

# PEMANFAATAN CITRA *DIGITAL ELEVATION MODEL* (DEM) UNTUK STUDI EVOLUSI GEOMORFOLOGI GUNUNG API MERAPI SEBELUM DAN SETELAH ERUPSI GUNUNG API MERAPI 2010

Yustian Ekky Rahanjani<sup>1)</sup>, Agung Setianto<sup>2)</sup>, Srijono<sup>3)</sup>  
<sup>1,2,3)</sup>Jurusan Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta  
Jl. Grafika no 2 Yogyakarta 55281 Telp (0274)-513668  
e-mail : [geologiugm@jogjamedianet.com](mailto:geologiugm@jogjamedianet.com)

## Abstrak

Gunung api Merapi adalah satu dari gunungapi teraktif di dunia. Erupsi G.Merapi sepanjang 26 Oktober hingga 4 November 2010 menyebabkan banyak korban dan perubahan morfologi yang signifikan di sekitar tubuh gunung api. Hal ini mendorong peneliti untuk melakukan penelitian mengenai perubahan morfologi karena erupsi. Daerah penelitian berada di lereng selatan G.Merapi, khususnya pada bagian channel dan overbank Kali Gendol. Maksud dari penelitian evolusi geomorfologi G. Merapi ini adalah mengetahui perubahan geomorfologi yang terjadi akibat erupsi G. Merapi 2010. Sedangkan tujuan penelitian ini adalah menganalisis kondisi geologi setelah erupsi G. Merapi 2010, perubahan pola kontur setelah erupsi G. Merapi 2010, dan perubahan pola penyaluran setelah erupsi G. Merapi 2010.

Pada penelitian ini, kami menggunakan DEM pada tanggal 6 Oktober 2010 dan 9 November 2010 untuk membandingkan dan menganalisis kondisi sebelum dan setelah erupsi. Penelitian mengombinasikan hasil pengolahan data Digital Elevation Model (DEM) multitemporal, yaitu DEM sebelum erupsi dan DEM sesudah erupsi dan data lapangan berupa data litologi dan morfologi untuk menganalisis peta geomorfologi, mendeterminasi perubahan elevasi, peta pola penyaluran sebelum dan setelah erupsi, dan peta kontur sebelum dan setelah erupsi. Setelah itu, dibuat analisis perubahan jarak kontur pada tiap satuan geomorfologi, analisis fluktuasi perubahan elevasi pada tiap satuan geomorfologi, dan analisis perubahan azimuth aliran sungai pada tiap satuan geomorfologi.

Berdasarkan hasil pengolahan DEM dan data lapangan, daerah penelitian dapat dibagi menjadi dua satuan litologi yaitu Satuan Kubah Lava dan Satuan Piroklastik. Kemudian, daerah penelitian juga dapat dibagi menjadi 6 satuan geomorfologi pada DEM sesudah erupsi, yaitu Satuan Dataran, Satuan Perbukitan Bergelombang Lemah, Satuan Perbukitan Bergelombang Lemah-Kuat, Satuan Perbukitan Bergelombang Kuat, Satuan Perbukitan Berlereng Curam, dan Satuan Pegunungan Berlereng Sangat Curam. Dari hasil analisis pola kontur dan pola aliran sungai didapat bahwa arah displacement sesuai kontur menurun pada model tidak sepenuhnya sama dengan arah displacement material erupsi G. Merapi. Hal ini dikarenakan massa jenis yang tidak rata akibat transportasi material tersebut, faktor morfologi asal, dan rekayasa manusia (rumah-rumah penduduk yang menjadi barrier aliran piroklastik).

**Kata Kunci :** DEM, Morfologi, Gunung api Merapi

## 1. PENDAHULUAN

Gunung api aktif merupakan objek geologi yang dinamis. Keberadaannya memiliki kontribusi bagi kehidupan masyarakat di sekitarnya baik positif maupun negatif. Dampak positif dari gunung api dirasakan dalam jangka waktu yang panjang sedangkan dampak negatif gunung api dapat dirasakan dalam waktu sekejap. Hal ini terbukti dari erupsi Gunung api Merapi yang terjadi pada rentang waktu 26 Oktober hingga 4 November lalu yang menelan hampir 300 korban jiwa hanya dalam waktu kurang dari 10 hari (Utomo, dkk, 2011). Oleh karena itu, hal ini menjadi masalah tersendiri bagi warga yang tinggal di lereng gunung api sebab bahaya yang mengancam mereka dapat terjadi sewaktu-waktu.

Hasil dinamika gunung api akibat vulkanisme di permukaan tampak pada ekspresi deformasi morfologi. Jika terjadi erupsi dengan intensitas yang cukup signifikan, terjadi pula perubahan morfologi yang berpengaruh pada berbagai hal.

