

STRUKTUR GEOLOGI DAN VULKANOSTRATIGRAFI; ANALISIS MODEL ELEVASI DIGITAL DAN CITRA LANDSAT 8

STRUCTURAL GEOLOGY AND VOLCANOSTRATIGRAPHY; DIGITAL ELEVATION MODEL AND LANDSAT 8 IMAGERY ANALYSIS

Hari Wiki Utama

Teknik Geologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi; Jl. Lintas Jambi - Ma. Bulian, No
Km. 15, Mendalo Darat, Muaro Jambi, Jambi, 36122

Received: 2020, 09th July
Accepted: 2020, 14th July

Keyword:

Landsat 8;
Digital elevation model;
Structural Geology;
Volcanostratigraphy.

Correspondent Email:

h.wikiutama@unja.ac.id

How to cite this article:

Utama, H.W. (2020). Struktur
Geologi dan
Vulkanostratigrafi; Analisis
Model Elevasi Digital dan
Citra Landsat 8. *Jurnal
Geofisika Eksplorasi*, 6(2),
156-168.

Abstrak. Perubahan morfologi dan deformasi yang terjadi pada suatu bentang alam di kompleks gunung api akan terlihat pada bentukan topografi yang memberikan ekspresi garis kontur, pola pengaliran sungai sebagai karakter khusus untuk memahami petunjuk geologi seperti struktur geologi dan litologi. Sehingga di dalam penelitian geologi dan geofisika di daerah gunung api dapat menggunakan metode awal dengan analisis Model Elevasi Digital (MED) dari skala penelitian dan Citra Landsat 8 untuk memahami struktur geologi dan vulkanostratigrafi. Studi penelitian daerah Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang terletak di Jawa Timur, termasuk kedalam gunung api aktif di Indonesia. Penelitian ini menggunakan skala peta 1:25.000 dengan analisis kontur topografi dan pola pengaliran sungai untuk menentukan unsur dari karakteristik geologi seperti indikasi struktur geologi dan satuan vulkanostratigrafi. Garis kontur dengan koherensi yang rapat sebagai penciri lava gunung api sedangkan pada koherensi garis kontur yang renggang sebagai indikasi piroklastik. MED dihasilkan dari pengolahan kontur topografi. MED dan Citra Landsat 8 dapat membantu dalam penarikan struktur geologi dan satuan vulkanostratigrafi dengan analisis morfologi, pola pengaliran sungai, sumber erupsi, morfogenesis, dan pendeskripsian litologi. Berdasarkan kedua model citra tersebut, di KGAW adanya struktur geologi sesar pergerakan mengaman dengan orientasi baratlaut-tenggara, sesar pergerakan mengiri berarah timurlaut-baratdaya, serta adanya struktur vulkanik seperti kawah, kaldera, dan zona longsor. Di KGAW juga memiliki lima pusat erupsi utama dan sumber erupsi lainnya yang tersebar di sekitar KGAW yang menjadi penyusun satuan vulkanostratigrafi. Sehingga pendekatan dengan menggunakan MED dan Citra Landsat 8 merupakan salah satu tahapan awal di dalam melakukan penelitian untuk mengetahui struktur geologi dan satuan vulkanostratigrafi di kompleks gunung api.

Abstract. *Morphological change and deformation have been happen on natural landscape on volcanic complex. Their would been seen topography formation the give contour line expression, drainage pattern as especially character for*

terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

understanding geological guideline such as structural geology and lithology. In the geological and geophysics on volcanic complex can use early methode with Digital Elevation Model (DEM) of research scale map and Landsat Image 8 for understanding structural geology and volcanostratigraphy. Research study on Arjuno Welirang Volcanic Complex, East Java, a part of active volcano in Indonesia. This study used scale map 1:25.000 wich analyzed of topography contour and drainage pattern for determination of geological feature as structural geology and volcanostratigraphy unit. Coherence of dense contour line is an igneous rock lava indicated, whereas distantly space contour line is an indicated of pyroclastic. DEM is a product extraction processes of contour topography. MED dan Citra Landsat 8 could help deliniaton of structural geology and volcanostratigraphy unit, which analyzed of morphology, drainage pattern, source of eruption, morphogenesis, and lithology remark. Based on both of image model on KGAW have dextral fault with oriented of northwestern-southeastern, sinistral fault with oriented of southwestern-northeastern, and then structural volcanic as caldera, crater, and debris avalanche. In the KGAW have five source of main eruption and the the other eruption surrounding of KGAW and their become is composed of volcanostratigraphy unit. Approach to using of DEM and Lendsat Image 8 are a part of early stage on for understanding structural geology and volcanostratigraphy on volcanic complex.

1. PENDAHULUAN

Indonesia dengan negara kepulauan berada pada tepian benua aktif yang berhubungan dengan rangkaian gunung api dengan kategori aktif mencapai 130 dari 400 gunung api, (Hall, 2014). Pembentukan rangkaian gunung api juga diiringi dengan perubahan morfologi, pola pengaliran sungai, hingga deformasi batuan yang menjadi bukti bahwa dinamika lempeng tektonik di Indonesia masih aktif (Hall & Spakman, 2015; Pierson dkk., 2008). Perubahan pada morfologi dan deformasi yang terjadi pada suatu bentang alam akan terlihat pada bentukan topografi yang memberikan ekspresi pada garis kontur, pola pengaliran sungai sebagai karakter khusus untuk memahami petunjuk geologi.

