

APLIKASI LINEAMENT DENSITY ANALYSIS UNTUK MEMBATASI POLA KALDERA PURBA GODEAN

Okki Verdiansyah¹, Hill Gendoet Hartono²

^{1,2}Jurusan Teknik Geologi STTNAS Yogyakarta

Masuk: 11 Nopember 2016, revisi masuk: 14 Desember 2016, diterima: 11 Januari 2017

ABSTRACT

Godean area, is an isolated hills that's occurs on Yogyakarta basin. Volcano occurrences in Godean have issued by morphology, lithology and volcanic concepts. Volcanism and magmatism on Godean interpreted have similarity with Gajahmungkur – Wonogiri with hydrothermal event occurs. Lineament Density Analysis used for interpreting the specific pattern, for strength the morphology and geological that have interpreted before. The methods that we used is combining of quantitative and qualitative. Geology of Godean consist of igneous and sedimentary rock with margins of Kulon Progo hill in western side. Caldera morphology, commonly have circular or a half circular pattern, with limited by steep relief. Morphology of Godean have caldera pattern, as a concept and compare with others. LD analysis are using image from slope directional angle processing on SRTM and ASSTER image, and then extract to lineament. Result of lineament extraction there are 9490 lines. Range of density with length from 0 to 9173,21 m/km² with high value > 2375 m/km² and count of lineament from 0 to 23 line/km² with high value > 8 line/km². Godean have high density with range of length 1930 – 2996 m/km² or range of counts 9 – 12 line/km². Base on the pattern, its looks the Godean and surrounding it differ on 3 major sectors, that's outer rim, secondary rim, and circular of late central eruption. Diameter of this pattern is wide (8 – 15 km), that must be proven with others geological and geophysical subsurface research.

Keyword : lineament, caldera, volcano, GIS, godean

INTISARI

Daerah Godean, merupakan perbukitan terisolir yang berada dalam cekungan Yogyakarta. Keberadaan gunung api pada daerah Godean telah disinggung mulai dari konsep morfologi, litologi dan kegunungapian. Vulkanisme dan magmatisme daerah Godean diinterpretasi serupa dengan Gajahmungkur – Wonogiri yang disertai tahapan mineralisasi hidrotermal. Analisis densitas kelurusan dipakai untuk menentukan sebaran pola tertentu, untuk menguatkan interpretasi morfologi dan geologi yang telah ada. Metode yang digunakan adalah metode gabungan bersifat kuantitatif dan kualitatif. Geologi daerah Godean terdiri dari batuan beku dan sedimen, dan dibatasi oleh perbukitan Kulon Progo pada sisi baratnya. Morfologi Kaldera atau Bregada, umumnya mempunyai pola melingkar baik penuh atau setengah, yang dibatasi tinggian dengan relief terjal. Godean memiliki morfologi serupa dengan kaldera, baik secara konsep maupun dengan kesebandingan daerah lainnya. Analisis LD menggunakan *image* hasil olahan *slope directional angle* dari SRTM dan ASTER, yang kemudian dilakukan ekstraksi kelurusan. Hasil ekstraksi kelurusan (*lineament*) diperoleh sebanyak 6609 kelurusan dengan panjang 306 – 3170 m,

dan setelah dilakukan pemotongan per km^2 dijumpai sebanyak 9490 garis kelurusan. Densitas mempunyai nilai antara 0 – 9173,21 m/km^2 dimana batasan nilai tinggi > 2375 m/km^2 . serta total jumlah kelurusan antara 0 – 23 garis/ km^2 dengan batasan nilai tinggi > 8 garis/ km^2 . Pada daerah Godean sendiri, nilai densitas yang terlihat tinggi berada pada kisaran 1930 - 2996 m/km^2 atau 9 - 12 garis/ km^2 . Berdasarkan polanya, maka terlihat daerah Godean dan sekitarnya terbagi menjadi 3 sektor utama, rim luar, rim ke dua, dan lingkaran pusat erupsi berikutnya. Diameter batasan pola ini terlihat besar (8 – 15 km), yang masih perlu dibuktikan dengan penambahan data geologi dan geofisika bawah permukaan untuk membuktikan dimensi dan sistem kaldera yang ada.

