Hibah : DIPA Senior DIPA Junior

Tim Peneliti

No.	Nama Lengkap	NIDN	Jabatan	Jurusan	Nomor HP dan E-mail
1.	Armijon, ST.,MT.	0010047307	Asisten Ahli	T. Geodesi	081273360000 Armijon.1973@eng.unila.ac.id
2.	Setyanto, Ir., M.T	0030085503	Lektor Kepala	T. Sipil	0811722484 Setni_nke@yahoo.com
3.	G.Perangin Angin, Ir., M.T	0020035703	Lektor	T. Sipil	081379771101 tigg.unihazren@gmail.com
4.	Eko Rahmadi, S.T., M.T	0010027107	Asisten Ahli	T. Geodesi	081367376734 Eko.rahmadi@eng.unila.ac.id
5.	DR. Eng. Alexander Purba., S.T., M.T	0007116803	Lektor Kepala	T. Sipil	082183289745 Alexander.purba@eng.unila.ac.id

Jumlah mahasiswa yang terlibat : 1 (satu) Orang

Nama / NPM mahasiswa terlibat : Widy Indrawati / 1415013028

Lokasi kegiatan : Bandar Lampung & Sekitar gunung Merapi Jateng

Lama kegiatan : 4 Bulan

Anggaran Biaya : Rp 10.000.000

Sumber dana : DIPA Fakultas Teknik Unila

Bandar Lampung, 22 Oktober 2018

Mengetahui,
Ketua Jurusan T.Sipil, FT Unila



Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 197009151995031006

Ketua Peneliti,



Armijon
NIP.197304102008011008

Menyetujui,

Ketua LPPM Universitas Lampung

Dekan FT Unila

(a.g. Dekan, Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerja Sama FT Unila),



Irza Sukmana, S.T., M.T., PhD
NIP. 197008122001121001



Ir. Warsono, M.S, PhD
NIP. 196302161987031003

IDENTITAS DAN URAIAN UMUM

1. Judul Penelitian : Pemodelan Analisis Spasial Aliran Lahar Dingin Untuk Mitigasi Bencana Gunung Merapi
2. Jenis Hibah : DIPA Fakultas Teknik Unila
3. Tim Peneliti :

No.	Nama	Jabatan	Bidang Keahlian	Program Studi	Alokasi Waktu (jam/minggu)
1.	Armijon, ST.,MT.	Ketua	GIS & Remote Sensing	T. Geodesi	18
2.	Setyanto, Ir., M.T	Anggota 1	Geoteknik	T. Sipil	12
3.	G.Perangin Angin, Ir., M.T	Anggota 2	Hidrografi	T. Sipil	12
4.	Eko Rahmadi., S.T., M.T	Anggota 3	Survei Teretris	T. Geodesi	12
5.	DR. Eng. Alexander Purba., S.T., M.T	Anggota 4	Transportasi & Urban Planing	T. Sipil	12

4. Objek Kegiatan Penelitian (jenis objek / material yang akan diteliti):
Pemodelan Aliran Lahar Dingin Gunung Merapi
5. Masa Pelaksanaan
Mulai : 22 Juni 2018
Berakhir : 22 Oktober 2018
6. Usulan Biaya : Rp. 10.000.000
7. Lokasi Penelitian Laboratorium InSIG PS. TGD FT Unila dan Sekitar Gunung Merapi Jawa Tengah
8. Kontribusi mendasar pada peer / bidang ilmu
Penerapan Pemodelan, Penerapan Analisis Spasial, Analisis Superimpose dengan SIG, Mengembangkan teknologi Penginderaan jauh, Pemetaan Mitigasi Bencana.
9. Nama Prosiding/Jurnal Ilmiah/Seminar/Konferensi yang menjadi sasaran publikasi ilmiah sebagai luaran (*outcome*) penelitian/pengabdian
Jurnal Geoid, atau Jurnal Geologi Sumber Daya Mineral, atau Jurnal Fakultas Teknik Universitas Lampung. Direncanakan publikasi pada tahun ajaran 2019/2020

ABSTRAK

Satu dekade terakhir Gunung Merapi hampir rutin meletus dengan skala kecil maupun sedang. Erupsi Gunung Merapi pada tanggal 26 November 2010 yang mengakibatkan 334 orang meninggal dan 7.129 rumah mengalami kerusakan. Akibat erupsi tersebut volume lahar dingin yang ada di puncak Gunung Merapi makin besar dan mencapai 150 juta meter kubik (Mei 2018) dan Jika terjadi letusan sangat besar atau hujan yang sangat lebat dapat berakibat kemungkinan terjadinya banjir lahar dingin yang berpotensi memakan korban jiwa.

Sebagai upaya membantu tanggap darurat dan mitigasi bencana lahar dingin Merapi maka perlu dilakukan pemetaan mitigasi bencana lahar dingin merapi. Jika terjadi bencana banjir lahar dingin merapi apa saja yang diterjang lahar dingin tersebut? apakah akan mengenai permukiman penduduk yang berdampak berpotensi memakan korban jiwa? Berapa volume lahar dan waktu yang di perlukan lahar untuk sampai kepermukiman penduduk? bagaimana rencana jalur evakuasi saat terjadi peringatan dini banji lahar dingin merapi?.

Mitigasi bencana banjir lahar dingin merapi tersebut diharapkan dapat terjawab dengan pendekatan pemodelan aliran lahar dingin secara spasial analisis dengan penerapan beberapa skenario untuk mengetahui berapa banyak daerah yang terdampak aliran lahar, berapa luasan area pada tata guna lahan yang terdampak aliran lahar, mengetahui berapa volume dan waktu yang diperlukan lahar untuk sampai di pemukiman, dimana akhirnya diharapkan dapat disusun peta mitigasi bencana banjir lahar dingin merapi.

Hasil penelitian ini (identifikasi dampak lahar dingin terhadap potensi korban jiwa dan peta mitigasi bencana lahar dingin) diharapkan dapat menjadi sebagai bahan evaluasi bagi pemerintah dan masyarakat di daerah penelitian untuk membantu mitigasi bencana lahar dingin merapi sehingga dapat menekan korban jiwa semaksimal mungkin, lebih jauh model yang dihasilkan diharapkan dapat diterapkan juga untuk memodelkan mitigasi bencana banjir lahar dingin gunung-gunung api lainnya di Indonesia.

Kata Kunci: Pemodelan Analisis Spasial Aliran Lahar, Simulasi Aliran Lahar Dingin Gunung Api, Mitigasi Bencana Lahar Dingin Gunung Merapi

BAB I. PENDAHULUAN

Sepuluh Tahun terakhir Gunung Merapi hampir rutin meletus dengan skala kecil maupun sedang. Bahaya Merapi adalah kalau meletus mengeluarkan lahar panas dan awan panas. Erupsi Gunung Merapi pada tanggal 26 November 2010 yang mengakibatkan 334 orang meninggal dan 7.129 rumah mengalami kerusakan (BAPPENAS dan BNPB, 2011) merupakan erupsi terbesar dalam kurun waktu 100 tahun terakhir, erupsi tersebut bersifat eksplosif yang mengeluarkan awan panas. Jumlah material piroklastik yang dimuntahkan Merapi mencapai 150 juta m³ yang sebanding dengan 30 kali lipat volume yang diakibatkan oleh erupsi tahun 2006 yang hanya sebesar 5 juta m³, besarnya material piroklastik tersebut membuat potensi lahar dingin semakin besar (Danang dkk, 2011).

Volume lahar dingin yang ada di puncak Gunung Merapi sudah sangat besar, sehingga tidak akan mampu ditampung oleh infrastruktur yang berada di sungai-sungai sekitar Merapi. Diperkirakan volume lahar dingin di puncak Merapi mencapai 150 juta meter kubik. Jika terjadi letusan sangat besar atau hujan yang sangat lebat dapat berakibat kemungkinan terjadinya banjir lahar dingin. Banjir lahar dingin disekitar puncak gunung merapi akan mengakibatkan mengalirnya material letusan mengikuti pola aliran sungai. Derasnya arus dan besarnya material dapat menghanyutkan apapun yang dilaluinya termasuk rumah, sawah, bahkan manusia sekalipun. Bahaya tersebut mengancam penduduk yang tinggal di sekitar sungai yang mempunyai hulu di puncak Gunung Merapi. Lahar dingin berupa debu, pasir kerikil dan batu-batuan akan mengalir melalui 15 sungai (Putih, Blongkeng, Pabelan, Woro, Gendol, Boyong, Krasak, Batang, Senowo, Trising, Opak, Bebeng, Kuning, Apu dan Lamat) yang berhulu di Gunung Merapi. Beberapa tahun kebelakang pemerintah telah membangun sabo Dam yang gunanya untuk menampung aliran lahar dingin dari puncak, agar tidak langsung mengalir ke hilir yang bisa merusak apa saja yang dilalui. Sampai saat ini sabodam yang sudah terbangun baru dapat menampung kapasitas 20 juta meter kubik. Sehingga tidak mungkin bisa menampung volume lahar dingin yang besar yaitu 150 juta meter kubik dari Merapi. Kondisi palung-palung 15 sungai juga hampir penuh

dengan material lahar dingin. Di beberapa lokasi bahkan berpotensi menerjang permukiman penduduk, jembatan dan jalan raya.