Pada kompleks gunung api aktif yang berumur Kuartar, tentunya perubahan bentang alam sangat rentan terjadi seiiring dengan erupsi yang menyebabkan deformasi gunung api tersebut (Burbank & Anderson, 2012). Untuk mengoptimalkan penelitian di

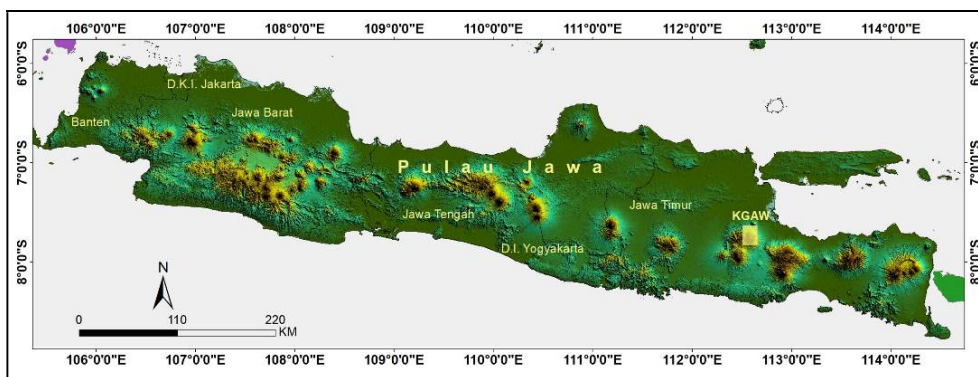
lapangan, perlunya rencana yang sistematis dari konsep pemetaan geologi yang dilakukan, agar mendapatkan hasil yang mendekati kondisi aslinya. Gejala struktur geologi seperti sesar merupakan suatu petunjuk penting yang harus dipahami di dalam penelitian pada kompleks gunung api, karena akan berhubungan dengan satuan vulkanostratigrafi. Konsep ini sangat representatif untuk diaplikasikan pada kegiatan eksplorasi panas bumi yang berhubungan dengan sistem gunung api dan identifikasi Kawasan rawan bencana geologi gunung api (Nurpratama dkk., 2015; Saibi dkk., 2018; Utama dkk., 2016).

Pentingnya memahami struktur geologi dan satuan vulkanostratigrafi dalam penelitian di kompleks gunung api, tentunya dapat mengoptimalkan studi penginderaan jauh dengan pendekatan pada kontur topografi sesuai dengan skala pemetaan yang diproses menjadi model elevasi digital, identifikasi pola pengaliran sungai, dan didukung dengan citra

landsat untuk mengkomparasi hasil analisis tersebut (Gupta, 2018; Indrastomo dkk., 2015; Utama dkk., 2016). Studi ini menjadi suatu tahapan yang seharusnya dilakukan untuk mengurangi kegagalan dalam pemetaan geologi di lapangan dan dalam eksplorasi sumber daya panas bumi. Di dalam penelitian geologi menginginkan hasil yang maksimal,

Studi penelitian pada Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang (KGAW) di Jawa Timur (**Gambar 1**), bagian dari salah satu gunung api aktif di Pulau Jawa dan termasuk kedalam Zona Solo Gunung Api Kuarter yang berasosiasi dengan manifestasi panas bumi

(Setijadji, 2010; Utama dkk., 2016; Van Bemmelen, 1949). Manifestasi geologi di kompleks gunung api dapat teramati dari ekspresi topografi sebagai tahapan awal didalam penelitian geologi gunung api, agar mendapatkan hasil yang merepresentasikan kondisi lapangan. Mengoptimalkan data topografi, pola pengaliran sungai, didukung dengan citra *landsat* untuk mendeliniasi struktur geologi dan satuan vulkanostratigrafi menjadikan suatu penelekatan penelitian di kompleks gunung api yang sangat relevan untuk diaplikasikan pada kondisi terkini.



Gambar 1. Studi penelitian yang berada di daerah Jawa Timur (KGAW)

2. TINJAUAN PUSTAKA

Indonesia berada pada tepian benua aktif zona subduksi, sehingga menyebabkan adanya intensitas seismik dan aktifitas vulkanik regional (Hall, 2014). Kondisi geologi tersebut dipengaruhi oleh interaksi konvergensi tiga lempeng besar, yaitu interaksi lempeng Eurasia di bagian utara yang relatif tetap, lempeng Indo-Australia di bagian selatan yang bergerak relatif ke utara, dan lempeng Pasifik di bagian timur yang bergerak relatif ke barat (Hall, 2002). Pengaruh interaksi lempeng tersebut menyebabkan kepulauan Indonesia dibagi menjadi dua segmen interaksi lempeng, yaitu Interaksi Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia yang mempengaruhi perkembangan tektonik Indonesia bagian barat sedangkan interaksi Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik

yang mengendalikan tektonik Indonesia bagian Timur (Hamilton, 1979).

Perkembangan tektonik di Pulau Jawa dibagi menjadi dua fase utama yaitu ekstensional Paleogen dengan tektonik yang dominasi mengalami penurunan dan kompresional Neogen yang diiringi dengan peristiwa pensesaran dan perlipatan (Hall, 2002). Pulau Jawa merupakan bagian dari Busur Sunda, termasuk ke dalam busur gunung api Tersier hingga Kuarter yang terbentuk sebagai akibat dari interaksi lempeng konvergen Indo-Australia dan Eurasia. Posisi konvergensi lempeng yang mengalami perubahan menyebabkan terjadinya aktifitas kegunungapian yang tumpang tindih dari skala waktu geologi (Bachri, 2014; Sukiyah dkk., 2016). Distribusi gunung api di Pulau Jawa

yang sebagian besar keberadaannya berasosiasi dengan sistem panas bumi (Setijadji, 2010).

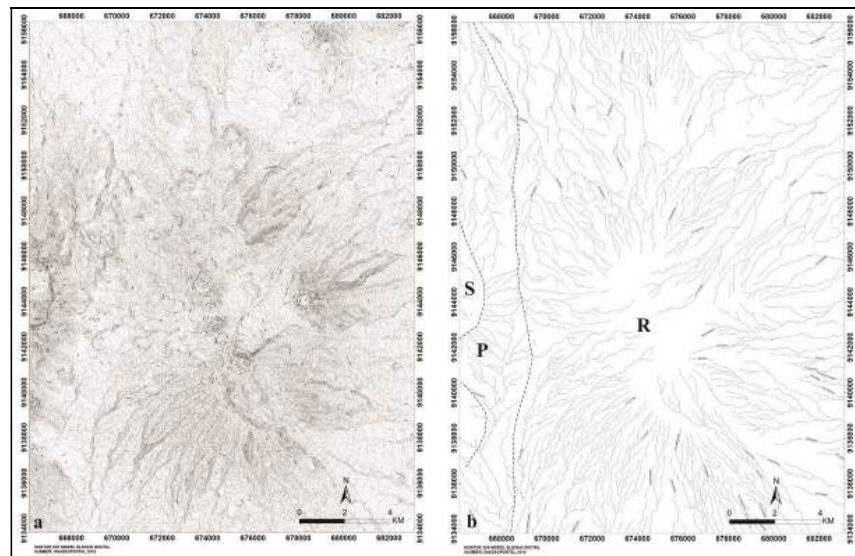
3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan skala peta 1:25.000 dengan menampilkan kontur topografi dan pola pengaliran sungai (Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional, 1999a, 1999c, 1999b, 2001), serta penambahan dan ditumpang susun dengan menggunakan citra *landsat band 8* (USGS, 2017). Data tersebut diolah dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS ArcMap 10.4.1.