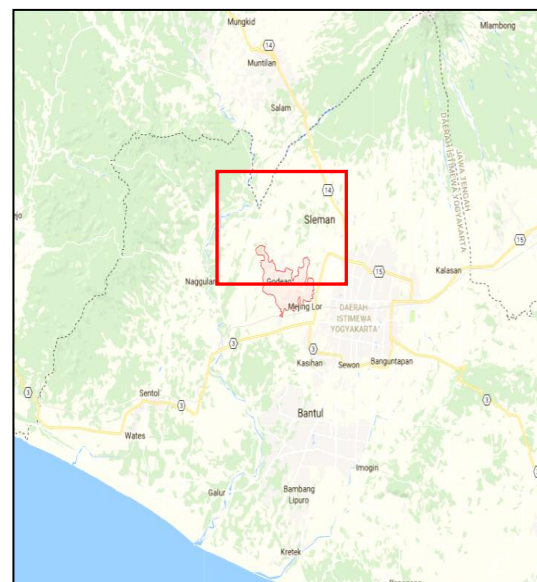
Kata Kunci: kelurusan, kaldera, gunung api purba, GIS, Godean

PENDAHULUAN

Daerah Godean, merupakan perbukitan terisolir yang berada dalam cekungan Yogyakarta. Konsep keberadaan gunung api pada daerah Godean telah disinggung mulai dari keberadaan batuan intrusi (van Bemmelen, 1949; Raharjo, 1997), serta penelitian kegunungapian seperti (Bronto, dkk., 1999; Bronto dkk, 2004). yang berumur Miosen yang diinterpretasi seumur dengan jajaran Pegunungan Selatan bagian utara yang berumur Oligo-Miosen. Vulkanisme dan magmatisme daerah Godean diinterpretasi serupa dengan Gajahmungkur – Wonogiri (Hartono, dkk., 2016) dan Menoreh (Magelang) yang berumur 11.3 – 17.2 Juta tahun lalu disertai tahapan mineralisasi epitermal dan kemungkinan tipe lainnya pada batuan kompleks beku dasitik (Verdiansyah, 2016).

Penelitian geologi daerah Godean jarang dilakukan, karena keterbatasan singkapan dan kondisinya yang tertutup endapan kuarter dari longsoran raksasa Gunung Merapi (Bronto, dkk. 2014). *Lineament Density Analysis* (LDA) atau analisis densitas kelurusan dalam paper ini menggunakan data Digital Elevation Model (DEM) dari SRTM 90m dan ASTER 90, yang kemudian dilakukan analisis densitas kerapatan kelurusan (LDA), untuk

membedakan pola-pola yang terbentuk yang mengakibatkan perbedaan morfometri. Lokasi studi atau kajian LDA di daerah Godean dan sekitarnya, Kabupaten Sleman, Yogyakarta (Gambar 1). Fisiografi daerah penelitian adalah perbukitan terisolir pada Godean dibagian tengah, sedangkan batas sebelah barat adalah perbukitan Kulon Progo bagian Barat bawah, pada bagian selatan adalah perbukitan Sentolo, pada bagian utara adalah Lereng bawah Merapi, dan pada bagian timur adalah dataran Yogyakarta.

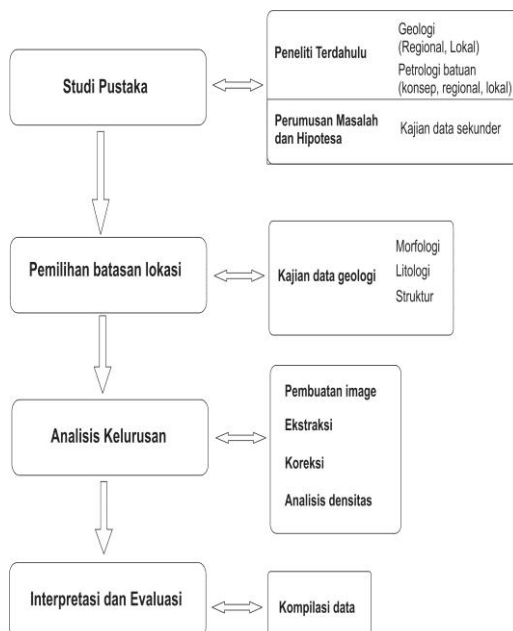


Gambar 1. Lokasi penelitian pada daerah Godean, Provinsi Yogyakarta (peta dari maps.google.com)

METODE

Metode yang digunakan adalah metode gabungan bersifat kuantitatif yaitu dengan pencarian nilai zona *high density lineament* yang bersifat semi-otomatis dengan menggunakan PCI-Geomatica dan Arc-GIS, yang diinterpretasi secara kualitatif bersama data geologi yang lainnya.

Proses analisis bersifat *desktop study* yang kemudian dilengkapi dengan data-data pengecekan lapangan, dengan mengikuti tahapan pada Gambar 2 :



Gambar 2. Diagram alur tahapan penelitian

Pada studi ini, data sekunder yang digunakan yaitu :1).Data geologi regional. 2).Data geologi, struktur geologi, gunung api daerah Godean dan sekitarnya oleh beberapa peneliti sebelumnya. 3).Data digital DEM dari Aster-30m, SRTM-90m.