Sebagai upaya membantu tanggap darurat dan mitigasi bencana lahar dingin Merapi maka perlu dilakukan pemetaan mitigasi bencana lahar dingin merapi. Jika terjadi bencana banjir lahar dingin merapi apa saja yang diterjang lahar dingin tersebut? apakah akan mengenai permukiman penduduk yang berdampak berpotensi memakan korban jiwa? Berapa volume lahar dan waktu yang di perlukan lahar untuk sampai kepermukiman penduduk? bagaimana rencana jalur evakuasi saat terjadi peringatan dini banji lahar dingin merapi?. Pertanyaan akibat bencana banjir lahar dingin merapi tersebut diharapkan dapat terjawab dengan melakukan pemodelan spasial analis.

Maksud penelitian ini untuk membangun model aliran lahar dingin secara spasial analis guna pemetaan mitigasi bencana banjir lahar dingin di Gunung Merapi. Sedangkan Tujuan Penelitian adalah menyusun model aliran lahar dingin merapi, mengetahui berapa banyak daerah yang terdampak aliran lahar, berapa luasan area pada tata guna lahan yang terdampak aliran lahar, mengetahui berapa volume dan waktu yang diperlukan lahar untuk sampai di pemukiman, dan pemetaan mitigasi bencana banjir lahar. Manfaat Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sebagai bahan evaluasi bagi pemerintah dan masyarakat di daerah penelitian untuk membantu mitigasi bencana lahar dingin merapi, lebih jauh model yang dihasilkan di harapkan dapat diterapkan juga untuk memodelkan banjir lahar dingin gunung-gunung api lainnya di Indonesia.

Adapun rencana keluaran dari penelitian ini adalah: identifikasi dampak lahar dingin terhadap potensi korban jiwa dan peta mitigasi bencana lahar dingin. penelitian ini ditargetkan dapat terpublikasi tahun ajaran 2019/2020 di Jurnal Geoid, atau Jurnal Geologi Sumber Daya Mineral, atau Jurnal Fakultas Teknik Universitas Lampung.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Gunungapi Merapi merupakan gunungapi bertipe strato andesitik-basaltik dan telah terjadi beberapa kali erupsi. Sudah $\frac{3}{4}$ abad tidak terjadi letusan besar. Erupsi Gunungapi Merapi tanggal 4 – 5 November 2010 merupakan letusan terbesar sejak 1872. Korban manusia cukup banyak berjumlah 366 orang meninggal (Sutikno dkk. 2007).

Erupsi Gunungapi Merapi pada bulan Oktober sampai November 2010 terjadi sangat besar dan dalam waktu yang cukup lama sekitar 2 minggu. Pada tanggal 26 oktober 2010, awan panas dikeluarkan pertama kali pada jam 17.00 selama beberapa kali kearah barat – barat daya dan selatan – tenggara, dan diakhiri erupsi terbesar pada tanggal 5 November dini hari (www.vsi.esdm.go.id). Awan panas menyebar pada radius 10 – 15 km yang telah menghancurkan dusun – dusun yang berada di lereng Gunungapi Merapi. Abu vulkanik dirasakan tidak hanya oleh masyarakat di lereng Gunungapi Merapi, namun juga dirasakan masyarakat yang tinggal di radius 30 km, bahkan sampai ke Jawa Barat.

Erupsi – erupsi Gunungapi Merapi yang pernah terjadi telah memberi dampak pada kerusakan pemukiman, lahan pertanian, dan hutan yang berada kawasan puncak gunung, lereng gunung dan sepanjang sungai yang dialiri material erupsi. Keterlambatan informasi tentang kegiatan letusan/erupsi yang terjadi ke seluruh masyarakat yang tinggal di sekitar puncak Merapi, berdampak pada tingginya korban yang meninggal dan kerugian material.

Lahar merupakan terminologi untuk menggambarkan suatu aliran konsentrasi tinggi campuran antara runtuh batuan, pasir, dan air yang datang dari suatu gunungapi. Lahar, merupakan aliran material vulkanik yang bercampur dengan air dengan konsentrasi yang cukup tinggi, baik berupa aliran debris (debris flow) yang dicirikan oleh aliran lahar dengan konsentrasi bahan padat > 60 % ataupun aliran dengan konsentrasi sedimen yang sangat tinggi (hyperconcentrated flow) dengan konsentrasi sedimen antara 20 – 60 % (Lavigne et al., 2000).

Setiap letusan gunungapi menghasilkan banyak abu dan material lepas lainnya yang berakumulasi di lereng dan lembah-lembahnya yang cukup tebal. Bila hujan lebat turun di daerah puncak pada saat ataupun sesudah letusan, maka air hujan

bercampur dengan material-material tersebut berubah menjadi lahar tersebut dapat mengangkut blok-blok lava yang sangat besar dan seolah-olah terapung dibagian atas aliran lahar tersebut. Kecepatannya tergantung pada volume dan viskositas lumpur, kelerengan dan kekasaran daerah yang dilaluinya (Hadisantono, dkk 1997).

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. Kawasan barat Merapi banyak menyimpan material Merapi yang lebih ringan. 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 panas sehingga karakteristik materialnya berukuran lebih besar seperti pasir, kerikil, kerakal, dan bongkahan batu besar (Daryono, 2011).

Erupsi – erupsi Gunung Merapi yang pernah terjadi telah memberi dampak pada kerusakan pemukiman, lahan pertanian, dan hutan yang berada kawasan puncak gunung, lereng gunung dan sepanjang sungai yang dialiri material erupsi. Keterlambatan informasi tentang kegiatan letusan/erupsi yang terjadi ke seluruh masyarakat yang tinggal disekitar puncak Merapi, berdampak pada tingginya korban yang meninggal dan kerugian material sehingga mitigasi terhadap bencana banjir lahar dingin dipandang penting untuk terus ditingkatkan salah satunya adalah penyusunan peta mitigasi bencana banjir lahar dingin.

Volume lahar dingin puncak Merapi saat ini diperkirakan mencapai 150.000 m^3 siap mengalir sebagai banjir lahar dingin yang berpotensi memakan korban jiwa. Dengan pendekatan pemodelan analisis spasial diharapkan tersusun peta mitigasi bencana untuk menekan potensi korban jiwa. Model ini diharapkan dapat dikembangkan untuk mitigasi bencana gunung api lainnya di Indonesia

Model adalah cara menguraikan sesuatu yang tidak dapat dilihat secara langsung. Karena semua fenomena tidak dapat diamati secara langsung pada waktu bersamaan, maka dapat digunakan model untuk menyederhanakan dari keadaan yang sebenarnya. Hal ini dapat dikerjakan dalam suatu sistem informasi geografik dalam bentuk layer peta-peta dan hubungan yang terdapat dalam peta-peta tersebut yang dibuatkan modelnya dengan bantuan spasial analisis (*Spatial Analyst*). Secara umum model keruangan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu model yang bersifat statis (*statics spatial model*) dan yang bersifat dinamis (*dynamics spatial model*). Dalam pemodelan spasial terutama yang bersifat dinamis, selalu menggunakan data raster yang menampilkan, menempatkan dan menyimpan data spasial dengan menggunakan struktur matriks atau piksel-piksel yang membentuk grid (Krugman, 1992). Setiap piksel atau sel ini memiliki atribut tersendiri, termasuk koordinat yang unik. Entity spasial raster disimpan di dalam layer yang secara fungsionalitas direlasikan dengan unsur-unsur peta. Model spasial dinamis memiliki tiga komponen utama, yaitu dimensi ruang, waktu dan proses dinamikanya, baik yang terkait dengan proses-proses dalam ilmu kebumihutan, ekologi, sosiologi maupun ekonomi. Pendekatan seluler automata (*cellular automata*) sering digunakan untuk aplikasi model spasial dinamik, baik pemodelan sistem alam maupun sistem manusia, seperti pergerakan material erupsi dan lahar gunung api dan penilaian wilayah bahaya erupsi (Krugman, P. 1992).