Tahapan ekstraksi peta dari kontur topografi dengan tahap pengolahan pada ArcMap dengan memilih ArcToolbox, kemudian *Raster Interpolation* selanjutnya *Topo to Raster*. Tahap berikutnya memilih menu *Raster Surface Hillshade* dengan menggunakan azimuth 0° , 45° , 90° , 315°

(**Gambar 2a**) dan (**Gambar 3**). Pada tahapan selanjutnya dengan memilih menu *Spatial Analyst Tools* pada *Map Algebra* dengan *Raster Calculator* dari kombinasi empat arah azimuth tersebut, sehingga akan mendapatkan model elevasi digital yang sesuai dengan skala penelitian dan merepresentasikan kondisi lapangan.

Penggunaan citra landsat 8 dapat membantu dalam mengidentifikasi area kompleks gunung api, dimana pada area yang bersuhu tinggi seperti di kawah akan memperlihatkan warna lebih terang dibandingkan yang lainnya. Resolusi dari citra ini mencapai 30 m, sehingga sangat representatif digunakan untuk studi penginderaan jauh pada objek penelitian geologi. Pada hasil akhirnya dari model elevasi digital ini akan ditumpang susunkan dengan citra landsat 8.



Gambar 2. a) Kontur topografi studi penelitian KGAW dan b) pola pengaliran sungai di KGAW

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1. Pola Pengaliran Sungai

Menganalisis pola pengaliran sungai merupakan suatu tahapan awal di dalam menentukan unsur dari karakteristik geologi seperti indikasi struktur geologi dan satuan

vulkanostratigrafi. Studi pada daerah penelitian memperlihatkan ada tiga tipe pola pengaliran sungai, yaitu pola pengaliran radial, pola pengaliran parallel, dan pola pengaliran sentripetal (**Tabel 1**) dan (**Gambar 2b**).

Pola pengaliran sungai radial merupakan pola pengaliran sungai memusat pada suatu kerucut yang merupakan penciri khas di

daerah gunung api. Pola pengaliran ini merupakan tipe pola aliran sungai yang paling dominan ditemukan di daerah penelitian. Orientasi dari bentuk pola pengaliran ini yang memusat dari suatu arah aliran tinggian gunung api sebagai indikasi bahwa produk yang dihasilkan dari erupsi efusif-eksplosif dan umumnya disusun oleh batuan beku lava dan piroklastik aliran hingga sedikit lapisan

piroklastik jatuhan. Untuk membedakan keduanya harus dikombinasikan dengan melihat kerapatan pada garis kontur. Indikasi struktur geologi terlihat dari pola pengaliran yang memusat pada satu titik tinggian, sehingga struktur sesar dapat berkembang pada jalur dari pengaliran sungai dan umumnya berupa sesar mendatar dengan sedikit pergerakan turun.

Tabel 1. Klasifikasi pola pengaliran sungai daerah penelitian

	Pola Pengaliran Sungai	Karakteristik Geologi
Utama	Radial	Pada tipe ini umumnya disusun oleh batuan dari produk gunung api seperti lava dan piroklastik aliran dan piroklastik jatuhan sebagai penciri resistensi kuat-sedang. Struktur geologi yang umum ditemukan seperti kekar dan sesar yang dominasi pergerakan mendatar dengan sedikit turun turun. Sangat umum dijumpai struktur vulkanik, di antaranya struktur kawah dan amblesan.
Utama	Paralel	Pada pengaliran sungai ini umumnya batuan dengan resistensi kuat yang mengisi bagian lerang dari suatu gunung api bertipe kaldera. Umumnya berupa batuan beku lava dan sedikit piroklastik aliran. Struktur geologi yang ditemukan seperti kekar dan sesar mendatar dengan sedikit pergerakan turun.
Ubahan	Sentripetal	Pola pengaliran ini merupakan perkembangan ataupun ubahan dari pengaliran radial. Menempati bagian puncak dari tubuh gunung api yaitu pada daerah cekungan dari suatu kaldera. Resistensi batuan tinggi-sedang sebagai petunjuk lava batuan beku dengan sedikit piroklastik sebagai penyusunnya. Struktur sesar dengan pergerakan turun dan struktur vulkanik kawah sebagai penciri dari pola ubahan ini.

Pola pengaliran paralel ini dicirikan oleh adanya bentuk sungai yang relatif sejajar terhadap bentang alam yang relatif memanjang. Kenampakan pola aliran ini terlihat di lereng bagian barat daerah studi penelitian. Lereng yang terjal ini sebagai petunjuk dengan batuan resistensi kuat seperti batuan beku berupa lava dan juga didukung dengan topografi berupa sistem kaldera. Struktur geologi umumnya ditemukan di

daerah lereng seperti sesar mendatar dengan sedikit pergerakan turun.

Pola pengaliran sentripetal merupakan perkembangan dari pola pengaliran radial yang telah mengalami deformasi. Pola aliran ini mencirikan suatu kawah ataupun kaldera gunung api, dan kompleks depresi. Kenampakan pola aliran ini terdapat pada barat studi penelitian, tepatnya pada bagian puncak dari pola pengaliran sungai paralel.

Litologi penyusun umumnya batuan beku lava jika pada depresi kaldera. Struktur geologi yang ditemukan umumnya sesar dengan pergerakan turun yang berasosiasi dengan struktur vulkanik kaldera.