Geologi Daerah Godean dan Sekitarnya, Litologi batuan beku daerah Godean terdiri dari andesit porfir – mikrodiorit pada daerah G. Berjo, Butak, sampai Ngampon dengan sebaran selatan – timurlaut, batuan andesit –

dasit pada G Wungkal, Basalt pada Gunung Juring serta tuf – batulempung tufan yang banyak tersingkap di sekeliling Gunung Wungkal dan Gede. Batuan beku dibandingkan dengan Formasi Andesit Tua dan batuan tuf – lempungan dibandingkan dengan anggota Formasi Nanggulan

Raharjo, dkk. (1997) telah menyebutkan Batuan tertua yang dimasukkan ke dalam Formasi Nanggulan (Teon), yang berumur Eosen. Formasi ini terdiri atas batupasir dengan sisipan lignit, napal pasiran, batulempung dengan konkresi limonit, sisipan napal dan batugamping, batupasir dan tuf. Di atas Formasi Nanggulan diendapkan Formasi Kebobotak (Tmok), yang tersusun oleh breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat dan sisipan aliran lava andesit dan berumur Oligo-Miosen. Kedua satuan batuan tersebut kemudian diterobos oleh diorit (dr) dan andesit (a), yang berumur Miosen Bawah. Lebih ke selatan dari Godean, yakni di daerah Kabupaten Bantul, terdapat Formasi Sentolo (Tmps), yang terdiri atas batugamping dan batupasir napalan yang telah berumur Miosen - Pliosen. Vulkanisme Kuartar di daerah Yogyakarta membentuk Gunung api Merapi, yang materialnya dibagi menjadi Endapan Gunung api Merapi Tua (Qmo) dan Endapan Gunung api Merapi Muda (Qmi). Hanya Endapan Gunung api Merapi Muda yang sampai di daerah Godean dan Bantul.

Struktur geologi pada batuan berumur Paleogen, dan utamanya pada daerah Godean terlihat membentuk pola jajaran genjang, sebagai gabungan struktur berarah barat – timur dan utara-selatan yang membentuk graben Yogyakarta – Bantul (Sudarno, 1999; Barianto, 2009), dan dengan pola tektonik beupa sesar berarah selatan-baratlaut dan sesar turun berarah

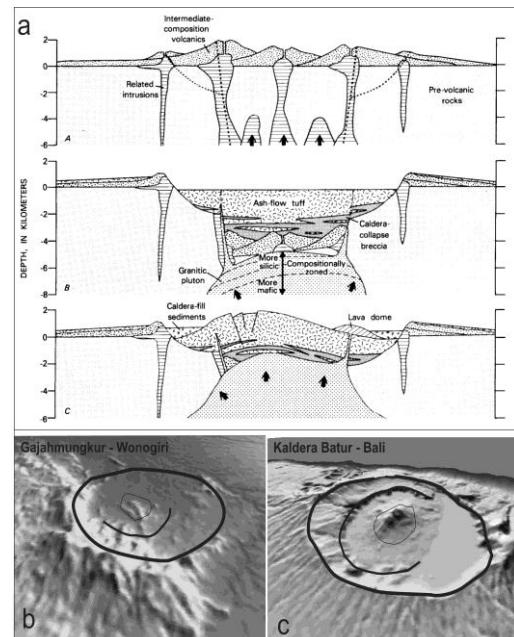
barat – timur (Widyanto, 2013 dalam Syafri, dkk., 2013) yang mempengaruhi pola anomali pada Godean dan Banguntapan yang diinterpretasi sebagai perlapisan sedimen yang dipengaruhi adanya intrusi (interpretasi dari data Barianto, dkk., 2009; Winardi, dkk., 2013).

Morfologi Dan Konsep Kaldera, Kaldera adalah proses depresi vulkanik yang sangat luas, berbentuk melingkar atau mendekati lingkaran yang terbentuk dari roof collapse pada magma reservoir dan mengalami peningkatan diameter akibat erupsi lebih lanjut. Kaldera berukuran < 5km disebut kaldera kecil yang berkomposisi basaltik sampai andesitik, sedangkan yang luas mencapai 75 km pada magma komposisi asam yang diikuti pembentukan letusan pembentuk ignimbrit (Gambar 3a; Lipman, et., al.,1984). Bentuk utama kaldera adalah topographic rim, inner topographic wall, bounding faults, structural caldera floor, intra caldera fill, underlying magma chamber atau pluton (Lipman, et., al., 1984). Morfologi Kaldera atau Bregada, umumnya mempunyai pola melingkar baik penuh atau setengah, yang dibatasi tinggian dengan relief terjal. Pada bagian tengah akan dijumpai tinggian dari gunung api yang lebih muda yang dikelilingi oleh dataran tengah kaldera, sebagaimana dapat dilihat pada Kaldera Batur dan Bregada Gajahmungkur (Gambar 3b-c, Hartono, 2010).