Pemodelan keruangan adalah proses untuk melihat kekhususan dari sejumlah layer pada setiap lokasi untuk memecahkan sebuah masalah. Pada umumnya model keruangan menggunakan konsep pencarian yang optimum untuk memilih tempat atau model kesesuaiannya dalam memilih lokasi terbaik meskipun jenis dan ukuran skala data yang dipakai berbeda-beda tetapi masalahnya dapat diselesaikan dengan cara yang sama.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metodologi Penelitian

Metodologi Penelitian ini terkonsentrasi pemanfaatan DEM Aster, Peta RBI, dan citra satelit untuk kenampakan visual eksistingnya untuk melakukan analisis secara spasial untuk menghasilkan lokasi atau daerah yang terkena dampak aliran lahar dingin merapi. Rencana alir proses kegiatan dapat dilihat melalui diagram alir dibawah ini:

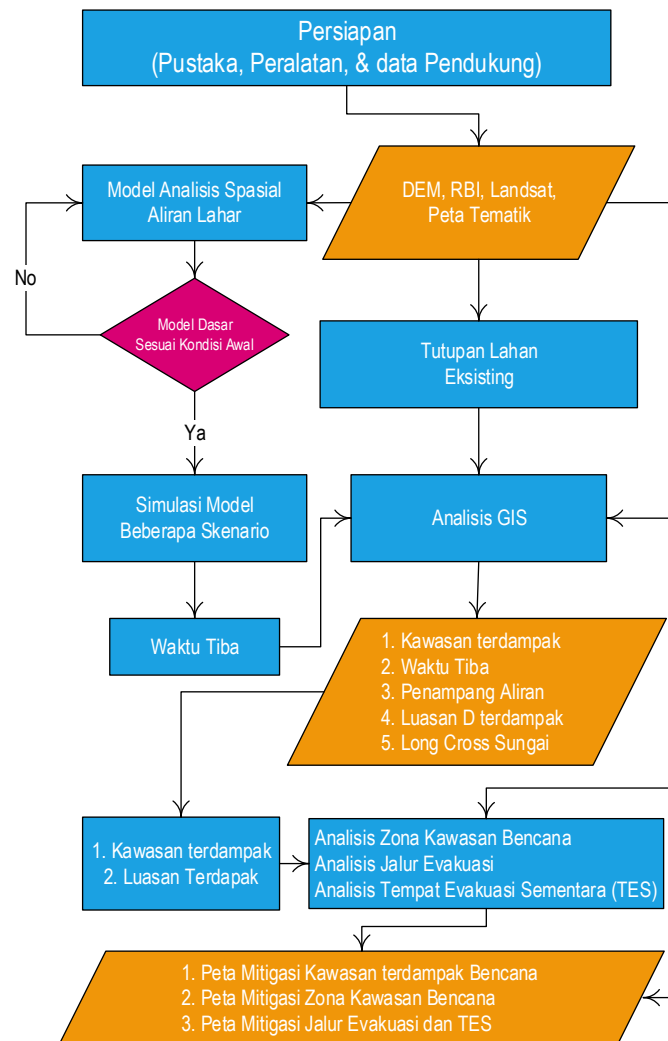


Diagram-3A: Diagram Alir Penelitian

Dalam memodelkan secara spasial analisis akan dilakukan empat langkah dalam memecahkan masalah bencana aliran lahar dingin ini yaitu:

Langkah pertama: Merumuskan masalah yang dimulai dengan memikirkan tentang apa hasil yang diharapkan dengan mengembangkan diagram untuk memperlihatkan aliran data dan pengoperasiannya serta mengkolleksi data spasial yang diperlukan.

Langkah kedua: Menguraikan masalah pada langkah pertama menjadi tujuan-tujuan. Masalah diuraikan menjadi lebih terperinci menjadi bagian-bagian yang lebih kecil hingga dapat mengetahui data yang diperlukan dan langkah untuk pemecahannya. Langkah-langkah adalah sasaran yang harus dipecahkan untuk mengukur kesesuaian tiap-tiap lokasi. Definisi yang dibuat haruslah terukur. Sasaran-sasaran tersebut masing-masing akan menjadi lapisan data atau tema dalam bentuk peta-peta.

Langkah ketiga: Menetapkan nilai yang sesuai untuk masing-masing tujuan. Pada langkah ini peta untuk masing-masing sasaran telah terbentuk. selanjutnya menggabungkan peta-peta menjadi sebuah peta yang menggambarkan daerah yang potensi secara berjenjang. Untuk membandingkan harga satu kelas dengan yang lainnya dilakukan dengan cara memberi nilai numerik untuk tiap kelas dalam setiap peta atau tema. Inilah yang digunakan sebagai model awal.

Langkah Keempat: Menyelesaikan masalah dengan melakukan simulasi model awal yang telah dihasilkan. Untuk mengembangkan kajian analisis dilakukan pengujian menggunakan skenario skenario lain yang beragam dengan menerapkan pembobotan pada layer atau ukuran untuk meneliti lebih jauh mengenai data dan hubungannya yang menghasilkan peta-peta kesesuaian. Peta-peta kesesuaian inilah yang nantinya akan digabungkan dengan data eksisting untuk melihat atau menggambarkan hasil analisis spasial secara keruangan. Hasil analisis akan digunakan untuk membangun peta mitigasi.

Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan Aster GDEM 2014. Peta RBI (Rupa Bumi Indonesia) yang di dapat dari BIG (Badan Informasi Geospasial). Data pemotretan udara puncak gunung merapi untuk menentukan volume lahar. Citra Satelit Landsat liputan 2016 atau 2017 atau 2018 untuk informasi lahan eksisting.

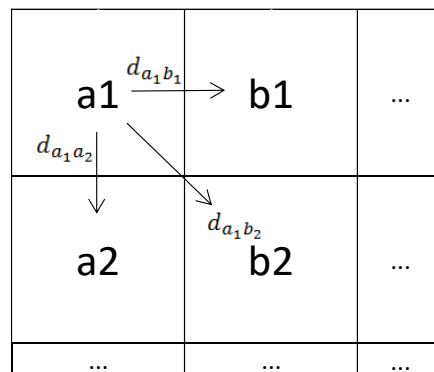
Pengolahan data dilakukan di laboratorium Komputer InSIG PS teknik Geodesi. Untuk kesesuaian data eksisting dan kesesuaian hasil peta mitigasi.

B. Pengembangan Model

Dalam pengembangan model ini dilakukan dengan meperhitngkan DEM 2014 Bersumber dari BIG dengan tingkat ketelitian 5 - 10 m, Surface Hidrologi, Energi Cone, Skenario Aliran Larah dan kajian menggunakan peta KRB, Kajian dengan Citra satelit, serta Kajian dengan peta tutupan lahan (eksisting).

Data Aster GDEM yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data DEM Aster 2014, yang diperoleh dari hasil *download* pada *website* resmi USGS (*U.S. Geological Survey*) yang dapat diunduh secara gratis dengan mengakses *glvis.usgs.gov*. Data DEM ini memiliki tingkat ketelitian 30 m. Transformasi raster DEM digunakan untuk ortometrik 2 dimensi yang mengubah proyeksi menjadi Universal Transve Mercator (UTM) dengan satuan meter (m), dan penentuan zona yang sesuai dengan wilayah tersebut.

Konsep surface hidrologi adalah aliran mengalir pada saluran hidrologi yang mana saluran hidrologi didapat dari data raster *Digital Elevation Model* (DEM) pada setiap sel pikselnya. Ini dilakukan dengan cara *Flow Direction*, cara ini mengambil permukaan sebagai input dan output raster yang menunjukkan arah aliran keluar dari setiap sel. Algoritma arah aliran yang umum digunakan adalah D8 metode (Tarboton, 1989; Tarboton and Bras, 1991). Penentuan arah aliran antar piksel menurut algoritma ini dilakukan dengan membandingkan dengan relatif satu piksel terhadap 8 piksel disekelilingnya. Arah aliran didapat dari hasil Flow Accumulation dengan nilai threshold yang telah ditentukan.



Tabel 3A. Tampilan Elevasi DEM

Perhitungan sel A jarak 1 sel : $\frac{a1-b1}{1} = d1_A$ $\frac{a1-a2}{1} = d2_A$

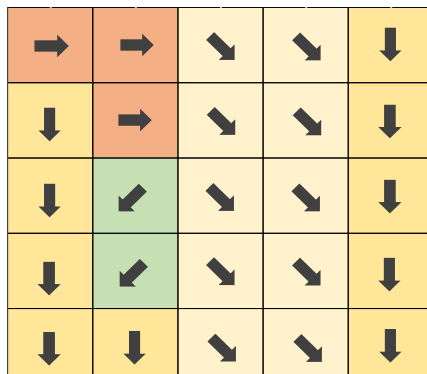
Perhitungan sel A jarak 2 sel : $\frac{a1-b2}{\sqrt{2}} = ds1_A$

Algoritma kode menuju sel B dengan perhitungan nilai perbedaan elevasi sel dihasilkan dari terbesar antara $d1_A$, $d2_A$, atau $ds1_A$

Perhitungan sel B jarak 1 sel : $\frac{b1-c1}{1} = d1_B$ $\frac{b1-b2}{1} = d2_B$ $\frac{b1-c2}{1} = d3_B$

Perhitungan sel B jarak 2 sel : $\frac{b1-a2}{\sqrt{2}} = ds1_B$ $\frac{b1-c1}{\sqrt{2}} = ds2_B$

Jadi algoritma kode menuju sel B dengan perhitungan nilai perbedaan elevasi sel dihasilkan dari terbesar antara $d1_B$, $d2_B$, $d3_B$, $ds1_B$ atau $ds2_B$

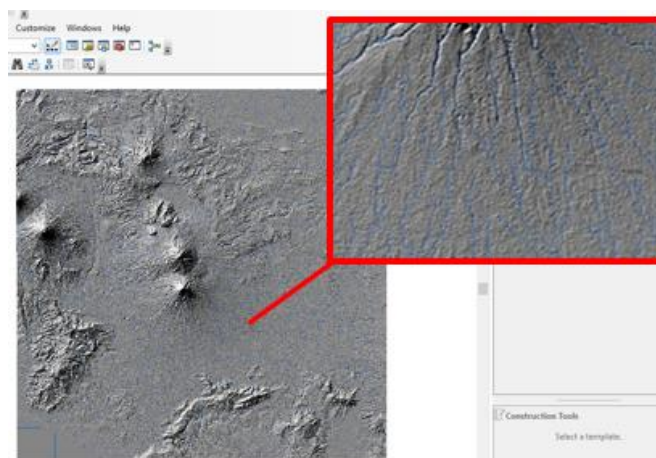


Gambar 3A. hasil flow algoritma code

0	1	2	0	0
0	0	1	3	2
1	0	0	2	7
3	0	0	1	9
4	0	0	1	11

Gambar 3B. Hasil Flow Accumulation

Hasil dari algoritma kode ini nantinya dihitung nilai flow untuk mendapatkan flow accumulation, sehingga akhirnya akan didapat aliran *surface hydrologi* dengan nilai threshold 2000 artinya nilai akumulasi aliran (*flow accumulation*) pada pixel tersebut adalah minimal 2000.