Oleh karena itu, diperlukan suatu teknologi yang lebih terpadu untuk mengetahui secara lebih rinci perubahan morfologi tersebut. Dalam penelitian ini, digunakan *Digital Elevation Model* (DEM) untuk mendelineasi litologi dan morfologi setelah erupsi Gunung api (G) Merapi 2010 untuk dianalisis lebih jauh mengenai kondisinya dan genesanya.

Maksud dari penelitian evolusi geomorfologi G. Merapi ini adalah mengetahui perubahan geomorfologi yang terjadi akibat erupsi G. Merapi 2010 sedangkan tujuan penelitian ini adalah menganalisis kondisi morfologi setelah erupsi G. Merapi 2010, perubahan pola kontur setelah erupsi G. Merapi 2010, dan perubahan pola penyaluran setelah erupsi G. Merapi 2010.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara keilmuan dan kepraktisan. Secara keilmuan, penelitian ini diharapkan mampu memperkaya khazanah penelitian mengenai morfodinamika pada bentang alam vulkanik. Sedangkan secara kepraktisan, penelitian ini memperkenalkan teknologi DEM untuk menganalisis perubahan morfologi dan menyediakan data dasar untuk berbagai keperluan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Lokasi penelitian terletak di wilayah yang meliputi lereng selatan G.Merapi. Lokasi ditentukan melalui interpretasi citra DEM untuk mendeliniasi pelamparan hasil erupsi. Pada titik terjauh di utara, daerah penelitian dibatasi oleh koordinat (438913,5;9167589,5) dan di selatan dibatasi oleh koordinat (438913,5;9154878,4). Sedangkan di timur dibatasi oleh koordinat (434955,5;9161233,5) dan di barat dibatasi oleh koordinat (442872,3;9161233,5), dengan sistem koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) meliputi Desa Glagaharjo, Kepuharjo, Umbulharjo, Hargobinangun, dan Purwobinangun hingga puncak G.Merapi, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (Gambar 2.1). Daerah penelitian dapat ditempuh dengan menggunakan sepeda motor dalam waktu kurang lebih 45 menit dari kampus Teknik Geologi UGM ke arah utara melalui Jalan Kaliurang dan Jalan Monjali.

Menurut Hendrayana, 1993 (dalam Nasution, 1999), G.Merapi dibagi ke dalam tiga satuan geomorfologi, yaitu Satuan morfologi puncak G. Merapi, satuan morfologi lereng G.Merapi, dan satuan morfologi kaki G.Merapi. Menurut MacDonald and Partners (1984 dalam Nasution, 1999), endapan G.Merapi tersusun atas Formasi Sleman, Formasi Yogyakarta, Endapan Vulkanik Merapi Tua, dan Endapan Vulkanik Merapi Muda yang tersusun oleh tuf, lanau, pasir, kerikil, breksi, aglomerat. Semakin tua, endapan tersebut semakin kompak. Sedangkan struktur geologi yang ada pada daerah penelitian adalah sesar Opak (Van Bemmelen, 1970). Daerah penelitian masuk pada Endapan Vulkanik Merapi Tua dan Muda serta Formasi Sleman.

DEM adalah model digital yang menampilkan permukaan topografi atau *terrain*. DEM sering juga disebut sebagai *Digital Terrain Model* (DTM). DEM biasanya dikembangkan dengan metode penginderaan jauh, bahkan juga dikembangkan dengan data survei lapangan. DEM sering digunakan dalam Sistem Informasi Geografi (SIG) (Murniati, 2009). DEM adalah bagian dari ranah penginderaan jauh sebagai citra nonfoto. Untuk mengetahui perubahan morfologi, diperlukan DEM multitemporal, yaitu DEM sebelum (6 Oktober 2010) dan setelah erupsi (9 November 2010). Kemudian dari kedua DEM tersebut, dijelaskan perbedaan parameter-parameter yang sesuai dengan dasar teori yang dijelaskan berdasarkan tiap-tiap unit morfologi.

Williams dan McBirney (1979) membagi gunung api menjadi 3 zona, yaitu zona pusat erupsi, zona proksimal, dan zona distal. Dari zona pusat erupsi ke zona distal, material piroklastik yang diendapkan berukuran butir semakin halus sedangkan dari zona proksimal ke zona pusat erupsi, pola penyaluran akan berubah dari subparalel menjadi radial. Hal ini menjadi gambaran awal kondisi daerah penelitian.