Pada daerah Yogyakarta bagian tengah terdapat morfologi perbukitan terisolir pada daerah Godean terbentuk akibat pengaruh dari kontrol denudasional pada batuan beku dan gunungapi, sebagai sisa dari pelapukan dari erosi permukaan sehingga tampak sebagai tinggian. Morfologi dataran pada sekeliling daerah Godean, dihasilkan

oleh endapan kuartar berupa endapan fluvio -vulkanik dan longsoran raksasa dari Gunung Merapi (Bronto, 2014), yang secara lokal terlihat dataran yang sedikit bergelombang akibat pengendapan material dalam sistem pekat.

Godean memiliki morfologi serupa dengan kaldera, baik secara konsep maupun dengan kesebandingan dari kaldera yang ada di Indonesia. Hartono, dkk (2016) telah menyebutkan keterkaitan morfologi tersebut dengan genesa kaldera di Godean, yang akan diperkuat dengan analisis kelurusan (LDA).



Gambar 3. Bentuk – bentuk Kaldera, (a) Evolusi kaldera (Lipman, et. al., 1984), (b) Morfologi bregada Gajahmungkur, Wonogiri, yang berumur Miosen dengan bagian tengah berupa pusat erupsi akhir yang menghasilkan mineralisasi porfiri tembaga-emas, dan erupsi andesitik (modifikasi dari Hartono, 2010) dan (c) Morfologi Kaldera Batur, Bali yang berumur 60.000 – 20.000 tahun lalu, dan pada bagian tengahnya terbentuk pusat erupsi

baru yang masih aktif saat ini (modifikasi dari Reubi & Nicols, 2004)

Proses *Lineament Density Analysis (LDA)* diharapkan dapat membantu membedakan pola-pola yang ada, yang kemungkinan terbentuk akibat proses morfogenesis yang berbeda sehingga perbedaan bentuk kaldera dapat mudah ditentukan.

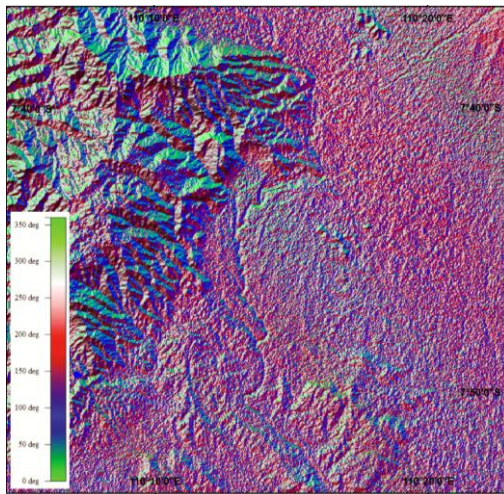
Dalam proses LDA, hal yang berpengaruh terhadap hasil analisis adalah data sekunder dan data *image* seperti DEM, dengan resolusi tertentu. *Image* dengan resolusi tinggi lebih baik digunakan, seperti IFSAR DEM dengan resolusi 5 m, SRTM dengan resolusi 30 dan 90 m, dan ASTER dengan resolusi 30 m, atau data topografi detil yang kemudian diolah menjadi DEM. Kajian LDA terhadap mineralisasi tentunya memerlukan data sekunder, untuk menunjang parameter yang telah digunakan, seperti nilai dan pola densitas yang cocok terhadap masing masing prospek. Alur proses LDA, dapat dilihat pada Gambar 3.

Data DEM dipakai karena memiliki resolusi yang lebih baik daripada citra satelit (Batson, et al. 1975), yang dapat digunakan untuk analisis struktur geologi, pola sebaran batuan, dan pola kelurusan (*lineament*). Istilah "kelurusan (*Lineament*)" adalah salah satu istilah yang menggambarkan kenampakan kelurusan pada permukaan linear dan dapat dipetakan, seperti garis patahan, lipatan atau garis retakan sebagai akibat proses kejadian geologi tertentu (O'Leary, et. al., 1976; Williams, 1983). Gupta (1991) menyimpulkan bahwa kelurusan merupakan bentuk dari (1) *shear zones/faults*; (2) *rift valleys*; (3) *truncation of outcrops*; (4) *fold axial traces*; (5) *joint and fracture traces*; (6) *topographic, vegetation, soil tonal changes alignment*. Pola *lineament* /