Gambar 3C. Hasil Tampilan Aliran Sungai Pada Software Pengolah Data Spasial

1. Energy Cone

Pada Tahap ini berguna untuk menghasilkan luas area ledakan material gunungapi, dengan cara memasukan nilai slope volue yang didapat dari perhitungan rasio dari H terhadap L (slope $\frac{H}{L}$) kemudian memasukan koordinat X dan Y puncak Gunungapi Merapi. Berikut ini tabel perhitungan untuk mencari kemiringan lereng/slope value :

Tabel 3B. Perhitungan *Slope Value*

No	H1	H2	L	S
1	2876	1368	3270	0,46116
2	2865	1335	3530	0,43343
3	2856	1347	3500	0,43114
4	2882	1058	5260	0,34677
5	2794	1396	3240	0,43148
6	2640	1778	4320	0,19954
7	2159	1569	1490	0,39597
8	2022	1608	1000	0,414
9	2413	1424	2990	0,33077
10	2282	1352	2490	0,37349
11	2429	2290	2490	0,05582
12	1837	1537	941	0,31881
			Rata-rata	0,34936

$$S = \frac{H1 - H2}{L}$$

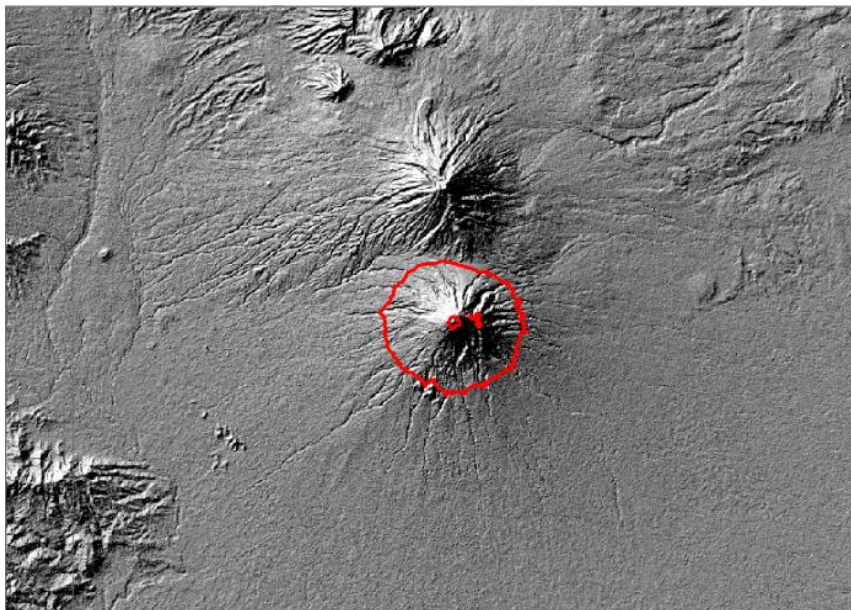
Dimana

S = Nilai Kemiringan Lereng

H1 = Elevasi titik awal aliran.

H2 = Elevasi titik dasar aliran

L = Jarak Landaan Terjauh



Gambar 3D. Tampilan Hasil Proses Energy Cone

2. Skenario Dasar Aliran Lahar

Aliran lahar mengalir pada saluran hidrologi dengan volume tertentu, aliran lahar ini berpotensi menimbulkan genangan. Sungai/kali yang akan dialiri lahar adalah: krasak, Woro, Gendol, Bebeng, Putih, Boyong, Lamat, Senowo, Tlising, Apu dan Bedog. Parameter lain yang digunakan kemiringan lereng, elevasi titik awal di aliran sungai/kali, elevasi titik dasar aliran dan jarak landaan terjauh. Untuk menghitung daerah – daerah yang berpotensi tergenang menggunakan statistik untuk menurunkan persamaan yang menghubungkan daerah – daerah genangan ke aliran volume lahar, persamaan ini dapat dilihat di persamaan 4 dan 5.

Berikut perhitungan dengan volume estimasi 5.000.000

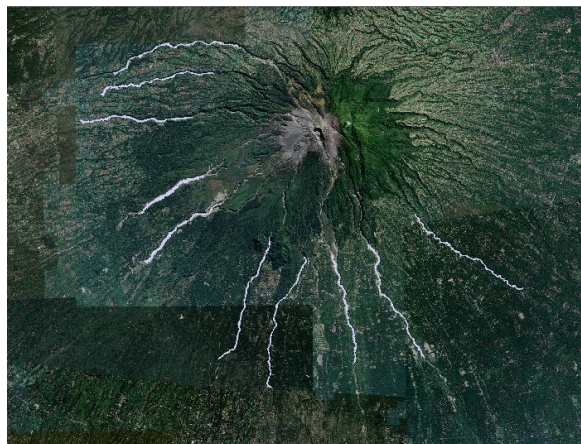
$$A = 0,05 \times 5000000^{\frac{2}{3}} = 1462,009 \quad B = 200 \times 5000000^{\frac{2}{3}} = 5848035$$

Jadi nilai di setiap *cross section* aliran sebesar 1.462,009 m³ dan untuk *planimetris area* 5.848.035 m³.

Pada pemodelan aliran lahar ini diperlukan volume lahar yang akan dialirkan dalam model ini. Untuk volume lahar ini kita berikan beberapa skenario awal estimasi volume lahar yang mengalir untuk skenario 1, 2, dan Skenario estimasi volum lahar dapat dilihat pada tabel 3.

Skenario Simulasi I

Pada skenario simulasi 1, sungai/kali yang teraliri adalah semua kali yang disimulasikan pada skenario dasar. Pada skenario ini dilakukan jatuhnya volume lahar sebesar 80.000 m³ dengan perubahan parameter pada nilai kemiringan lereng, elevasi titik dasar aliran dan jarak landaan terjauh.



Gambar 3E. Tampilan Hasil Skenario Simulasi I

Skenrio Simulasi II

Pada skenario simulasi 2, tetap mempertahankan sungai/kali yang teraliri adalah semua kali yang disimulasikan pada skenario dasar. Pada skenario ini dilakukan jatuhnya volume lahar sebesar 15.000.000 m³ dengan perubahan parameter pada nilai kemiringan lereng, elevasi titik dasar aliran dan jarak landaan terjauh.



Gambar 3F. Tampilan Hasil Skenario Simulasi II

Skenrio Simulasi III

Pada skenario simulasi 2, tetap mempertahankan sungai/kali yang teraliri adalah semua kali yang disimulasikan pada skenario dasar. Pada skenario ini dilakukan jatuhnya volume lahar sebesar 70.000.000 m³ dengan perubahan parameter elevasi titik dasar aliran.



Gambar 3G. Tampilan Hasil Skenario Simulasi III

Skenario Simulasi IV

Pada skenario simulasi 2, tetap mempertahankan sungai/kali yang teraliri adalah semua kali yang disimulasikan pada skenario dasar. Pada skenario ini dilakukan jatuhnya volume lahar sebesar 135.000.000 m³ dengan perubahan parameter elevasi titik dasar aliran



Gambar 3H. Tampilan Hasil Skenario Simulasi IV

Hasil pemodelan simulasi pergerakan lahar pada gambar-3I. memperlihatkan bagaimana sebaran aliran lahar yang berpotensi merusak di sepanjang aliran 11 (sebelas sungai/kali) disekitar kawasan gunung merapi. Potensi terbesar terlihat pada aliran kali gendol dengan potensi merusak 35% dari kesebelas sungai/kali yang ada. Tentunya korban jiwa dan harta juga akan berpotensi besar disekitar sungai/kali Gendol.

Untuk aliran yang akan berdampak belum akan terjadi pada aliran lahar dengan volume lebih kecil dari 4 juta m³, namun ketika volume aliran menjadi lebih besar akan mulai berdampak. Dampak pertama terlihat adalah perkebunan dan ladang kemudian megarah ke persawahan menuju ke dampak pemukiman yang dapat menyebabkan korban jiwa sehingga semakin meningkat volume lahar akan berpotensi mengakibatkan bertambah besarnya dampak kerugian.



Gambar 3I. Tampilan Hasil Pergerakan Lahar Dingin

Proses Akhir adalah Overlay dengan Peta KRB. Tahap ini dilakukan untuk membandingkan volume lahar dengan peta Kawasan Rawan Bencana (KRB) dengan cara overlay. peta hasil skenario volume dengan peta KRB Merapi tahun 2010.

