

KARAKTERISTIK KOMPLEKS BATUAN BEKU DAN KEHADIRAN MINERALISASI PADA DAERAH GODEAN SEBAGAI PERTIMBANGAN KEHADIRAN SISTEM VULKANISME PURBA DI YOGYAKARTA BAGIAN TENGAH.

Okki Verdiansyah^{1*}, Hill Gendoet Hartono¹, dan Fatimah¹

1. Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

okki.verdiansyah@itny.ac.id

SARI

Perbukitan Godean berada didalam wilayah Cekungan Yogyakarta, memiliki karakter morfologi berupa kumpulan bukit terisolasi. Kondisi perbukitan sisa diantara endapan fluvio-vulkanik Merapi ini menyisakan kondisi kegeologian yang menarik. Penelitian ini dihasilkan dari gabungan data peneliti sebelumnya berupa data pemetaan geologi permukaan, pengambilan sampel petrografi, geokimia, mineralogi lempung, serta data geofisika dengan metode *groundmagnetic* pada area ± 42 km². Litologi perbukitan didaerah Godean diinterpretasi berumur Miosen akhir, yang merupakan sisa dari erosi vulkanisme purba yang membentuk beberapa sektor batuan intrusi, lava dan sedimen-vulkaniklastika. Batuan beku merupakan produk dari magmatisme busur kepulauan berafinitas tholeiit – kapur alkali yang membentuk seri batuan diferensiasi mulai dari andesit basaltik, andesit piroksen, andesit hornblenda, mikrodiorit, dan dasit porfir. Batuan beku terlihat menerobos batuan sedimen karbonatan yang merupakan bagian dari Formasi Nanggulan, serta batuan vulkaniklastik serta membentuk beberapa tipe kontak metasomatisme seperti massif epidot-aktinolit dan skarn. Sebaran batuan beku intrusi mikrodioritik-andesit dan andesit-dasitik membentuk penjajaran bukit Berjo-Butak-So-Ngampon yang berarah Timur laut – Barat daya, yang diinterpretasi membesar pada bawah permukaan membentuk satu tubuh batuan intrusi besar pada Berjo-Butak. Pada sektor tengah terdapat batuan subvulkanik dan kubah lava membentuk kelurusan bukit Wungkal-Juring berarah Tenggara-Baratlaut. Batuan subvulkanik ini berkembang dari permukaan dan mengecil pada kedalaman 300-400 m. Produk vulkanisme terlihat dari kehadiran lava diikuti tekstur *flow-banded* pada dasit, banyaknya xenolith sebagai produk runtuh atap, serta pipa breksi freatomagmatik yang teroksidasi kuat. Sebaran endapan vulkaniklastik sulit ditemukan karena tertutup oleh endapan kuartar Merapi. Produk belakangan dari sistem vulkanisme berupa kehadiran sistem hidrotermal dengan mineralisasi tipe epitermal yang diikuti alterasi argilik yang tersebar lebih dari 80% permukaan bukit Wungkal-Juring. Magmatisme akhir berupa intrusi basalt pada daerah Juring. Kompleksitas batuan beku dan asosiasi yang hadir bersamanya, menandakan adanya sistem vulkanism besar di wilayah Yogyakarta bagian tengah, sehingga diperlukan penelitian lanjutan yang dapat mendukung.

Kata kunci: Godean, vulkanisme purba, mineralisasi, magmatisme.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki sabuk magmatisme mulai dari Kapur sampai dengan Kuartar, dimana sebagian besar menghasilkan jajaran gunung api yang sangat berpengaruh baik dalam segi sosial, budaya, dan perekonomian. Salah satu jalur subduksi membentuk sabuk magmatisme mulai Oligosen-Miosen adalah sabuk Sunda – Banda (Soeria-Atmadja *et al.*, 1994), dan bahkan terdapat magmatisme Pliosen pada wilayah bagian timur (Harrison *et al.*, 2018).

Batuan terkait magmatisme dan vulkanisme seringkali terlewatkan dalam pencatatan sebuah kajian Geologi, dikarenakan penarikan umur relatif yang kompleks dan sulit. Disisi lain, batuan ini sangat berdampak terhadap kajian kronologi sebuah wilayah, serta produk akhirnya seperti bentang alamnya, hasil batuannya, serta produk sekundernya dapat dimanfaatkan kedalam aspek ekonomi, sosial dan budaya.