Pemetaan geomorfologi untuk mengidentifikasi evolusi geomorfologi ini ditekankan pada perubahan aspek morfometri dengan melokalisir kelompok rentang nilai kemiringan lereng yang sama. Pertama kali dihitung nilai kemiringan lereng dengan rumus :

$$S = (\Delta h / D) \times 100 \% \text{ (Van Zuidam, 1983)}$$

Keterangan:

S = Kemiringan lereng (%)

$\Delta h$  = Perbedaan ketinggian (m)

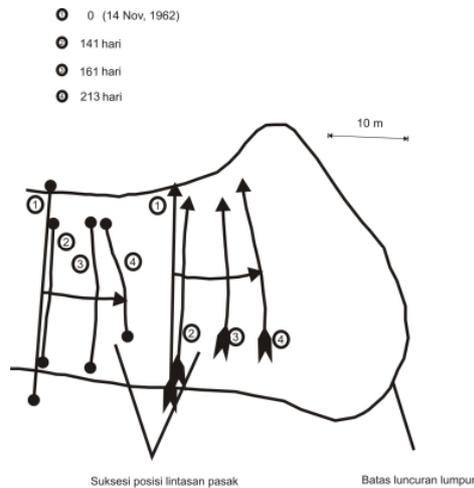
D = Jarak titik tertinggi dengan terendah (m)

Selanjutnya, lereng dikelompokkan menjadi beberapa satuan relief dalam tabel berikut

**Tabel 1.** Klasifikasi Morfometri (Van Zuidam, 1983)

Satuan Relief	Sudut Lereng (%)	Beda Tinggi (m)
Datar / hampir datar	0 – 2	<5
Bergelombang lemah / miring landai	3 – 7	5 – 50
Bergelombang lemah – kuat / berlereng landai	8 – 13	25 – 75
Bergelombang kuat – berbukit / berlereng sedang	14 – 20	50 – 200
Berbukit – tersayat curam / berlereng curam	21 - 55	200 – 500
Tersayat curam – bergunung / berlereng sangat curam	56 - 140	500 – 1000
Bergunung / berlereng ekstra curam	>140	>1000

Untuk memperkirakan arah perubahan geomorfologi, peneliti menggunakan model pergerakan material dari Hutchinson (1970, dalam Goudie, *et. al*, 1981) yang dapat menunjukkan bahwa pergerakan *mudslide* (*mudflow*) didominasi oleh pergeseran translational pada bidang geser (*shear plane*), karena ada perubahan kecil dalam kecepatan permukaan dari batas hingga pusat aliran.



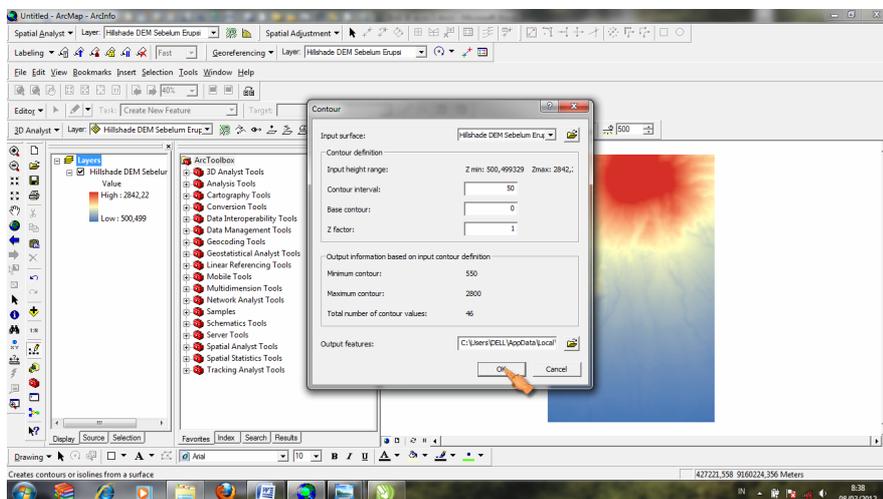
**Gambar 1.** Pola *Displacement* (Hutchinson, 1970 dalam Goudie, *et.al*, 1981)

Gambar di atas menunjukkan percobaan Hutchinson untuk menentukan pola *displacement* sepanjang *mudslide* dari pantai. Dengan demikian, pola *displacement* pada area yang lebih luas dapat dianalogikan demikian. Posisi suksesif dari lintasan pasak di atas, dapat dianalogikan dengan pola kontur yang ada. Pola *displacement* tidak mengarah lurus namun mengarah ke samping.