Dalam penelitian ini, data hasil pemodelan lahar dioverlay citra satelit dari situs Google Earth. Proses ini bertujuan untuk mencocokkan pemodelan aliran lahar dengan morfolgi sungai agar menghasilkan pemodelan yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Untuk analisis dengan kondisi tutupan lahan eksisting dilakukan *overlay Peta tutupan lahan*. Pada tahap ini untuk mengetahui prediksi luas kerusakan tata guna lahan yang terdampak aliran lahar. Proses *overlay* dilakukan dengan cara menggabungkan peta pemodelan aliran lahan dan peta tata guna lahan, nantinya peta tata guna lahan akan dipotong (*clip*) berdasarkan aliran lahar per-skenario, setelah itu

kita *digitasi* jarak dari pusat erupsi untuk mendapatkan tingkat bahaya banjir lahar yang di dasarkan pada peta kawasan rawan bencana gunungapi.

BAB IV. ANALISIS

A. Pemodelan Aliran Lahar dengan Estimasi Waktu

Gunungapi Merapi adalah salah satu gunungapi di dunia yang secara efektif menghasilkan lahar. Lahar skala kecil terjadi beberapa kali di musim hujan dengan volume kurang dari 100.000 m³, lahar skala menengah dengan volume 100.000-1.500.000 m³ terjadi setidaknya sekali setiap tahun, dan lahar skala besar dengan volume 1,5-6 juta m³ terjadi rata-rata setiap 6 tahun sekali sejak tahun 1885 (Thouret dkk, 2007).

Prosedur pertama yang dilakukan dalam membuat model adalah menginterpolasi ketinggian yang kosong (*blank spot*) di data DEM sehingga nantinya tidak akan menghasilkan jalur aliran yang salah. Selanjutnya, membuat grid aliran sungai pada DEM. Grid aliran sungai ini berisi informasi mengenai arah aliran sungai dari mulai hulu ke hilir dan akumulasi aliran sungai tersebut. Prosedur selanjutnya yaitu memilih sumber aliran lahar di hulu sungai (*upstream*) yang merupakan titik awal aliran, kemudian memilih ujung aliran lahar atau titik berhentinya pemodelan di hilir sungai (*downstream*).

Prosedur terakhir dalam pemodelan aliran lahar adalah pemilihan estimasi volume lahar yang akan dimodelkan. Volume yang dipilih berdasarkan sejarah aktivitas aliran lahar yang pernah terjadi dan juga tingkat bahayanya terhadap pemukiman di sekitar lembah sungai. Selain itu, pemilihan volume lahar berdasarkan juga pada skala *Volcanic Explosivity Index* (VEI) yang pernah terjadi di Gunungapi Merapi dan juga prediksi letusan di masa depan dengan skala VEI yang lebih tinggi.

Berdasarkan sejarah letusan, Gunungapi Merapi pernah meletus dengan skala VEI 4 dengan volume letusan 150 juta m³ pada tahun 2010. Dalam pemodelan

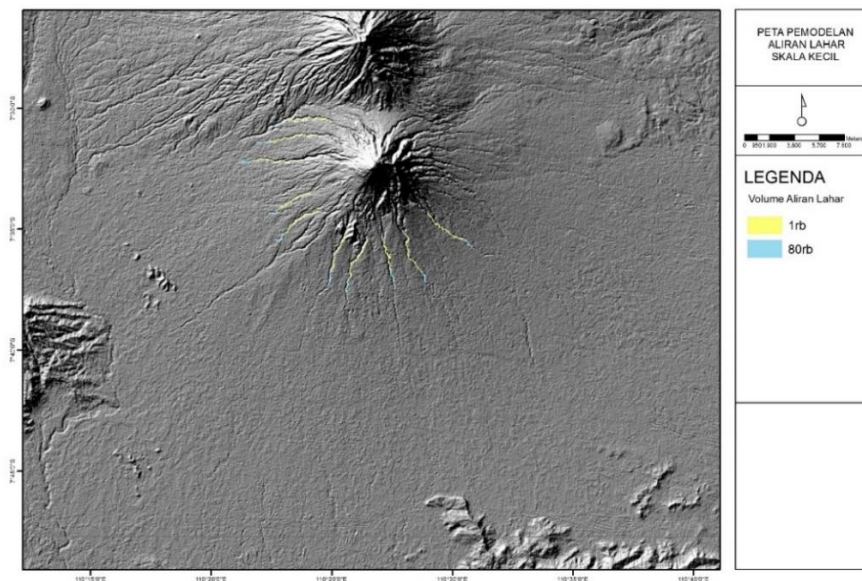
ini, dipilih volume lahar skala besar yang pernah terjadi di Merapi dan juga berdasarkan prediksi letusan di masa depan dengan skala VEI 3 sampai 4. Estimasi volume lahar yang mungkin terjadi dimulai dari 80 ribu, sampai 135 juta m^3 . Hasil Pemodelan Aliran Lahar dapat dilihat pada Gambar 4A.



Gambar 4A. Hasil pemodelan aliran lahar di Gunungapi Merapi

1. Pemodelan Aliran Lahar Skala Kecil

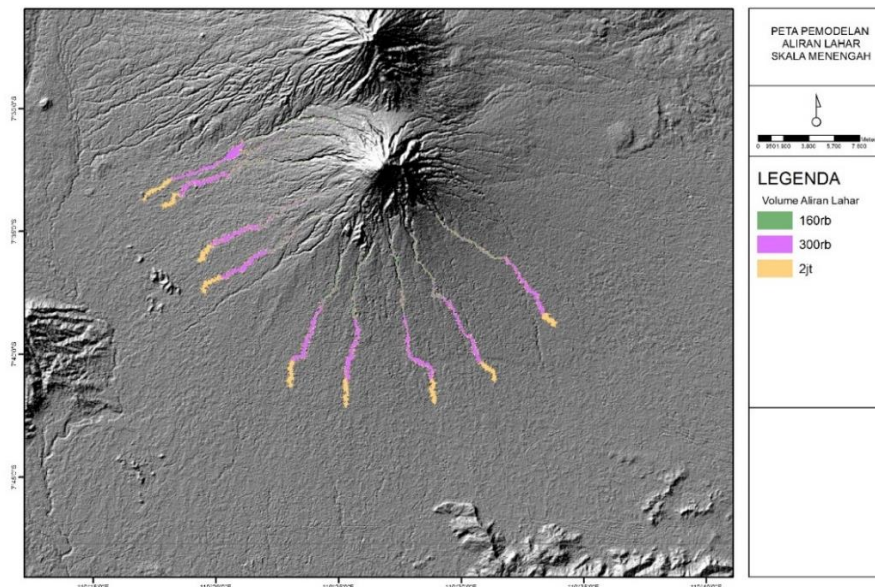
Pemodelan aliran lahar dengan estimasi volume skala kecil menggunakan volume lahar mulai dari 80 ribu m^3 sampai 2 juta m^3 . Hasil pemodelan memperlihatkan aliran lahar yang lebih pendek dari pemodelan dengan estimasi volume skala besar dan skala menengah. Selain itu, aliran lahar tampak mengisi lembah sungai dan tidak melebar di atas bantaran sungai. Hasil pemodelan bisa dilihat pada Gambar 4B.



Gambar 4B. Hasil pemodelan aliran lahar di Gunungapi Merapi dengan estimasi volume lahar skala kecil.

2. Pemodelan Aliran Lahar Skala Menengah

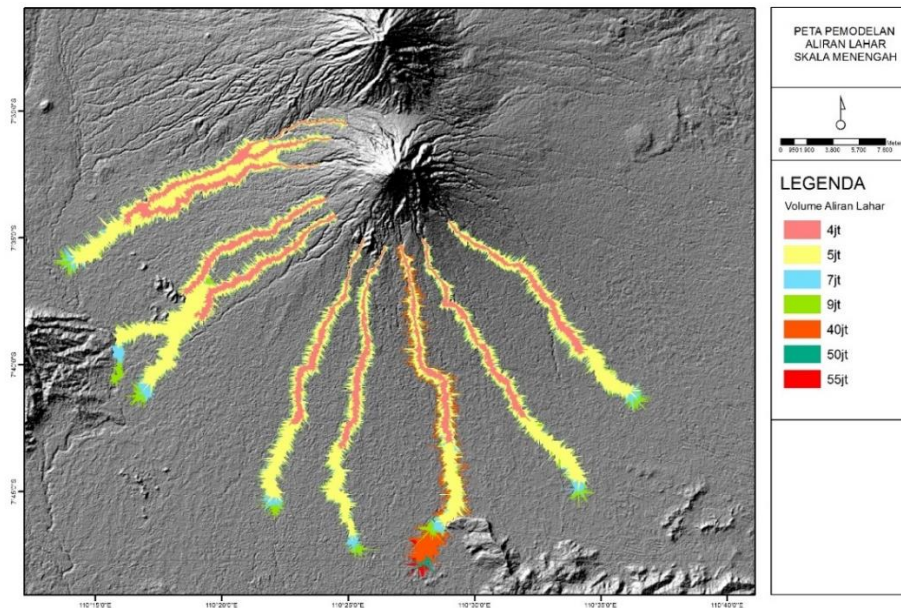
Pemodelan aliran lahar dengan estimasi volume skala menengah menggunakan volume lahar mulai dari 160 ribu m^3 , 300 ribu m^3 , dan 2 juta m^3 . Hasil pemodelan memperlihatkan aliran lahar yang lebih pendek dari pemodelan dengan estimasi volume skala besar. Selain itu, aliran lahar tampak mengisi lembah sungai dan melebar tidak terlalu jauh di atas bantaran sungai. Hasil pemodelan bisa dilihat pada Gambar 4C.