4.1.2. Orientasi Kontur Topografi

Garis kontur dengan koherensi yang rapat sebagai penciri lava batuan beku sedangkan pada koherensi garis kontur yang renggang sebagai indikasi piroklastik aliran ataupun piroklastik jatuhan, namun untuk piroklastik jatuhan umumnya ditemukan di area puncak gunung api. Kontur dari keduanya membentuk orientasi yang bergerigi sebagai indikasi produk dari gunung api yang efusif-eksplosif dengan resistensi kuat-sedang. Struktur geologi yang umumnya ditemukan seperti sesar dominasi pergerakan mendatar dengan sedikit turun dan kekar. Pendekatan di dalam menentukan tipe sesar tersebut dari pembelokan garis kontur yang membentuk orientasi dengan kerapatan ataupun renggang dan berbeda dengan garis kontur di sekitarnya, serta juga dikombinasikan dengan model elevasi digital yang umumnya menunjukkan daerah lembah yang rapat. Koherensi garis kontur yang rapat sebagai penciri adanya gaya ekstensi struktur di dalam proses pembentukannya dan karakteristik seperti ini didelineasi di daerah lembah ataupun sungai, karena pada morfologi seperti ini jejak struktur sesar terekam dengan baik (**Gambar 3**).

4.1.3. Model Elevasi Digital (MED)

Model elevasi digital hasil dari pengolahan kontur topografi digital dengan empat arah azimuth (Lihat **Gambar 3**) memperlihatkan ekspresi topografi yang mencirikan karakteristik geologi pada sistem gunung api. MED dapat diawali dengan menarik kelurusan lembah yang merupakan indikasi struktur geologi. Pada kelurusan

tersebut dapat didelineasi struktur geologi seperti sesar (**Gambar 4**).

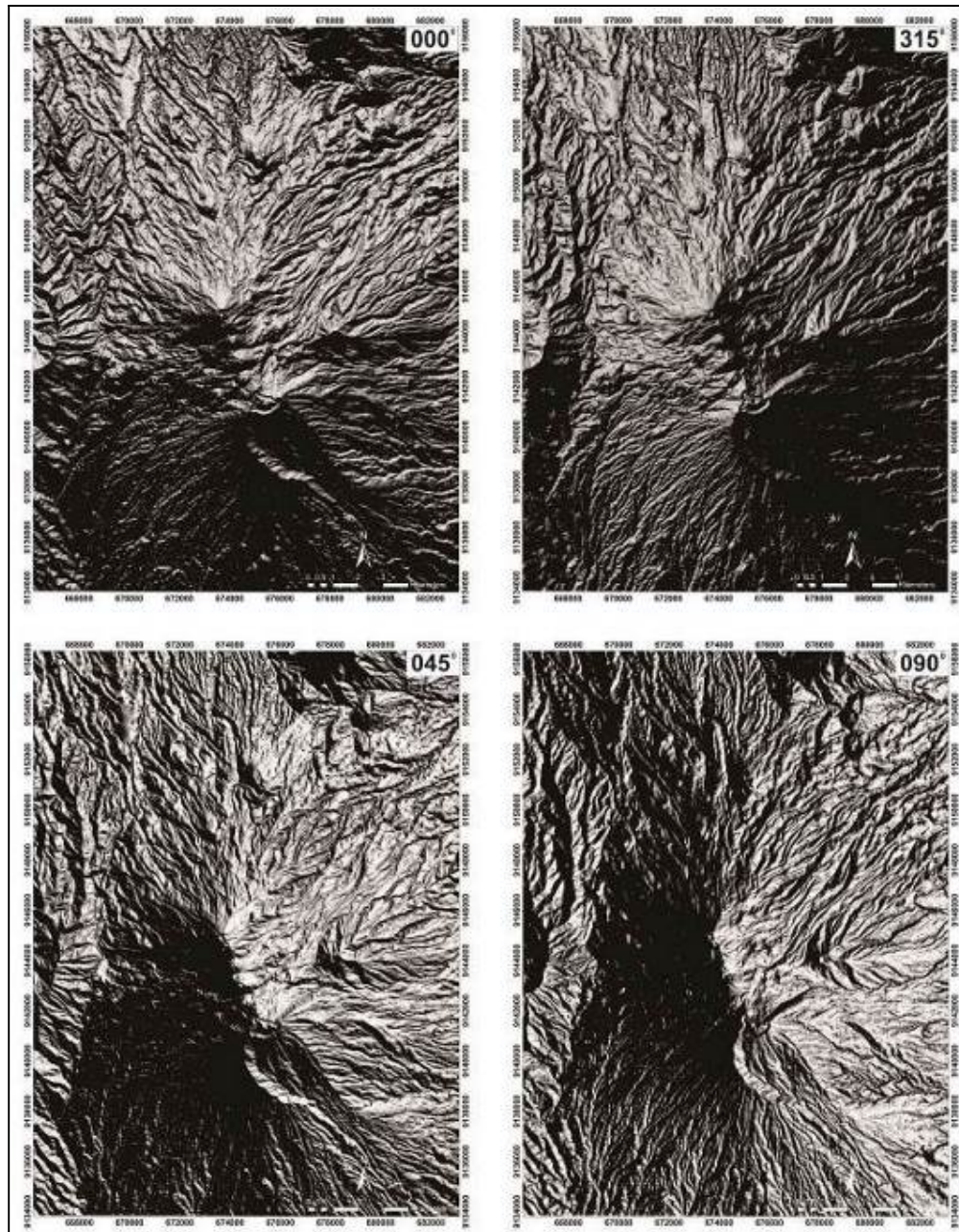
Pada model MED yang memperlihatkan morfologi sebagai ekspresi litologi, struktur geologi, dan pola pengaliran sungai. Morfologi dari MED pada studi penelitian meliputi morfologi kompleks gunung api, lembah yang membentuk suatu kelurusan struktur. Kompleks gunung api umumnya terdapat erupsi samping sebagai penciri kompleks gunung api yang terbentuk oleh rezim tektonik ekstensi lemah.

Model MED ini menjadi suatu petunjuk awal di dalam penelitian ataupun eksplorasi geologi dan geofisika untuk mengetahui karakteristik geologi yang ada pada suatu daerah penelitian. Pemanfaatannya seperti untuk penelitian di bidang sumber daya panas bumi, mineralisasi, minyak dan gas bumi, batu bara, dan juga kebencanaan.