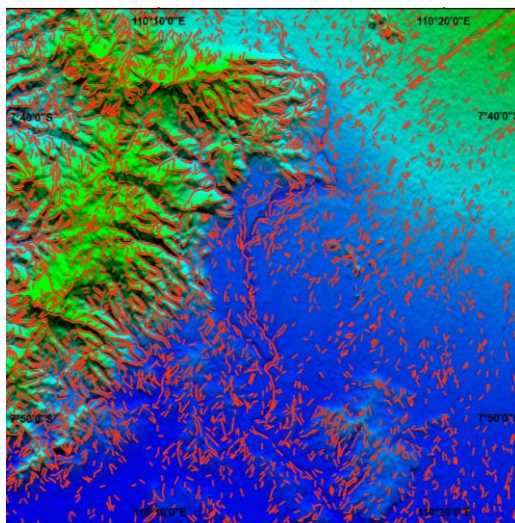
kelurusan terbagi menjadi positif dan negative. Kelurusan garis positif (tona kelurusan terang) diinterpretasikan sebagai kelurusan punggung, palung, dan kawah, sedangkan kelurusan garis negatif (tona kelurusan gelap) mewakili kekar, sesar, dan pergeseran.

Hal-hal yang perlu dilakukan pertama dalam melakukan proses melakukan LDA adalah memilih data *image* yang tepat untuk kebutuhan selanjutnya. Pembuatan *image* menggunakan pewarnaan **Slope Direction Shading**, dengan menggunakan software Global Mapper. Proses ini dapat secara otomatis telah mengarahkan posisi kelerengan atau identik dengan pencahayaan pada *shaded relief*, sehingga dapat lebih sederhana pemrosesannya menjadi *image* yang diinginkan pada ekstraksi nantinya. Hasil proses *image* ini berupa *image RGB* yang mewakili arah *slope* secara gradasional berkisar 0° - 360° (Gambar 4a).

Tahap selanjutnya adalah melakukan ekstraksi *lineament* yang diperoleh secara otomatis dengan menggunakan software PCI Geomatica. Proses ekstraksi (*Line Extraction*) menggunakan algoritma [LINE] pada PCI Geomatica, dengan memasukkan parameter – parameter yang digunakan oleh Thannoun, 2013 dan Abdullah, et. al, 2010 (Tabel 1). Hasil ekstraksi kelurusan / *lineament* pada daerah Godean dan sekitarnya diperoleh sebanyak 6609 kelurusan dengan panjang 306 – 3170 m, yang kemudian dilakukan *intersect* / pemotongan pada grid per 1 km² agar bisa dihitung nilai densitas per km². Jumlah kelurusan setelah dilakukan pemotongan per km² dijumpai sebanyak 9490 garis kelurusan (Gambar 5).



Gambar 4. Peta hasil pewarnaan Slope Direction Shading daerah Godean dan sekitarnya (dengan menggunakan software Global Mapper 12),



Gambar 5. Hasil lineament (kelurusan) yang diperoleh pada citra SRTM.

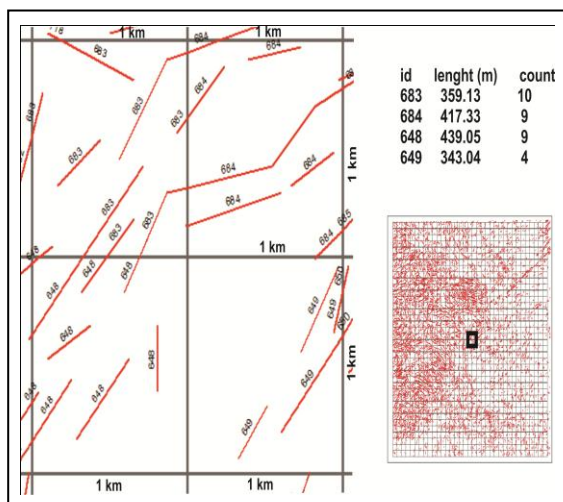
Tabel 1. Penggunaan nilai parameter dalam ekstraksi Lineament dengan software PCI-Geomatica 12 (Thannoun, 2013)

Description	values
Filter Radius	5
Edge Gradient Threshold	75
Curve Length Threshold	10
Line Fitting Error Threshold	2
Angular Difference Threshold	20
Linking Distance Threshold	1