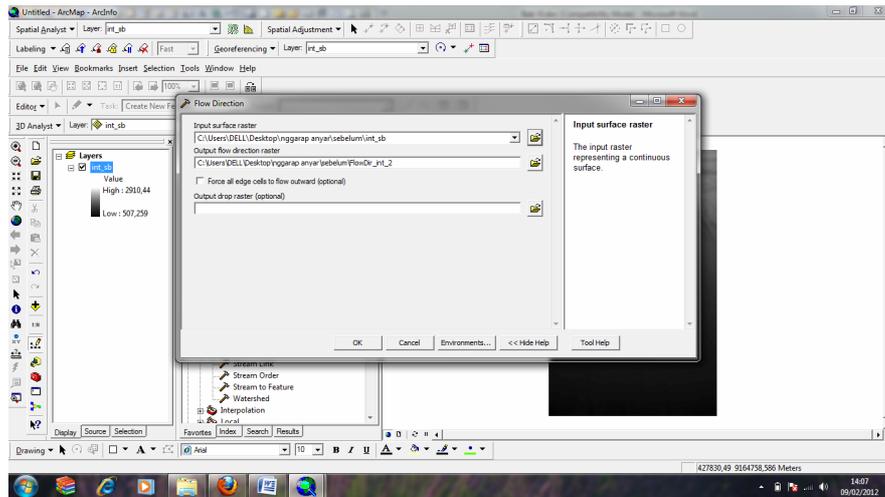
ESRI (2008) dalam panduan *software* ArcMap yang terintegrasi dalam ArcGIS 9.3 menjelaskan bahwa *raster calculator* dalam ekstensi *spatial analyst* yang ada pada ArcMap dapat digunakan untuk operasi matematis pengurangan nilai raster. Fitur ini dimanfaatkan untuk mengurangi nilai elevasi pada DEM setelah erupsi dengan DEM sebelum erupsi. Perubahan elevasi yang positif di sekitar jalur awan panas (*pyroclastic surge*) diinterpretasikan sebagai ongkakan material piroklastik hasil letusan yang mengubah morfologi gunung api. Sedangkan bagian yang mengalami perubahan elevasi negatif diinterpretasikan sebagai hasil geseran dari hasil erupsi.

Untuk menentukan satuan morfologi, peneliti menggunakan fitur *slope* pada *spatial analyst* tab pada ArcMap, dengan memasukkan ukuran *cell/pixel* yang berpengaruh pada nilai resolusi (ESRI, 2008). Karena klasifikasi oleh fitur tersebut belum memenuhi klasifikasi standar, yaitu klasifikasi Van Zuidam (1983), maka satuan morfologi yang ada diubah sesuai dengan rentang nilai kemiringan lereng pada klasifikasi Van Zuidam (1983) menggunakan *raster calculator*.

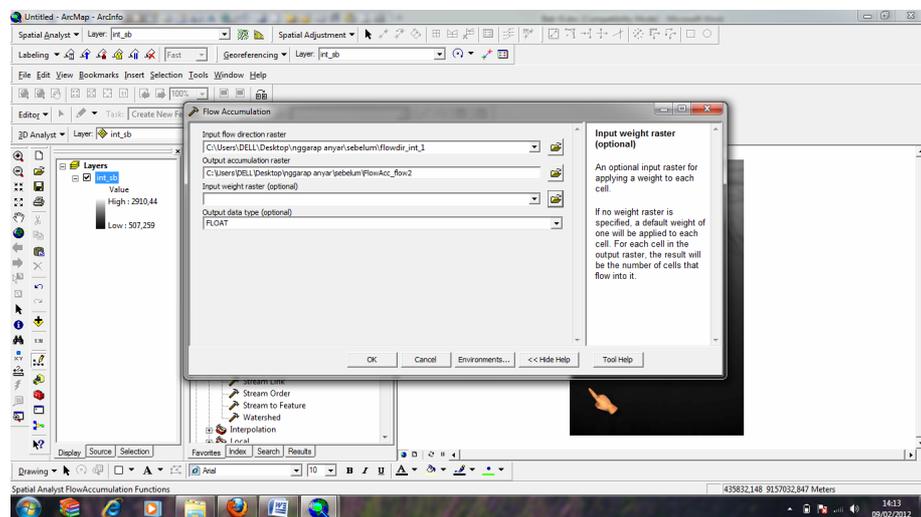
Setelah itu, untuk membuat kontur yang nantinya akan dianalisis, digunakan fitur *contour* pada *surface analyst* yang ada dalam *spatial analyst* tab (Gambar 2). Kemudian, untuk mendeliniasi pola penyaluran dan sungai digunakan ekstensi *flow direction* sesuai persentase nilai peluang aliran yang diinginkan dan hasil dari *flow direction* dimasukkan dalam parameter *flow accumulation* untuk mendeliniasi pola penyaluran yang sebenarnya (Gambar 3 dan Gambar 4).



**Gambar 2.** Membuat Kontur dari DEM



Gambar 3. Membuat *Flow Direction*



Gambar 4. Membuat *Flow Accumulation*

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, diperlukan alat dan bahan sebagai berikut :

1. Alat : palu geologi, lup, kompas geologi, GPS, komputer, *software* ArcGIS 9.3 dan Microsoft Office, alat tulis dan buku lapangan.
2. Bahan
  - a. Citra DEM multitemporal, sebelum (pada tanggal 6 Oktober 2010) dan setelah (pada tanggal 9 November 2010) erupsi G.Merapi untuk analisis perubahan litologi, perubahan pola kontur, dan perubahan pola aliran sungai.
  - b. Peta Rupa Bumi Indonesia Lembar Kaliurang dan Pakem berskala 1:25.000 untuk mengplot lokasi di lapangan (Bakosurtanal)