4.1.4. Citra Landsat 8

Penggunaan Citra *Landsat 8* sangat baik digunakan untuk studi gunung api dan panas bumi. Bentuk kawah ataupun kaldera sebagai sumber panas sangat terlihat jelas dengan warna yang lebih terang dibandingkan sekitarnya. Mendelineasi daerah seperti ini juga dibandingkan pada bentuk kontur topografi dan pola pengaliran sungai.

Dengan citra ini untuk mendelineasi satuan vulkanostratigrafi gunung api yang berasosiasi dengan sistem panas bumi dicirikan dengan manifestasi panas bumi dapat diidentifikasi di sekitar kawah ataupun lereng hingga kaki kompleks gunung api. Dalam penentuan manifestasi panas bumi perlu dilakukan kombinasi dengan struktur geologi sebagai media dari manifestasi. Citra *ini* dapat mengetahui morfologi di kompleks gunung api yang memiliki suhu panas dibandingkan sekitarnya dengan dicirikan warna yang lebih terang pada daerah panas (**Gambar 5**).



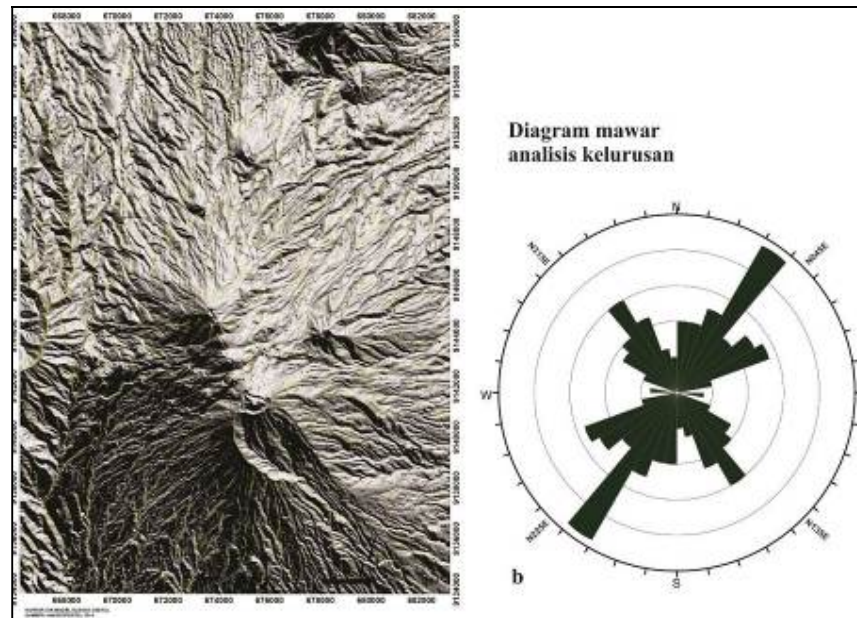
Gambar 3. Pengolahan kontur topografi menjadi *hillshade* dari empat azimuth yang bertujuan untuk mendapatkan kelurusan ataupun struktur geologi dan satuan vulkanostratigrafi

4.2. Pembahasan

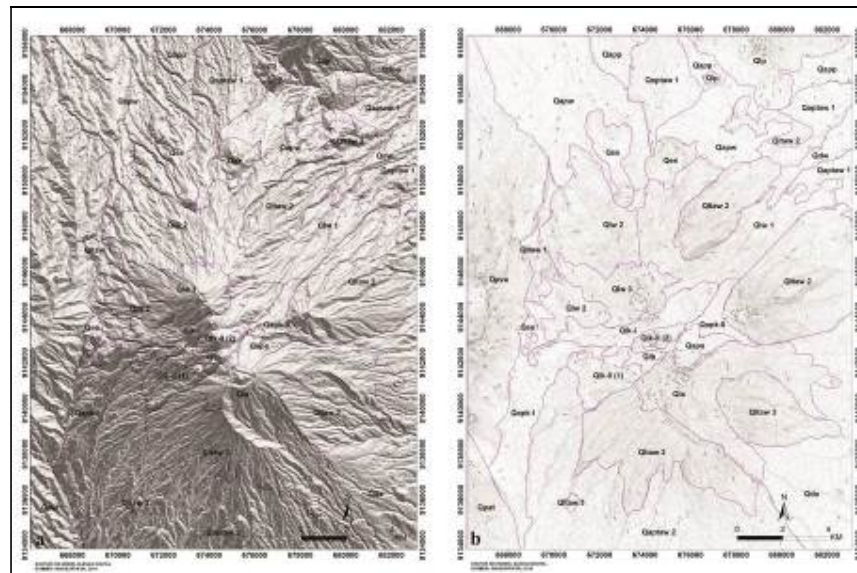
4.2.1. Struktur Geologi

Penarikan struktur sesar dengan model MED, Citra Landsat 8 dan juga didukung dengan analisis kontur topografi dan pola pengaliran sungai, sehingga di area studi penelitian terdapat sekitar enam belas (16)

segmentasi sesar yang diklasifikasikan sebagai struktur tektonik dan dua puluh dua (22) struktur vulkanik meliputi kaldera pada Kompleks Lereng Gunung Api Anjasmoro di sebelah barat dan struktur vulkanik kawah, zona longsoran ataupun amblesan pada KGAW yang merupakan daerah khusus studi penelitian (**Gambar 6a** dan **6b**).



Gambar 4. Penarikan kelurusan struktur geologi (hijau muda) di daerah studi penelitian



Gambar 5. Penarikan batas satuan vulkanostratigrafi. a) model elevasi digital dan b) kontur topografi