Morfologi daerah penelitian, terlihat seperti bentukan tapal kuda, dengan bukaan ke utara dan barat, dengan batasan morfologi pada SRTM terlihat dari batas pertama adalah lengkungan Sungai Progo, dan diikuti sebelah baratnya lengkungan sepola dari sisi barat Perbukitan Kulon Progo. Pada batas morfologi dijumpai bukit – bukit kecil dengan litologi berupa intrusi dan lava andesit yang diikuti batuan vulkanik lainnya seperti pada G. Mujil, Kalisongo dan beberapa bukit lainnya. Batasan morfologi ini, juga merupakan implikasi adanya struktur geologi berupa sesar mendatar arah timurlaut dan barat timur berdasarkan data permukaan oleh Syafrie, dkk (2009), Sudarno (1999), dan Barianto, et. al. (2009). Batasan kaldera oleh Hartono, dkk. (2016) diinterpretasi sebagai hasil erupsi tipe letusan gunung api menghasilkan bentang alam bukaan berdiameter beragam hingga lebih dari 2 km, bercirikan bentang alam sirkuler sempurna dan setengah melingkar menyerupai bentuk bulan sabit (*half moon, horse shoe shape*) dan bagian dalam struktur melingkar tersebut tersingkap batuan terobosan, batuan alterasi, leher gunung api (*volcanic neck*), dan kubah lava. Sisa bentang alam letusan gunung api bagian luar kadang masih menunjukkan bentuk simetris, perlapisan batuan yang berkemiringan terjal dan disusun oleh perselingan koheren lava dengan batuan vulkaniklastik. Batasan pada bagian selatan dan barat laut terlihat dari sebaran litologi gamping dari Formasi Sentolo, yang pada beberapa lapisan terlihat adanya campuran material vulkanik (Pandita, dkk., 2009).

Densitas Kelurusan, adalah Jumlah kelurusan (*lineament*) yang dipakai analisis sekitar 9490 garis, dengan arah umum berupa barat-

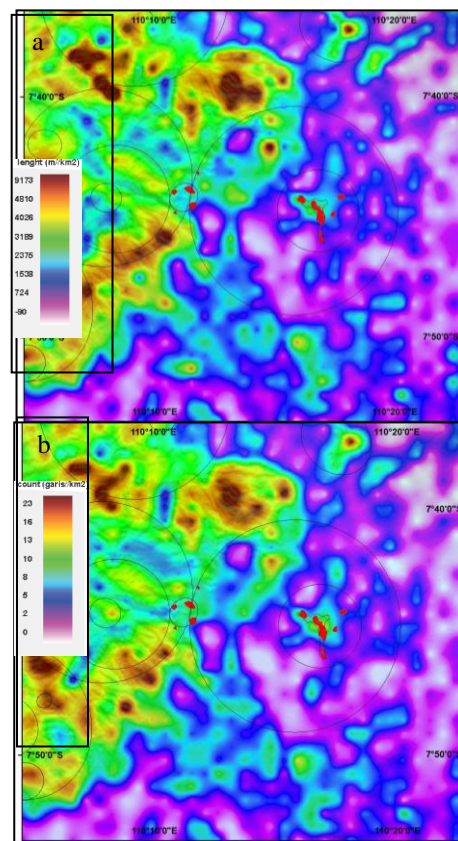
timur, timurlaut-baratdaya, dan terutama tenggara-baratlaut. Analisis yang dilakukan dengan melakukan perhitungan panjang total dalam km² dan jumlah garis dalam km², yang dalam perhitungan 2 tipe tersebut umumnya diperoleh kesamaan yang tinggi, hanya pada beberapa tempat akan dijumpai sedikit perbedaan (Gambar 6). Pada analisis data yang telah di kelompokkan per km², yang kemudian dilakukan pengkonturan dengan menggunakan perhitungan standar deviasi dan diperoleh data berupa total panjang kelurusan dengan nilai antara 0 – 9173,21 m/km² diketahui bahwa batasan nilai tinggi dimulai pada densitas 2375 m/km². Pada daerah Godean sendiri, nilai densitas yang terlihat tinggi berada pada kisaran 1930 - 2996 m/km² (Gambar 7a). Total jumlah kelurusan mempunyai nilai antara 0 – 23 garis/km² diketahui bahwa batasan nilai tinggi dimulai pada densitas 8 garis/km². Pada daerah Godean sendiri, nilai densitas yang terlihat tinggi berada pada kisaran 9 - 12 garis/km² (Gambar 7b).



Gambar 6. Contoh perhitungan densitas per km², dengan menggunakan parameter panjang (length,m) dan jumlah (count).

Contoh pada kotak (id) 683 mempunyai panjang garis lebih kecil dibanding 684 namun mempunyai jumlah garis lebih banyak, walaupun tidak signifikan perbedaannya. Total jumlah kotak (id) yang dihitung sebanyak 2844.