#### 3.2. Tahapan penelitian

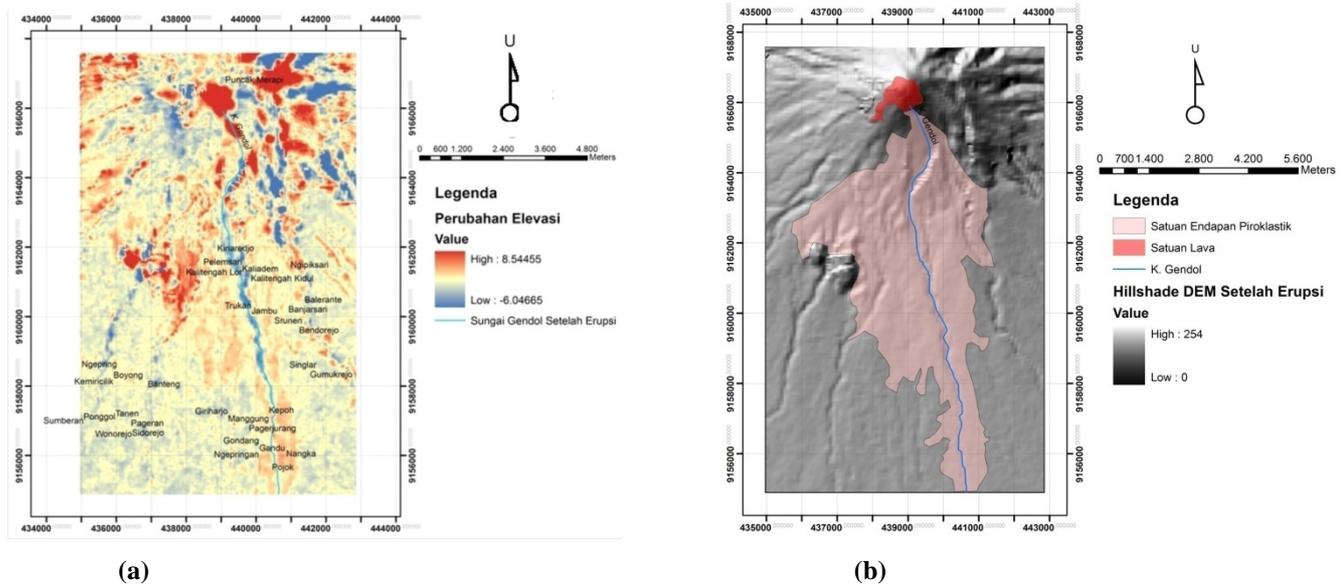
Tahapan penelitian terbagi menjadi beberapa tahap yang meliputi tahap pra-lapangan, tahap pekerjaan lapangan, tahap pengolahan data, tahap interpretasi dan integrasi data hingga tahap pembuatan laporan. Uraian secara lebih detail mengenai tahapan-tahapan penelitian dapat dilihat sebagai berikut :

1. Kajian Pustaka  
Mengumpulkan bahan untuk dasar teori dan dasar untuk menentukan hipotesis dan studi geologi regional dan mengumpulkan data sekunder yang lain seperti DEM multitemporal.
2. Pembuatan Proposal dan Interpretasi pra Lapangan

3. Pengumpulan Data Lapangan  
Pengambilan data geomorfologi khususnya morfometri berupa nilai kemiringan lereng.
4. Kerja Laboratorium  
Pengolahan dan analisis DEM, dan kompilasi data lapangan dan DEM
5. Penyusunan Laporan

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Interpretasi litologi



Gambar 5. Peta perubahan elevasi (a) dan interpretasi litologi berdasarkan peta perubahan elevasi (b)

Untuk mendeliniasi litologi baru hasil erupsi, peneliti memakai DEM multitemporal, yaitu DEM sebelum erupsi (pada tanggal 6 Oktober 2010) dan DEM setelah erupsi (pada tanggal 9 November 2010). Peneliti mengurangi elevasi DEM setelah erupsi dengan elevasi DEM sebelum erupsi yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5(a). Selisih elevasi yang bernilai positif ditandai dengan warna merah sedangkan selisih elevasi yang bernilai negatif ditandai dengan warna biru. Bagian di sekitar Kali Gendol yang berwarna merah pudar memiliki kenaikan elevasi yang cukup signifikan hingga di sekitar Bukit Turgo dan Plawangan. Perubahan elevasi positif diasumsikan sebagai ongkongan piroklastik hasil letusan yang baru sedangkan bagian yang berwarna merah dan berasosiasi dengan puncak gunung api diasumsikan sebagai perubahan morfologi karena aktivitas lava sehingga satuan geologi hasil erupsi dapat dideliniasi seperti pada Gambar 5(b).