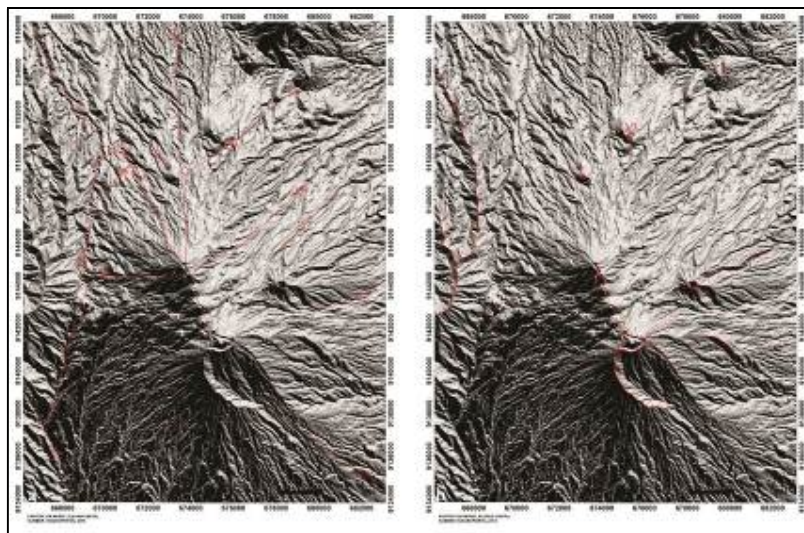
Struktur sesar yang didelineasi dari analisis MED dan Citra Landsat 8 dapat juga digunakan untuk mengetahui karakteristik morfologi. Dari pendekatan analisis kedua model citra tersebut terlihat bahwa di daerah penelitian struktur sesar berkembang pada morfologi lembah dari sistem kompleks

gunung api. Struktur sesar tersebut dibatasi oleh lereng dari KGAW dan Kompleks Kaldera Anasmoro (KKA). Terbentuknya morfologi di KGAW dan KKA sebagai bukti adanya kontrol struktur sesar di dalam pembentukan morfologi tersebut. Pergerakan sesar yang terekam dari kedua model citra ini memiliki

orientasi sesar mendatar dengan pergerakan menganan orientasi baratlaut-tenggara dan sesar pergerakan mengiri dengan berarah timurlaut-baratdaya. Struktur sesar yang teramati juga memberi pengaruh terhadap batas satuan vulkanostratigrafi di daerah penerlitan.

Struktur sesar yang teramati dari MED dan Citra Landsat 8 berorientasi pada pusat gunung api di KGAW. Kedua model ini sangat relevan dengan pola pengaliran sungai radial yang mengontrol pada sistem gunung api aktif. Sedangkan di KKA yang merupakan suatu kaldera, dari kedua model ini memperlihatkan suatu daerah depresi pada puncaknya dengan pola pengaliran sungai sentripetal dan pada

lereng dari kompleks kaldera ini dengan kelerengan relatif miring, membentuk suatu penggungan dengan pola pengaliran paralel. Dari kedua model citra dan pola pengaliran, di KGAW dan KKA dibatasi oleh suatu lembah vulkanik, dengan ekspresi model citra memperlihatkan adanya struktur sebagai pengontrol dari kompleks gunung api dan kompleks kaldera tersebut. Struktur sesar yang terdeliniasi dari kedua model citra pada batas kompleks gunung api dan kompleks kaldera menunjukkan struktur sesar dengan pergerakan sesar mendatar menganan dan sesar mendatar mengiri. Struktur sesar yang terdeliniasi memiliki orientasi yang sama dengan struktur sesar di KGAW.



Gambar 6. a) Deliniasi struktur sesar tektonik (merah) dan b) struktur vulkanik (merah)

Struktur vulkanik dapat dideliniasi pada area kawah, kaldera yang membentuk lingkaran dengan tengahnya sebagai zona depresi yang dapat teramati dari MED dan Citra Landsat 8. Perbedaan keduanya dapat dilihat dari dimensi serta pola pengaliran sungai. Pada daerah kawah dimensinya < 1 km dengan puncaknya sebagai sumber aliran sungai yang membentuk pola pengaliran sungai radial, sedangkan kaldera 1 km dengan membentuk pola pengaliran sungai sentripetal yang mencirikan daerah depresi ataupun sebagai pola sungai ubahan dari radial. Kedua

model citra tersebut di dalam pengamatan struktur vulkanik sangat memberikan ekspresi topografi yang khas, seperti membentuk setengah lingkaran, ketidakberaturan, terkadang berasosiasi dengan struktur sesar untuk daerah debris ataupun longsoran, misalnya Debris Welirang di bagian timurlat Gunung Api Welirang dan Debris Arjuno di bagian tenggara Gunung Api Arjuno.

MED dan Citra Landsat 8 pada struktur vulkanik dengan bentuk lingkaran, diindikasikan sebagai kawah ataupun kaldera dengan perbedaan dari dimensi. Struktur kawah ini

teramati di puncak KGAW, meliputi Kawah Arjuno, Kawah Bakal, Kawah Kembar-I, Kawah Kembar-II, Kawah Welirang yang membentuk orientasi utara baratlaut-selatan baratdaya, sebagai petunjuk adanya kontrol struktur sesar di dalam pembentukan kompleks gunung api ini. Kemudian bentukan struktur vulkanik ataupun morfologi seperti ini meliputi Kawah Bulak dan Kawah Pundak di bagian utara KGAW serta Kawah Tunggang di bagian barat KGAW. Ketida kawah tersebut sebagai erupsi samping dari sistem KGAW. Struktur sesar sangat terlihat jelas dari keberadaan kawah tersbut yang mengikuti pola morfologi lembah dari sistem KGAW.

Di dalam mengamati dan mendeliniasi struktur geologi sangat memerlukan kombinasi dari MED dan Citra Landsat 8 untuk melakukan penelitian geologi di gunung api. Kedua model citra tersebut sangat memperlihatkan adanya jalur sesar ataupun struktur vulkanik pada kompleks gunung api yang diekspresikan dari perbedaan topografi ataupun morfologi lembah hingga perbukitan.