Gambar 4C. Hasil pemodelan aliran lahar di Gunungapi Merapi dengan estimasi volume lahar skala Menengah.

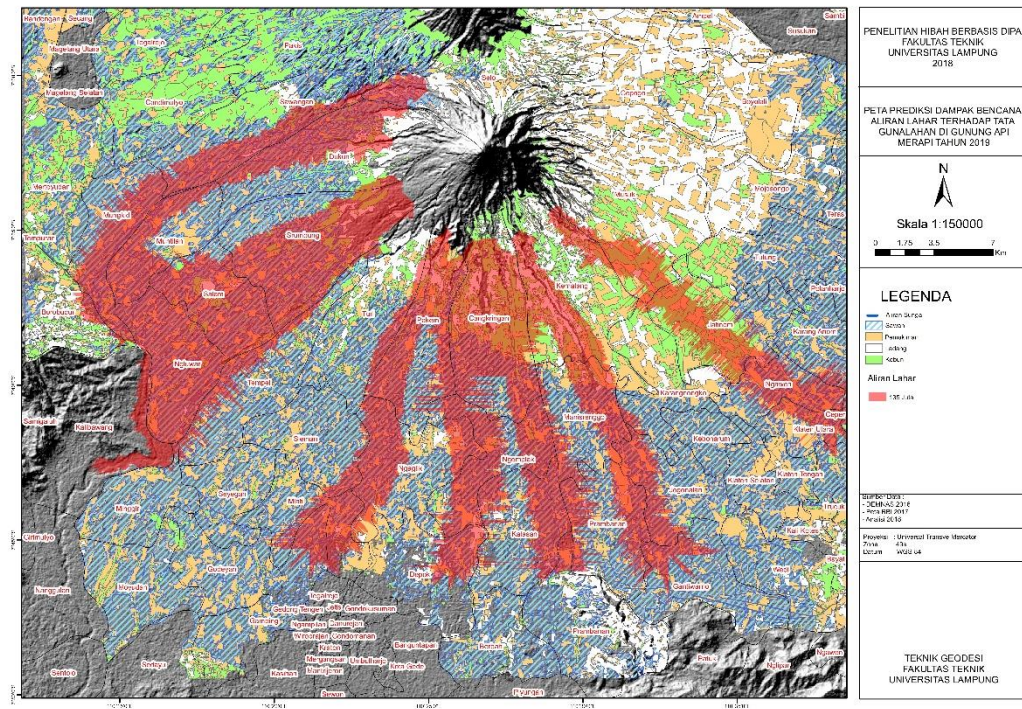
3. Pemodelan Aliran Lahar Skala Besar

Pemodelan aliran lahar dengan estimasi volume skala besar menggunakan volume lahar mulai dari 80 ribu m³, sampai 55 juta m³ untuk Kali Gendol. Hasil pemodelan memperlihatkan aliran lahar yang melebar jauh di bantaran sungai. Hasil pemodelan bisa dilihat pada Gambar 4D.



Gambar 4D. Hasil Pemodelan Aliran Lahar Skala Besar

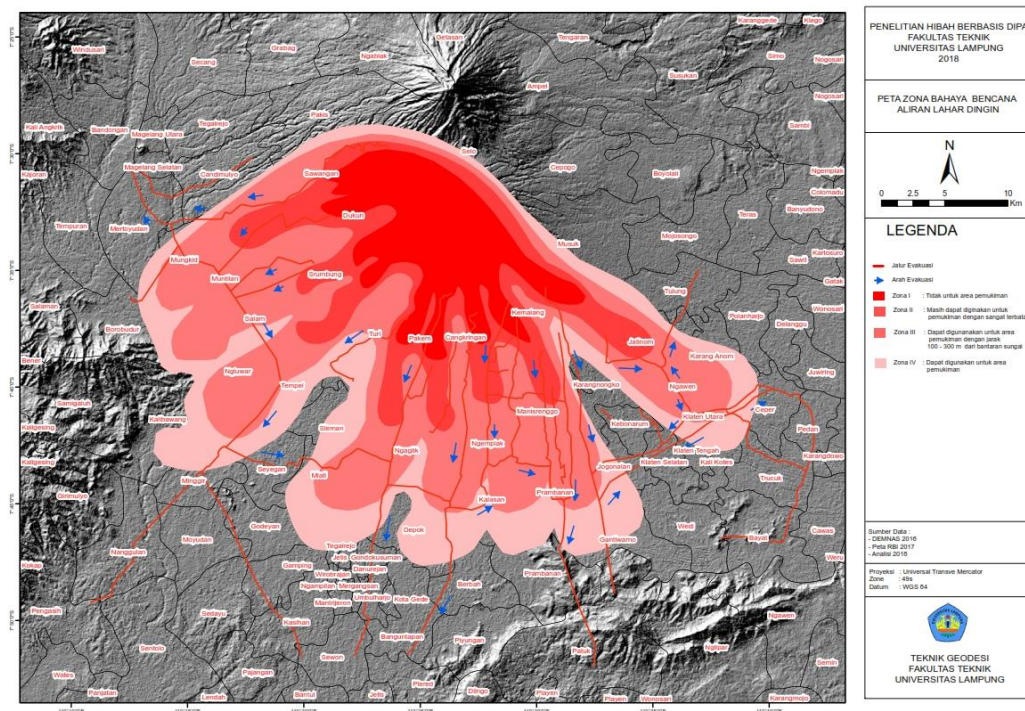
Untuk memverifikasi kecocokan model aliran lahar yang menggunakan data DEM dengan morfologi sungai yang sebenarnya aliran lahar di *overlay* dengan citra satelit, dimana citra Google Earth yang dipergunakan merupakan citra satelit yang diambil pada 31 Oktober 2014. Hasil *overlay* model aliran lahar dan citra Google Earth memperlihatkan model aliran lahar yang mengalir mengikuti morfologi sungai. Lembah-lembah sungai tampak terisi penuh dengan lahar. Di bagian dataran, lembah sungai masih bisa menampung aliran lahar. *Overlay* model aliran lahar dengan Peta KRB dimaksudkan untuk mengetahui persamaan dan perbedaan diantara keduanya. Dalam hal ini, model aliran lahar dengan estimasi volume maksimal pada setiap aliran dibandingkan dengan Peta KRB aliran lahar Gunungapi Merapi. Model aliran lahar mengalir pada hidrologi aliran sungai sedangkan peta KRB, sebagian besar aliran lahar tampak melebar luas terutama di daerah pedataran (Gambar 4E). Pada Kali Gendol, model aliran lahar memiliki kemiripan dengan peta KRB.



Gambar 4E. Dampak TerhadapTata Guna Lahan

Perbedaan dari hasil luasan pemodelan aliran lahar pada penelitian ini dengan Peta KRB terjadi karena pada peta KRB masih menggunakan metoda manual dalam melakukan analisis aliran lahar sedangkan dalam penelitian ini telah menggunakan konsep spasial analisis sehingga ketepatan luasan area terdampak pada penelitian ini lebih dapat dipertanggungjawabkan secara akademis.

Analisis yang digunakan untuk melihat area terdampak pada kajian ini menggunakan metode *overlay* atau tumpang susun peta pemodelan aliran dengan simulasi beberapa estimasi volume lahar yang mengalir yang di *overlay* dengan peta tata guna lahan. Peta tata guna lahan yang digunakan diprioritaskan pada lahan pemukiman, sawah, ladang dan kebun. Dengan hasil *overlay* ini diperoleh perkiraan luas lahan terdampak aliran lahar.



Gambar 4F. Peta Zona Rawan Bencana

Ketika model aliran lahar di-*superimpose*-kan dengan citra satelit, terlihat jelas model aliran lahar bisa mengalir mengikuti morfologi sungai. Aliran lahar berbelok ketika ada morfologi lebih tinggi di depannya. Aliran lahar bisa memasuki lembah tersebut dan berbelok belok serta tidak melebar mengikuti lebar lembah sebelumnya. Keakuratan model ini didukung oleh data DEM yang resolusi yang cukup tinggi (8 m) sehingga bisa digunakan untuk menghitung penampang sungai yang sempit. Model aliran lahar mengalir mengikuti morfologi sungai sesuai dengan arah aliran sungai yang telah dipilih, arah aliran sungai ini berdasarkan pada publikasi PVMBG tahun 2011. Sedangkan pada Peta KRB (peta yang disusun berdasarkan hasil bencana), arah aliran sebagian berbeda dengan hasil simulasi model yang merupakan peta prediksi potensi bencana gunungapi. Kawasan rawan bencana aliran lahar merupakan kawasan yang berpotensi dialiri lahar setelah terjadinya letusan yang menghasilkan aliran piroklastik. Endapan aliran piroklastik ini sendiri masih belum pasti kemana arah aliran dan berapa volumenya sehingga potensi laharnya pun belum bisa diprediksi dari lembah mana dan kemana arahnya dan berapa volumenya[3].