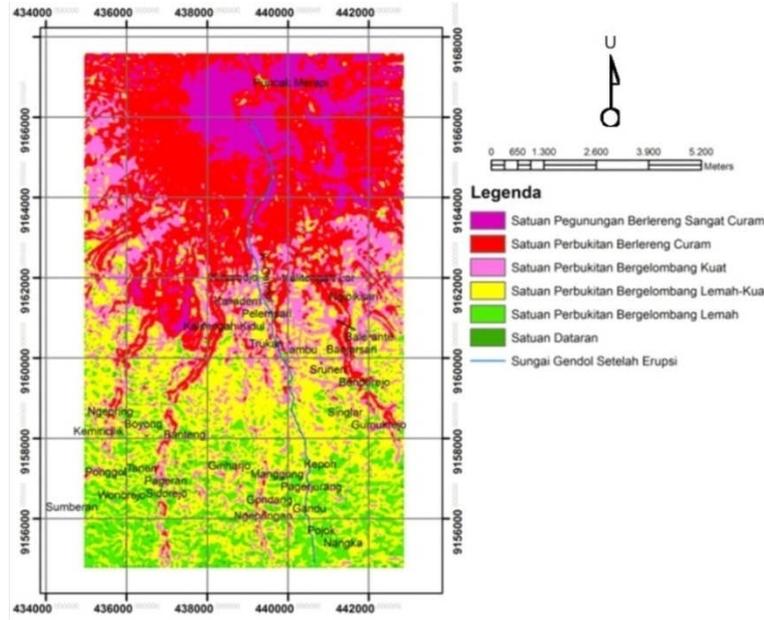
### 4.2. Interpretasi geomorfologi

Pembagian satuan morfologi dilakukan dengan menggunakan fitur *slope* pada *Spatial Analyst* pada software ArcMap. Kemudian diklasifikasikan kembali sesuai dengan klasifikasi Van Zuidam (1983). Daerah penelitian terbagi menjadi enam satuan morfologi yaitu : Satuan Dataran, Satuan Perbukitan Bergelombang Lemah, Satuan Perbukitan Bergelombang Lemah-Kuat, Satuan Perbukitan Bergelombang Kuat, Satuan Perbukitan Berlereng Curam, Satuan Pegunungan Berlereng Sangat Curam (Gambar 6).

### 4.3. Analisis Perubahan Pola Kontur

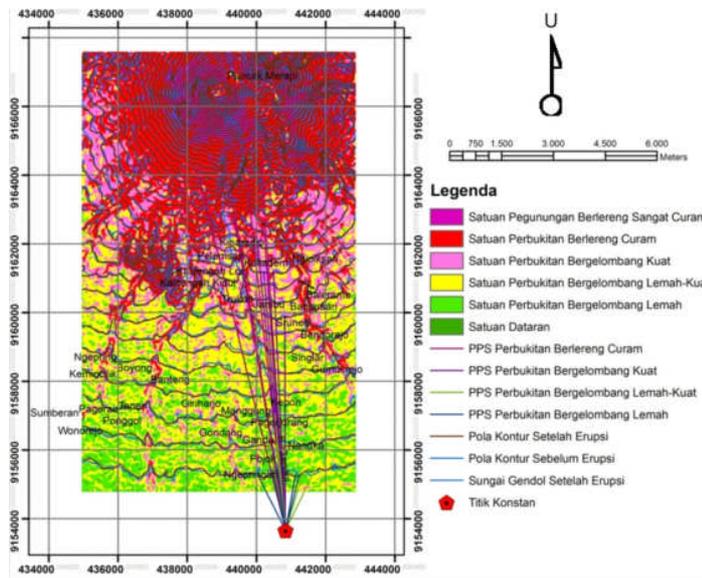
Analisis perubahan pola kontur dilakukan dengan mengambil posisi yang berubah pada kontur yang bernilai sama pada tiap-tiap satuan morfologi sebanyak lima titik (Gambar 7a). Kemudian dibuat rerata perubahan jarak titik awal menjadi titik akhir (setelah erupsi) dan dibuat kurva seperti pada Gambar 7 (b). Pada titik yang sama, dilihat pula titik ekstrem pada masing-masing posisi tersebut dan dengan cara yang sama dihasilkan Gambar 7 (c). Dari kurva 7 (b) terlihat dari Satuan Perbukitan Berlereng Curam ke arah Satuan Perbukitan Bergelombang Lemah-Kuat, nilai jarak antara titik sebelum dan setelah erupsi semakin tinggi namun menjadi semakin rendah ketika mendekati Satuan Perbukitan Bergelombang Lemah. Sedangkan pada kurva 7 (c) terlihat dari Satuan Perbukitan Berlereng Curam ke arah Satuan Perbukitan Bergelombang Kuat terjadi fluktuasi nilai titik ekstrem morfologi. Semakin ke arah landai, nilainya semakin kecil. Kita tahu bahwa semakin ke arah lereng yang lebih landai/semakin jauh dari pusat erupsi, piroklastik aliran akan berkurang massa jenisnya

pengurangan material akibat terendapkan dan semakin curam lereng yang dilewati material piroklastik aliran, semakin tidak stabil material yang menumpuk di wilayah tersebut dan akan terus mengalami stabilisasi.