4.2.2. Satuan Vulkanostratigrafi

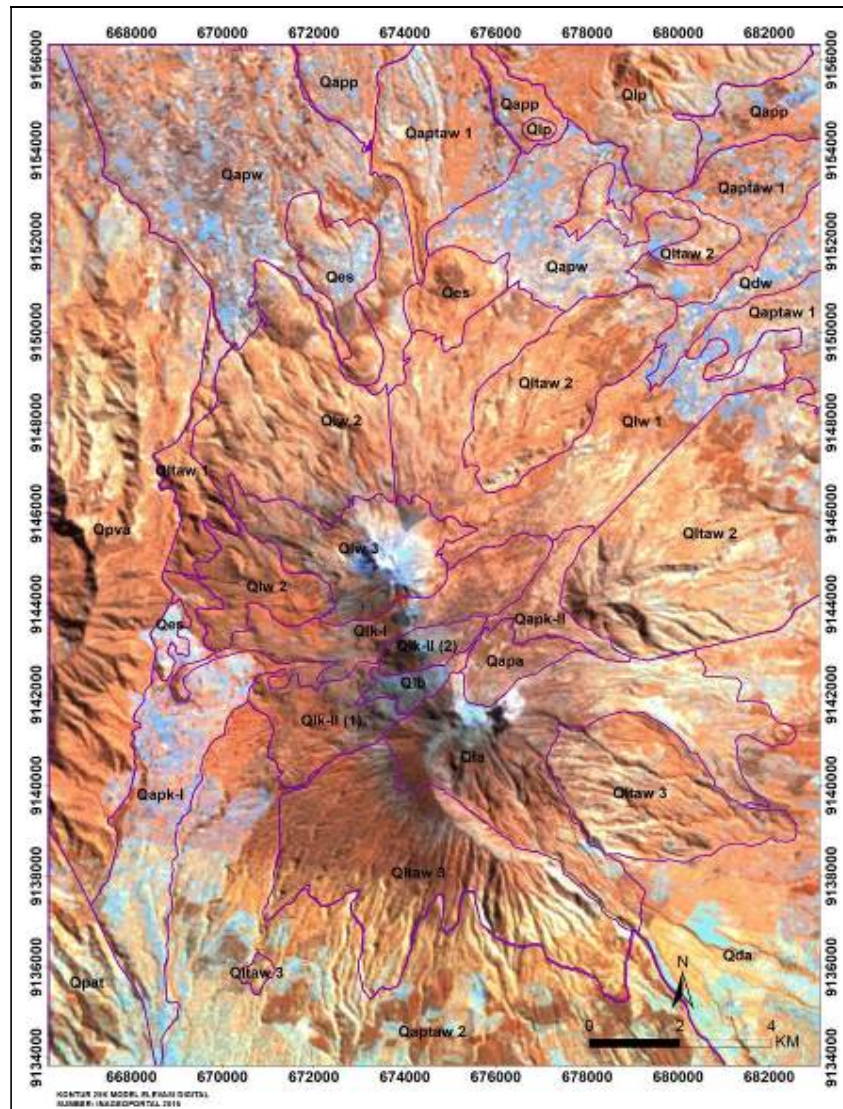
Model MED dan Citra Landsat 8 dengan analisis pola pengaliran sungai, kontur topografi, dan penarikan struktur geologi merupakan identifikasi yang sangat baik untuk mendeliniasi satuan batuan gunung api ataupun satuan vulkanostratigrafi. Pengelompokan satuan ini bertujuan untuk mengetahui sumber, morfogenesis, karakteristik litologi gunung api secara bersistem. Menggunakan kedua model citra tersebut yang telah dilakukan interpretasi dan penarikan struktur geologi, sehingga di KGAW memiliki lima (5) pusat erupsi utama yang membentuk satuan vulkanostratigrafi tersendiri dari setiap sumber erupsi, meliputi Gunung Api Arjuno, Gunung Api Bakal, Gunung Api Kembar-II, Gunung Api Kembar-I, dan Gunung Api Welirang. Selain pusat erupsi utama juga

terdapat pusat erupsi lainnya yang diyakini sebagai erupsi KGAW Tua, dikarenakan dari kedua model citra yang digunakan memperlihatkan topografi yang berbeda dari KGAW utama, namun mengelilingi dari erupsi utama KGAW. Erupsi dari KGAW Tua di antaranya Gunung Bulak dan Gunung Pundak di bagian utara Gunung Api Welirang, serta Gunung Tunggang di bagian timur Gunung Kembar-II sebagai erupsi samping serta Gunung Ringgit di bagian Timur Gunung Api kembar-II dan Gunung Pacung di bagian selatan baratdaya.

Morfogenesis dari satuan vulkanostratigrafi KGAW tersebut juga dapat diamati dengan kedua model citra yang digunakan. Perbedaan morfologi yang didukung dengan bentukan kontur topografi, adanya potong memotong dalam ekspresi garis kontur sebagai petunjuk genesa dari hasil erupsi gunung api. Kontur topografi dengan morfologi yang memotong kontur topografi morfologi lainnya sebagai penciri lebih muda daripada yang dipotong. Selain morfogenesis, pendeskripsian litologi dalam vulkanostratigrafi berperan penting untuk mem-bedakan lava dan produk piroklastik dari erupsi gunung api. Kontrol sumber erupsi, morfogenesis, litologi sebagai factor utama di dalam pengelompokkan satuan vulkanostratigrafi di KGAW.

Satuan vulkanostratigrafi pada studi penelitian terdapat dua puluh empat (24) satuan vulkanostratigrafi. Satuan tersebut diklasifikasi berdasarkan sumber erupsi gunung api yang dapat dilihat dari model MED dan Citra Landsat 8 (**Gambar 7**). Rincian dari klasifikasi tersebut di antaranya:

- Lava Tua Arjuno Welirang-1 (Qltaw-1), Lava Tua Arjuno Welirang-2 (Qltaw-2), Aliran Piroklastik Tua Arjuno Welirang-1 (Qaptaw-1), Aliran Piroklastik Tua Arjuno Welirang-2 (Qaptaw-2), Lava Tua Arjuno Welirang-3 (Qltaw-3), dan Erupsi Samping (Qes) sebagai produk dari Gunung Api Arjuno Welirang Tua (KGAW Tua).



Gambar 7. Peta geologi yang dihasilkan dari tumpeng tindih pola pengaliran sungai, kontur topografi, model elevasi digital, struktur geologi, dan Citra *Landsat 8*

- KGAW Muda meliputi Lava Arjuno (Qla), Aliran Piroklastik Arjuno (Qapa), Lava Welirang-1 (Qlw-1), Lava Welirang-2 (Qlw-2), Aliran Piroklastik Welirang (Qapw), Lava Welirang-3 (Qlw-3), Lava Kembar-II 1 (Qlk-II 1), Aliran Piroklastik Kembar-II (Qapk-II), Lava Kembar-I (Qlk-I), Aliran Piroklastik Kembar-I (Qapk-I), Lava Bakal (Qlb), Lava Kembar-II 2 (Qlk-II 2). Kelompok Debris Arjuno Welirang yang ditunjukkan dengan adanya struktur vulkanik struktur membentuk sesar turun setengah lingkaran yang juga dikontrol oleh struktur sesar tektonik sebagai zona longsor meliputi Debris Welirang (Qdw) dan Debris Arjuno (Qda).
- Luar Sistem KGAW yang termasuk di dalamnya KKA dan Gunung Api Penanggungan meliputi Anjasmoro Tua (Qpat), Anjasmoro Muda (Qpva), Lava Penanggungan (Qlp), Aliran Piroklastik Penanggungan (Qapp).