Nilai densitas tinggi terkumpul dominan pada sisi barat, terutama perbukitan Kulon Progo, yang juga memperlihatkan perbedaan densitas pada daerah sekitar Kali Progo dan bagian selatan Godean, dimana hal ini menandakan adanya pola kelurusan yang berkembang baik pada batuan sekitar Godean. Pada bagian tengah Godean terlihat adanya kontur densitas tinggi hanya pada perbukitan intrusi dan lava Godean.

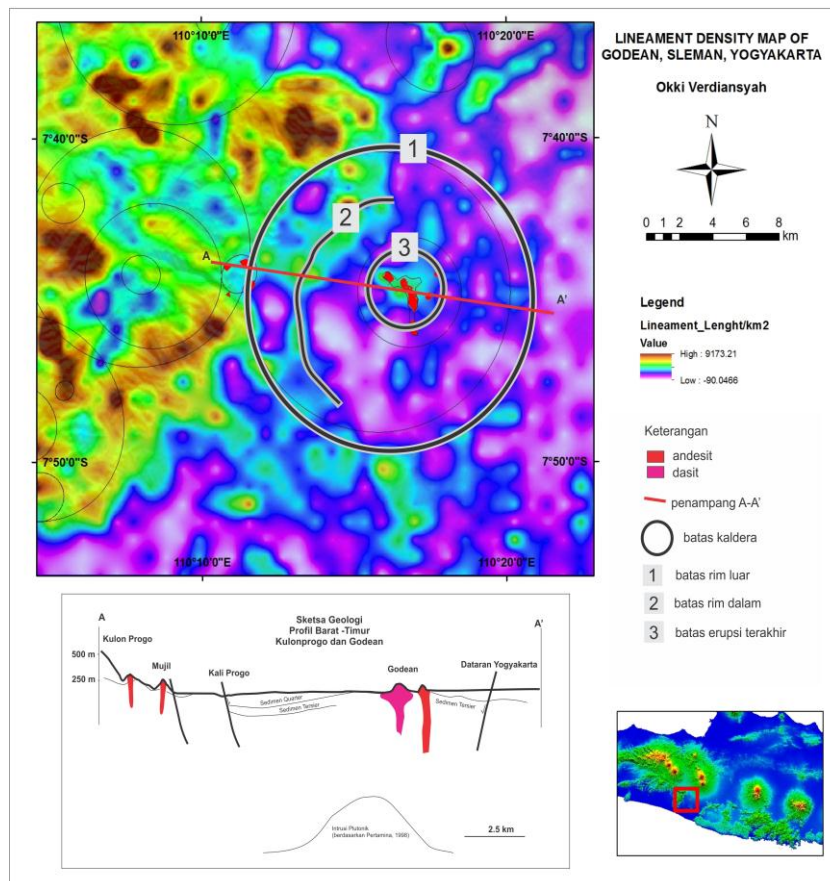


Gambar 7. Peta isodensitas kelurusan pada daerah Godean dan sekitarnya. (a) berdasarkan panjang

per 1 km², (b) berdasarkan jumlah garis per 1 km².

Interpretasi Batas sistem Kaldera, berdasarkan pola dan pendekatan geologi serta morfologi yang ada, maka dapat dibuat batasan kelompok kontur secara kualitatif, dengan mempertimbangkan konsep geologi yang ada. Berdasarkan polanya, maka terlihat daerah Godean dan sekitarnya terbagi menjadi 3 sektor utama (Gambar 8) yaitu : **1).**Lingkar (*rim*) luar, dengan diameter 15,7 km dimana pada bagian barat dibatasi pola setengah melingkar pada densitas tinggi dan

diikuti langsung densitas rendah. **2).**Lingkar (*rim*) ke dua, berupa kemenerusan setengah lingkaran membuka ke timur yang terdiri dari densitas menengah, diikuti densitas rendah. Secara morfologi batas ini merupakan batas sungai Progo yang berbentuk setengah melingkar, yang sudah umum disini terbentuk beberapa sesar besar menurut peneliti terdahulu. **3).** Lingkar atau kontur densitas menengah yang terisolir pada perbukitan Wungkal dan sekitarnya, secara geomorfologi terlihat sebagai gambaran pusat erupsi.



Gambar 8. Interpretasi batas lingkaran kaldera Godean, berdasarkan pola sebaran densitas kelurusan.