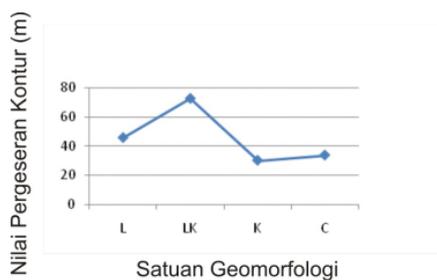


Gambar 6. Peta geomorfologi

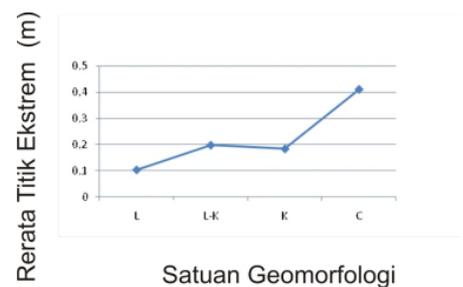
4.4. Analisis Perubahan Pola Kontur



(a)



(b)



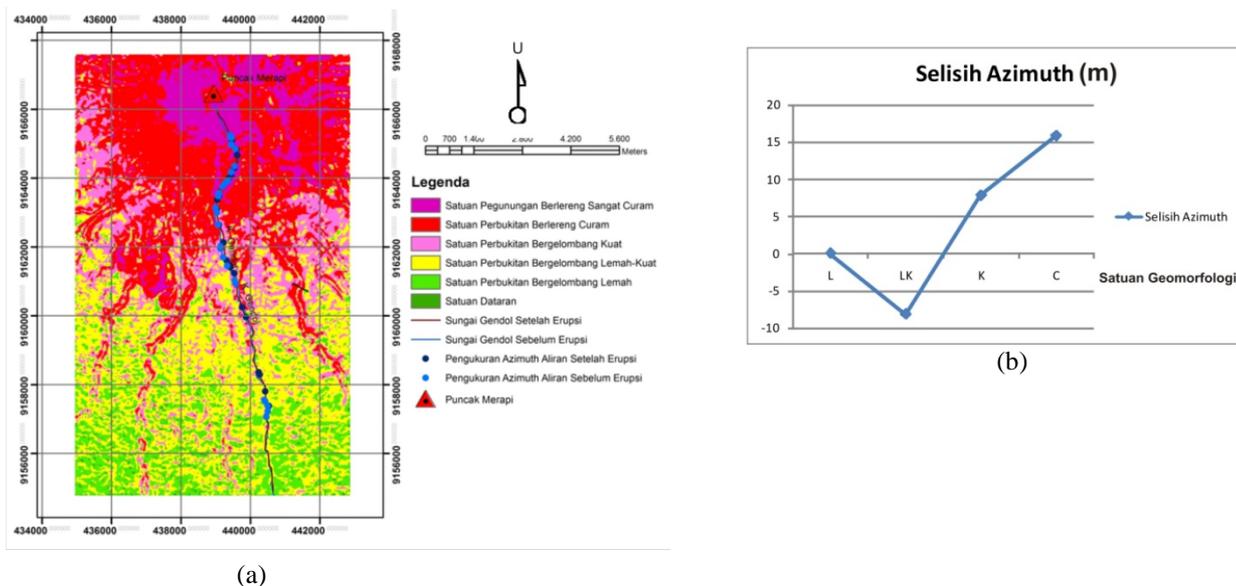
(c)

Gambar 7. Peta pengukuran perubahan kontur (a), kurva pergeseran kontur (b), dan kurva titik ekstrem (c)

Hal yang berbeda dijelaskan pada kurva 7(b) di mana pada titik yang berada pada Satuan Perbukitan Bergelombang Lemah-Kuat perubahan horizontalnya paling besar dan makin turun nilainya ke arah Satuan Perbukitan Bergelombang Lemah. Sedangkan fluktuasi perubahan morfologi paling besar justru terjadi pada Satuan Perbukitan Berlereng Curam. Gejala tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut. Semakin ke arah lereng yang landai, ruang yang dipakai untuk mengendapkan material piroklastik tersebut semakin lebar namun tidak terdapat *barrier* sehingga fluktuasi perubahan morfologi secara vertikal semakin kecil. Sedangkan pada satuan geomorfologi yang lebih curam terdapat *barrier* yang menghalangi suplai material ke bawah. Peneliti menginterpretasikan bahwa *barrier* ini adalah material piroklastik yang lama yang masih tersisa akibat erupsi terdahulu, sempitnya lembah sungai yang berada di hulu dan juga rumah-rumah penduduk yang mengurangi kecepatan Bergeraknya material piroklastik, sehingga fluktuasi perubahan morfologi pada satuan tersebut menjadi tinggi, khususnya penumpukan material di bagian atas. Hal ini yang nantinya akan menyebabkan terjadinya lahar hujan jika di wilayah tertumpuknya material tersebut terjadi hujan (hulu sungai). Hal ini diinterpretasi berdasarkan peta kontur yang dihasilkan di mana semakin ke arah hulu sisi bawah dari 'gigi kontur' menjadi semakin menyempit.