Satuan vulkanostratigrafi pada studi penelitian menunjukkan urutan dari tua hingga muda dari stratigrafi penyusun di kompleks gunung api. Pemahaman dan aplikasi seperti ini dengan menggunakan Hukum vulkanostratigrafi mengacu pada Sandi Stratigrafi Indonesia (Ikatan Ahli Geologi Indonesia, 1996).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian geologi dan geofisika untuk mengetahui karakteristik geologi permukaan sangat memerlukan identifikasi dari Model Elevasi Digital dan Citra Landsat 8. Penggunaan kedua model citra ini dapat mengetahui struktur geologi dan satuan vulkanostratigrafi pada kompleks gunung api dengan menggunakan analisis morfologi, pola pengaliran sungai, sumber erupsi, morfogenesis, dan deskripsi litologi gunung api.

Berdasarkan Model Elevasi Digital dan Citra Landsat 8 di KGAW dan sekitarnya memiliki struktur geologi sesar dan struktur sesar mendatar dengan pergerakan mengangan berorientasi baratlaut-tenggara serta sesar pergerakan mengiri berarah timurlaut-baratdaya dan struktur vulkanik seperti kawah, kaldera, dan zona longsoran vulkanik. Pada satuan vulkanostratigrafi didapatkan 24 satuan vulkanostratigrafi yang bersumber dari erupsi KGAW dan erupsi KKA.

Penggunaan skala dalam penelitian sangat penting sebagai gambaran representatif objek penelitian untuk penarikan struktur geologi dan satuan vulkanostratigrafi. Skala peta menjadi dasar utama di dalam penelitian untuk mencapai hasil yang optimal.

Seiring perkembangan teknologi tentunya penginderaan jauh memiliki peranan yang sangat penting di dalam penelitian terkait kebumihan. Penggunaan model citra tentunya akan terus mengalami perkembangan yang bertujuan untuk merepresentasikan data geologi permukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachri, S. (2014). Pengaruh Tektonik Regional Terhadap Pola Struktur dan Tektonik Pulau Jawa. *Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 15(4), 215–221.
- Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional. (1999a). *Peta Rupabumi Digital Indonesia Lembar Panglungan*, skala 1:25.000.
- Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional. (1999b). *Peta Rupabumi Digital Indonesia Lembar Pujon*, skala 1:25.000.
- Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional. (1999c). *Peta Rupabumi Digital Indonesia Lembar Trawas*, skala 1:25.000.
- Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional. (2001). *Peta Rupabumi Digital Indonesia Lembar Bumiaji*, skala 1:25.000.
- Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2012). *Tectonic Geomorphology* (2 ed.). Wiley-Blackwell.
- Gupta, R. P. (2018). *Remote Sensing Geology* (3 ed.). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55876-8>
- Hall, R. (2002). Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(4), 353–431. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(01\)00069-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(01)00069-4)
- Hall, R. (2014). Tectonics: Subduction, Extension, Provenance, and More. *Indonesian Petroleum Association Proceedings 38th Annual Exhibition and Convention*, IPA14-G-360.
- Hall, R., & Spakman, W. (2015). Mantle structure and tectonic history of SE Asia. *Tectonophysics*, 658, 14–45. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.07.003>
- Hamilton, W. B. (1979). *Tectonic of the Indonesian Region, Professional Paper 1078*. U.S. Geological Survey.
- Ikatan Ahli Geologi Indonesia. (1996). *Sandi Stratigrafi Indonesia*. Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Indrastomo, F. D., Sukadana, I. G., Saepuloh, A., Harsolumakso, A. H., & Kamajati, D. (2015).

- Interpretasi Vulkanostratigrafi Daerah Mamuju Berdasarkan Analisis Citra Landsat-8. *EKSPLORIUM*, 36(2), 71. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2015.36.2.2772>
- Nurpratama, M. I., Atmaja, R. W., Wibowo, Y. T., Harijoko, A., Husein, S., Sudarno, I., Setianto, A., & Utami, P. (2015). Detailed Surface Structural Mapping of the Dieng Geothermal Field in Indonesia. *World Geothermal Congress 2015*.
- Pierson, S. M., Rosenbaum, B. J., McKay, L. D., & Dewald, T. G. (2008). Strahler stream order and strahler calculator values in NHDPlus. *SOSC Technical Paper*, 1–10.
- Saibi, H., Bersi, M., Mia, M. B., Saadi, N. H., Al Bloushi, K. M. S., & Avakian, R. W. (2018). Application of Remote Sensing in Geoscience. In *Recent Advanced an Application in Remote Sensing* (hal. 181–203). Intech Edition.
- Setijadji, L. D. (2010). Segmented volcanic arc and its association with geothermal fields in Java Island, Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, 1–12. <http://geothermal.ft.ugm.ac.id/wp-content/uploads/2012/12/Segmented-Volcanic-Arc-2010-Lucas.pdf>
- Sukiyah, E., Haryantho, I., & Sudrajat, A. (2016). The Skin Tectonic Control in The Geomorphologic Evolution of Western Part of Java. *Proceedings of Geosea XIV Conggres and 45th Annual Convention*, 35–41.
- United States Geological Survey. (2017). *Digital Citra Landsat 8*. <http://earthexplorer.usgs.gov>
- Utama, H., Harijoko, A., & Husein, S. (2016). Studi Vulkanisme dan Struktur Geologi untuk Eksplorasi Awal Panas Bumi di Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang. *Seminar Nasional Kebumihan Ke-9*, 83–92.
- Van Bemmelen, R. W. (1949). The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. In *Government Printing Office, The Hague* (hal. 732).