Pada model aliran lahar ini, sumber dan arah aliran sudah ditentukan. Sumber dan arah aliran ditentukan berdasarkan potensi lahar yang akan terjadi. Prediksi volume aliran lahar berdasarkan sejarah aktifitas lahar gunungapi tersebut sehingga pemodelan aliran lahar bisa dilakukan secara cepat, tepat, akurat, dan objektif. Setiap pengguna bisa melakukannya dengan hasil yang sama asalkan sumber, arah aliran dan volumenya juga sama. Model aliran lahar dengan estimasi volume skala besar memprediksi potensi bahaya aliran lahar dengan skenario terburuk. Aliran lahar pada Peta KRB juga memprediksi potensi bahaya yang buruk. Hasil Keduanya terbukti berbeda. Model aliran lahar ini dapat dipakai sebagai bahan pertimbangan dalam evaluasi Peta KRB khususnya pada aliran lahar dingin sehingga dapat mengetahui jangkauan aliran lahar sesuai dengan potensi aliran lahar. Untuk memperkirakan dampak aliran lahar terhadap tata guna lahan, maka dilakukan *superimpose* antara model aliran lahar dengan Peta Tata Guna Lahan eksisting. Estimasi volume lahar diambil dari skenario volume terkecil hingga terbesar. Hal ini dilakukan karena untuk memprediksi dampak korban jiwa karena masih banyak warga yang tinggal di bantaran sungai yang dilalui oleh aliran dingin.

Kemiringan lereng yang dilalui aliran lahar dapat dicari dengan membuat penampang memanjang dan melintang aliran pada masing masing aliran sungai. Kemiringan lereng serta debit yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan kecepatan aliran pada setiap sungai. Kecepatan yang diperoleh serta jarak tempuh aliran lahar akan dapat menghasilkan kapan estimasi waktu aliran lahar tersebut tiba di area pemukiman. Perhitungan nilai estimasi waktu tiba aliran lahar dilakukan dari jalur sungai yang diteliti ke pemukiman penduduk dengan mengasumsikan jarak yang ditempuh disepanjang sungai yang dekat dengan pemukiman. Waktu tiba di pemukiman dihitung untuk estimasi pengambilan keputusan ketika diperlukan tindakan untuk evakuasi penduduk ke TES melalui jalur evakuasi.

Tabel 4A. memperlihatkan bahwa aliran lahar tercepat berada pada Kali Senowo dengan jarak tempuh lahar 14,6 km dengan volume 30M dapat mencapai pemukiman penduduk dalam waktu 11,3 menit. Selain itu terlihat juga bahwa semakin besar volume aliran lahar maka waktu tempuh lahar semakin cepat. Melihat waktu tempuh yang begitu cepat perlu adanya upaya pembuatan Zona Rawan Bencana agar area prediksi terdampak khususnya pemukiman tidak

digunakan sebagai daerah hunian, selanjutnya dapat ditentukan atau disusun peta Jalur Evakuasi dan Tempat Evakuasi Sementara (TES) dokumen pendukung mitigasi bencana lahar dingin Merapi.

Tabel 4A. Waktu tempuh ke pemukiman

Nama Sungai	Jarak km	Kecepatan km/jam	Waktu Tiba (Menit)			
			4Juta	9juta	15juta	30juta
Krasak	13,3	47,3848	16,8			
Woro	14,0	58,6633	0	14,3		
Gendol	11,8	58,6954	0	12,1		
Kuning	14,6	66,0809	0	0	13,26	
Boyong	15,0	67,6238	0	0	13,31	
Bedog	16,0	65,2164	0	0	14,72	
Putih	14,0	63,3621	0	0	13,26	
Senowo	14,6	77,4222	0	0	0	11,31
Tlising	16,7	77,9329	0	0	0	12,86
Apu	20,1	78,3290	0	0	0	15,4

Dari seluruh skenario volume aliran lahar untuk pemukiman, kebun, dan ladang dampak terbesar berada pada Kabupaten Sleman, sedangkan untuk sawah dampak terbesar di Kabupaten Magelang. Dampak area pada tiap Kabupaten dipengaruhi oleh letaknya yang berada pada area inundasi aliran lahar. Tabel 2 memperlihatkan luas area tata guna lahan terdampak dan berdasarkan gambar 3 prediksi penduduk terdampak pada skenario volume 135M.

Tabel 4B. Dampak aliran lahar volume 135M

Area	Luas Kabupaten Terdampak (Ha)				
	Boyolali	Klaten	Sleman	Magelang	Total
Pemukimn	476	3.372	3.701	3.201	10.751
Kebun	471	1.964	1.996	1.834	6.265
Ladang	154	1.086	1.360	781	3.381
Sawah	241	3.912	8.353	9.970	22.475

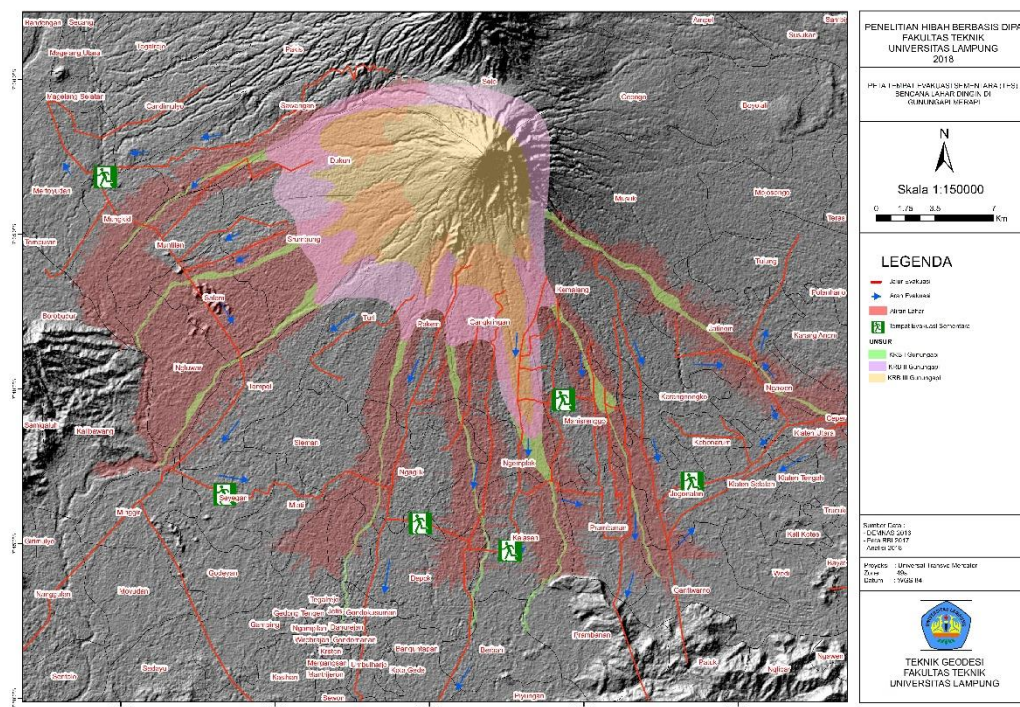
Tabel 4C. Prediksi penduduk terdampak lahar

Penduduk Terdampak	Penduduk Kabupaten Terdampak (Jiwa)				
	Boyolali	Klaten	Sleman	Magelang	Total
Penduduk	3206	57652	63273	44884	169016

Dari tabel 3 dapat dilihat penduduk yang paling banyak terdampak di Kabupaten Sleman dengan jumlah sekitar 62.373,292 Jiwa/Ha. Dengan adanya prediksi dampak aliran lahar terhadap tata guna lahan secara spasial diharapkan daerah daerah tersebut dapat meningkatkan kewaspadaan dan kesiapsiagaannya terhadap bahaya aliran lahar dingin terutama daerah pemukiman. Daerah terdampak telah dilakukan buffering sejauh 500 meter dari prediksi pemukiman terdampak lahar, dengan jarak 20 – 25 km dari daerah endapan lahar yang merupakan Kawasan Rawan Bencana II diharapkan daerah tersebut tidak diperuntukan untuk area

pemukiman melihat bahaya lahar dan kecepatan lahar tiba di area pemukiman. Sebaiknya daerah tersebut lebih direcomendasikan untuk daerah hutan lindung.

Untukantisipasi korban jiwa dilakukan juga analisis untuk menentukan Jalur Evakuasi serta titik potensial Tempat Evakuasi Sementara yang berdasarkan pola aliran dan elevasinya. Akhirnya hasil pemodelan aliran lahar ini dapat digunakan sebagai salah satu data penunjang penyusunan dokumen Mitigasi Bencana Gunungapi Merapi.



Gambar 4G. Peta Jalur Evakuasi dan TES

BAB V. KESIMPULAN

Banjir lahar dingin merupakan bahaya sekunder yang sifatnya merusak. Karakteristik banjir lahar dingin mempunyai laju cepat dengan tenaga yang besar yang disebabkan karena Gunungapi Merapi merupakan gunungapi starto yang mempunyai kemiringan lereng yang sangat curam. Material vulkanik berupa kerikil, kerakal, bongkahan batu ditambah dengan curah hujan serta didukung

dengan lereng yang curam menjadikan banjir lahar dingin yang sangat membahayakan.