KESIMPULAN

Analisis densitas kelurusan (LDA), dapat memberikan gambaran perbedaan pola pada daerah Godean, sehingga dapat diperoleh batasan lingkaran atau setengah lingkaran secara kualitatif sebagai batasan sebuah sistem tertentu. Diameter batasan pola ini terlihat besar (8 – 15 km), yang masih perlu dibuktikan dengan penambahan data geologi dan geofisika bawah permukaan untuk membuktikan dimensi secara ilmiah.

Keberadaan pola morfologi, litologi, dan pola kelurusan ini dapat menjadi gagasan penguat keberadaan kaldera di daerah Yogyakarta sebagai bagian dari magmatisme pegunungan selatan yang jarang dibahas oleh peneliti lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Akhir, J.M., Abdullah, I., (2010), Automatic Mapping of Lineaments Using Shaded Relief Images Derived from Digital Elevation Model (DEMs) in the Maran – Sungai Lembing Area, Malaysia, *EJGE Bulletin* vol. 15, pp 949 – 957.
- Batson, R.M., Edwards. K. and Eliason, E.M. (1975) “Computer – generated shaded- relief Images”, *Journal Research U.S. Geological Survey* 3 (4): 401-408
- Barianto, D., H., Aboud E., Setijadji, L., D., 2009, Structural Analysis using Landsat TM, Gravity Data, and Paleontological Data from Tertiary Rocks in Yogyakarta, Indonesia, *Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University*, Vol.69, No.2, June 2009
- Bronto, S., Ratdomopurbo, A., Asmoro, P., & Adityarani, M. (2014). Longsor Raksasa Gunung Api Merapi Yogyakarta– Jawa Tengah. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 15(4), 165-183.
- Gupta, R.P. (1991) “Remote Sensing Geology”, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- Hubbard, B.E., Mack, T.J., and Thompson, A.L., (2012), *Lineament analysis of mineral areas of interest in Afghanistan*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2012–1048, 28 p., <http://pubs.usgs.gov/of/2012/1048>
- Hartono, H., G., Sudrajat, A., Verdiansyah, O., 2016, *Caldera Of Godean, Sleman, Yogyakarta: An Volcanic Geomorphology Review*, JGUMS
- Hartono, H.G., (2010). Peran Paleovolkanisme Dalam Tataan Produk Batuan Gunung Api Tersier Di Gunung Gajahmungkur, Wonogiri, Jawa Tengah, Disertasi S3, Universitas Padjajaran, tidak dipublikasikan.
- Lipman, P. W., Self, S., and Heiken, G., 1984. Introduction to calderas. (Special issue on calderas) *J. Geophys. Res.* 89 : 8219–8221.
- O’Leary, D. W., Friedman, J. D., and Pohn, H. A. (1976) “Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms”, *Geological Society America Bulletin* 87: 1463-1469.
- Pandita, H., Pambudi, S., Winarti. (2009). Depositional Model of Volcaniclastic - Carbonate Facies of Sentolo Formation at Middle Miocene, Laporan penelitian STTNAS, Tidak di publikasikan. *PCI Geomatica*, (2013), *PCI Geomatica user’s guide*, Ontario. Canada: Richmond Hill
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, Rosidi, (1997), *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*, PSG, Bandung

- Reubi, O., & Nicholls, I. A. (2004). Variability in eruptive dynamics associated with caldera collapse: an example from two successive eruptions at Batur volcanic field, Bali, Indonesia. *Bulletin of volcanology*, 66(2), 134-148.
- Syafri, I., Budiadi, E., Sudrajat, A., 2013, Geotectonic Configuration of Kulon Progo Area, Yogyakarta. *Indonesian Journal of Geology*, Vol. 8, No. 4, p 185-190.
- Sudarno, Ign., Kendali tektonik terhadap pembentukan struktur pada batuan Paleogen dan Neogen di Pegunungan Selatan, Daerah Istimewa Yogyakarta dan sekitarnya., Thesis S2, Intitut Teknologi Bandung, 1999.
- Thannoun, R.G., (2013), Automatic Extraction and Geospatial Analysis of Lineaments and their Tectonic Significance in some areas of Northern Iraq using Remote Sensing Techniques and GIS, *International Journal Of Enhanced Research In Science Technology & Engineering Bulletin*, Vol. 2
- Winardi, S., Toha, B., Imron, M., Amijaya, D., H., 2013, The Potential of Eocene Shale of Nanggulan Formation as a Hydrocarbon Source Rock, *Indonesian Journal of Geology*, Vol. 8, No. 1, p 13-23.
- Verdiansyah, O., 2016, Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi Logam Berharga di Cekungan Yogyakarta sebuah pemikiran dari kehadiran sistem hidrotermal di daerah Godean, *Prosiding Seminar Nasional FTG Unpad Vol 2 No.3*