#### 4.5. Analisis perubahan azimuth aliran sungai

Analisis perubahan azimuth aliran sungai dilakukan dengan mengambil sampel pengukuran sebanyak lima posisi pada tiap satuan morfologi (Gambar 8a). Kemudian dibuat rerata selisih azimuth aliran sungai. Dari kurva 8(b) di bawah ini, semakin ke arah Satuan Perbukitan Bergelombang Lemah-Kuat, perubahan azimuth sungai menjadi semakin kecil dan dari Satuan Perbukitan Bergelombang Kuat ke arah Satuan Perbukitan Bergelombang Lemah menjadi besar kembali. Kondisi demikian dapat dijelaskan sebagai berikut. Suplai material dalam volume yang cukup besar terjadi pertama karena runtuhnya kubah lava yang berubah menjadi aliran material piroklastik. Semakin jauh, energi kinetik aliran piroklastik tersebut akan berkurang karena melandainya lereng dari aliran piroklastik tersebut sehingga arah aliran sungai tersebut berubah hingga mencapai titik stabil pada lereng yang paling landai (tidak ada perubahan/perubahan sangat kecil pada Satuan Perbukitan Bergelombang Lemah). Semakin kecil energi kinetiknya, semakin kecil pula perubahan nilai azimuth arah aliran sungai karena aliran piroklastik tidak cukup kuat untuk melawan aliran sungai utama, selain dari faktor massa jenisnya yang juga semakin kecil. Sama halnya dengan analisis perubahan kontur, pengukuran tidak dilakukan pada Satuan Dataran dan Satuan Pegunungan Berlereng Sangat Curam karena pada Satuan Dataran pelamparannya sangat sempit sedangkan pada Pegunungan Sangat Curam, evolusi geomorfologi didominasi oleh pertumbuhan kubah lava (telah diterangkan di atas). Kondisi kurva juga menegaskan bahwa arah perubahan azimuth aliran sungai relatif ke arah tenggara. Hal ini dilihat dari perubahan azimuth sungai (dalam NE) yang semakin kecil dan berorientasi ke arah selatan searah jarum jam.



Gambar 8. Kurva rerata selisih azimuth aliran Sungai Gendol sebelum dan setelah erupsi

## 5. KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan, peneliti menyimpulkan bahwa :

1. Pola evolusi geomorfologi sebelum dan setelah erupsi berbeda. Hal ini tercermin dari pola-pola penyaluran dan perubahan azimuth sungai. Pada tiap satuan geomorfologi, pola *displacement* menjadi berbeda karena pengaruh ketebalan, massa jenis, dan kemiringan lereng pada tiap-tiap satuan geomorfologi. Pola evolusi geomorfologinya memiliki kecenderungan ke arah tenggara.
2. Pola penyaluran sebelum dan setelah erupsi berbeda dalam hal kerapatan aliran sungai, khususnya pada daerah yang dibatasi endapan piroklastik yang baru.

## DAFTAR PUSTAKA

ESRI, 2008, *Manual of ArcGIS*, ESRI, USA

Goudie, Andrew, Anderson, Malcolm, Burt, Tim, Lewin, John, Keith, Richards, Whalley, Brian, Worsley, Peter, 1981, *Geomorphological Techniques*, George Allen & Unwin, London

Murniati, 2009, *Interpretasi Kelurusan Jawa Tengah Menggunakan Data Digital Elevation Model (DEM)*, Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, tidak dipublikasikan

Nasution, Ibrahim, 1999, *Studi Hidrogeologi Kawasan Resapan Lereng Merapi Bagian Selatan untuk Konservasi*, Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Utomo, Mulyono, Noviard, Aditya, Sholahuddin, 2011, *Letusan Merapi 2010 Sebuah Catatan Jurnalistik*, Penerbit Harian Umum Solo Pos dan Harian Jogja

Van Bemmelen, R.W., 1970, *The Geology of Indonesia IA*, Martinus Nijhoff, The Hague

Van Zuidam, 1983, *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation And Mapping*, ITC, Enschede, The Netherlands

Williams, Howel, dan McBirney, Alexander, R., 1979, *Volcanology*, Freeman, Cooper and Co., San Fransisco