Hasil Analisis melalui simulasi spasial dengan diperkirakan maksimum jumlah volume 135 juta m³ dimana 35% mengalir ke Kali Gendol dan sisanya 100 juta m³ menyebar di sungai/kali: krasak, Woro, Bebeng, Putih, Boyong, Lamat, Senowo, Tlising, Apu dan Bedog yang berhulu digunungapi merapi aliran banjir lahar dingin berpotensi akan merusak kawasan terbesar adalah persawahan seluas 7.500 m² sedangkan potensi merusak pada yang dapat mengakibatkan kerugian jiwa yaitu pada kawasan permukiman akan terdampak seluas 3.000 m², sedangkan berturut turut untuk dampak pada lahan perkebunan dan ladang berturut turut adalah sebesar 2.000 m² untuk perkebunan dan 750 m² untuk ladang

Penelitian ini menghasilkan data data untuk penunjang mitigasi bencana lahar dingin Merapi berupa (1) peta wilayah terdampak (2) Peta Zona Rawan Bencana (3) Peta Jalur Evakuasi dan titik titik Lokasi Tempat Evakuasi Sementara (TES). Dampak sebaran aliran lahar dingin terhadap tata guna lahan dengan volume 135 Juta m³ sebesar 42.815,783 Ha, (sebaran terbesar area perkabupaten; sawah di Magelang 9.969,592 Ha, area pemukiman di Sleman 3.701,475 Ha, ladang Sleman 1.359,638 Ha dan kebun di Sleman 1.995,602 Ha). Dan yang perlu perhatian lainnya adalah bahwa estimasi waktu tiba aliran lahar tercepat terhadap area pemukiman yaitu 10-11 menit, sehingga hanya dalam waktu tersebut penduduk dapat menyelamatkan diri dari bahaya lahar dingin.

Terdapat perbedaan luas cakupan aliran lahar antar model aliran lahar yang dikembangkan dengan Peta KRB dari PVMBG, ini dimungkinkan karena pada model yang dikembangkan menggunakan skenario dengan perubahan pada parameter volume dan arah aliran lahar sedangkan dalam kajian Peta KRB hanya menggunakan parameter arah aliran lahar, sehingga model dalam penelitian ini lebih mewakili bentuk bencana lahar dingin yang mungkin terjadi.

Hasil penyusunan peta jalur evakuasi dan TES menunjukkan pada lokasi kajian terdapat banyak jalur evakuasi dan titik titik TES yang dapat dimanfaatkan saat terjadi bencana untuk mengurangi korban jiwa. Waktu tiba lahar saat bencana yang

cukup singkat antara 11-17 menit perlu menjadi perhatian, dalam mempersiapkan metoda disaster early warning system.

Berdasarkan kajian, terjadi alih fungsi lahan ke pemukiman yang cukup signifikan sehingga perlu adanya kebijakan pemerintah setempat (dapat merujuk pada peta zona bahaya bencana lahar dingin) untuk pembatasan alih fungsi lahan ke pemukiman pada lokasi terdampak lahar, sebaiknya lokasi terdampak diarahkan sebagai kawasan lindung.

PENUTUP

Demikian kami sampaikan Laporan kegiatan penelitian dengan judul “Pemodelan Analisis Spasial Aliran Lahar Dingin Untuk Mitigasi Bencana Gunung Merapi”. Semoga dengan laporan ini dapat menguraikan proses dan hasil kegiatan penelitian yang telah kami laksanakan. Kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan untuk meningkatkan hasil dan laporan penelitian ini. Atas perhatiannya diucapkan terimakasih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BNPB and BAPPENAS, *Rencana Aksi Rehabilitasi dan Konstruksi Pasca Bencana Erupsi Gunung Merapi 2011-2013*, no. 1. BNPB, 2011.
- [2] R. Rahayu, D. P. Ariyanto, K. Komariah, S. Hartati, J. Syamsiyah, and W. S. Dewi, “Dampak Erupsi Gunung Merapi Terhadap Lahan Dan Upaya-Upaya Pemulihannya,” *Caraka Tani J. Sustain. Agric.*, vol. 29, no. 1, p. 61, 2014.
- [3] Sutikno and dkk, *Kerajaan merapi Sumber Daya Alam & Daya Dukungnya*. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPGF) Universitas Gadjah Mada, 2007.
- [4] Sumarti, “Aktivitas Gunung Merapi Periode Mei – Agustus,” *Buletin Berkala Merapi*, vol. 12/02/ Edisi Agustus 2013, pp. 1–6, 2013.
- [5] F. Lavigne, J. C. Thouret, B. Voight, H. Suwa, and A. Sumaryono, “Lahars at Merapi volcano, Central Java: an overview,” *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 100, no. 1–4, pp. 423–456, 2000.
- [6] A. Rasyid and M. A. Harun, “Analisis Tingkat Kerusakan Penggunaan Lahan Akibat Banjir Lahar Pasca Erupsi Gunung Merapi Tahun 2010 Di Sub Das Kali Putih,” Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2012.
- [7] P. Krugman, “Toward a counter-counterrevolution in development theory,” *World Bank Econ. Rev.*, vol. 6, no. suppl_1, pp. 15–38, 1992.
- [8] D. G. Tarboton, “The analysis of river basins and channel networks using digital terrain data,” Massachusetts Institute of Technology, 1989.
- [9] M. F. Sheridan and M. C. Malin, “Application of computer-assisted mapping to volcanic hazard evaluation of surge eruptions: Vulcano, Lipari, and Vesuvius,” *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 17, no. 1–4, pp. 187–202, 1983.

- [10] J. Cahyono, *Penanggulangan Daya Rusak Aliran Debris*. 2012.
- [11] S. Aronoff, *Geographical Information System: A Management Perspective*. Ottawa, Canada: WDL publications.
- [12] A. Zaenudin, I. G. B. Darmawan, Armijon, S. Minardi, and N. Haerudin, "Land subsidence analysis in Bandar Lampung City based on InSAR," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1080, no. 1, 2018.
- [13] C. Van Westen, *Multi-hazard risk assessment*. Ne: UNU-ITC DGIM, 2009.
- [14] A. Tridawati, S. Darmawan, and A. Armijon, "Estimation the oil palm age based on optical remote sensing image in Landak Regency, West Kalimantan Indonesia," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 169, no. 1.
- [15] R. J. Gordon, *Macro Economics*. Boston, Toronto: Little, Brow and Company, Inc, 1978.
- [16] W. D. Thornbury, *Principles of geomorphology*, Second. New York, USA: John Wiley and Sons, Inc, 1968.
- [17] S. P. Schilling, "LAHARZ: GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones," 1998.
- [18] R. Kumalawati, *Pengelolaan bencana lahar gunung api merapi*. Yogyakarta: Penerbit Ombak, 2015.
- [19] F. Lavigne, "Lahar hazard micro-zonation and risk assessment in Yogyakarta city, Indonesia," *GeoJournal*, vol. 49, no. 2, pp. 173–183, 1999.
- [20] Kushendratno, E. Sukiyah, N. Sulaksana, Weningsulistri, and Yohadi, "Pemodelan Aliran Lahar Menggunakan Perangkat Lunak LAHARZ Di," pp. 42–46.
- [21] A. Fajriyanto, Armijon, and E. Rahmadi, "Potential Dangers of Earthquake and Strain Analysis in the Sunda Strait Based GPS (Global Positioning System)," *J. Eng.*, vol. 16, 2012.
- [22] C. Dewi, Armijon, and R. Fadly, "Analisis Pembuatan Peta Zona Rawan Bencana Tsunami pada Daerah Pesisir (Studi Lokasi: Pesisir Kota Bandar Lampung)," in *Prosiding Sembistek 2014, 2015*, vol. 1, no. 02, pp. 740–753.
- [23] R. A. de By *et al.*, *Principles of Geographic Information Systems*. Netherlands: The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Hengelosestraat 99, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands, 2000.
- [24] I. Meilano *et al.*, "Slip Rate Estimation of the Lembang Fault West Java from Geodetic Observation," *J. Disaster Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 12–18, 2016.
- [25] Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian 2012, *Kajian Cepat Dampak Erupsi Gunung Merapi 2010 Terhadap Sumberdaya Lahan Pertanian*. 2012.
- [26] Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana, *perka-5-tahun-2011-tentang-penetapan-rencana-aksi-rehabilitasi-dan-rekonstruksi-wilayah-pasca-bencana-erupsi-gunung-merapi-di-provinsi-yogyakarta-dan-provinsi-jawa-tengah-tahun-2011-2013*. 2011.
- [27] T. M. Lillesand and R. W. Kiefer, *Remote Sensing and Image Interpretation*, Fourth. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1990.
- [28] M. M. Fischer and P. Nijkamp, *Geographic Information Systems, Spatial Modeling, and Policy Evaluations*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993.
- [29] M. N. DeMers, *Fundamentals of Geographic Information System*. ohn Wiley & Sons, Inc, 2010.
- [30] V. M. Law and W. D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, Third. .
- [31] MREP, *Spatial Analyst : Marine Resource Evaluation and Planning Project*. Jakarta: MREP, 1998.
- [32] Sidarto, *Perkembangan Teknologi Penginderaan Jauh dan Pemanfaatannya Untuk Geologi di Indonesia*, Suwiyanto; Bandung: Badan Geologi KESDM, 2013.
- [33] M. Alzwar, H. Samodra, and J. J. Tarigan, *Pengantar Dasar Ilmu Gunungapi*. Bandung: Bandung: Nova, 1998.