Geologi daerah Godean awalnya hanya dianggap sebagai intrusi Dioritik biasa yang menerobos batuan tua (Rahardjo *et al.*, 1995), namun belakangan telah disebutkan sebagai produk vulkanisme (Bronto, 2013; Hartono *et al.*, 2017), yang diperkuat dengan kehadiran alterasi hidrotermal dipermukaan (Verdiansyah, 2016a). Sebaran litologi pada bukit-bukit kecil yang terbatas pada permukaan yang dikelilingi oleh endapan kuartar dari produk vulkanik Gunung Merapi, sehingga mempersulit dalam interpretasi data secara maksimal.

Lokasi penelitian (Gambar 1) berada pada Desa Sidorejo, Sidoluhur (Kecamatan Godean), Desa Sendangrejo, Margodadi (Kecamatan Seyegan), Desa Margoluwih (Kecamatan Moyudan), Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini lebih berfokus pada membatasi dan mendefinisikan sistem sebaran litologi yang berasosiasi dengan gunung api di Godean, serta bagaimana karakteristik magmatismenya berdasarkan data geokimia

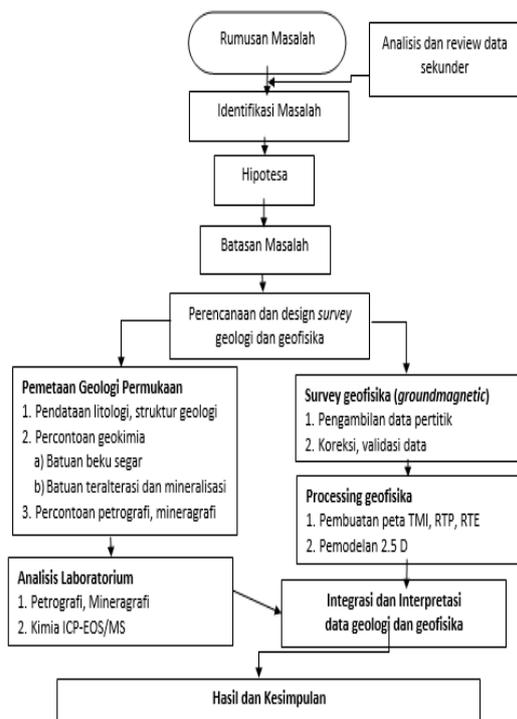
dan potensi mineralisasi berdasarkan data singkapan yang ada.



Gambar 1. Lokasi penelitian pada daerah Godean dan sekitarnya (kotak merah). Batas astronomis pada $7^{\circ} 46' 31.04''$ S - $7^{\circ} 43' 0.84''$ S dan $110^{\circ} 15' 8.43''$ E - $110^{\circ} 18' 37.08''$ E (sistem koordinat WGS 1984).

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode pemetaan permukaan, berupa pemetaan litologi, struktur, dan alterasi hidrotermal, yang diperkuat data laboratorium seperti analisa kimia batuan dengan metode X-Ray Fluorescence (XRF) dan Induced Coupled Plasma (ICP-OES) yang dilakukan pada PT. Intertek Utama Servis serta beberapa bijih mineralisasi pada laboratorium Kimia Unit Geomin PT. Antam (persero) Tbk, Analisa mineral lempung dengan *Terraspectral ASD*, serta analisa petrografi. Metode geofisika *groundmagnetic* yang diambil pada data dengan spasi 200 - 300 m, pada daerah seluar 5 km x 7 km. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

HASIL PENELITIAN

Geologi Daerah Godean dan Sekitarnya

Geomorfologi daerah Godean berupa perbukitan denudasional menempati bagian tengah dari daerah penelitian dan dengan luasan $\pm 40\%$ dari keseluruhan daerah penelitian, perbukitan tersebut membentang dengan arah barat laut – tenggara dengan beda tinggi dengan dataran di sekitarnya 34 - 60 meter, berlereng terjal dengan sudut lereng $\pm 51^\circ$ dan elevasi ± 200 meter di atas permukaan laut.

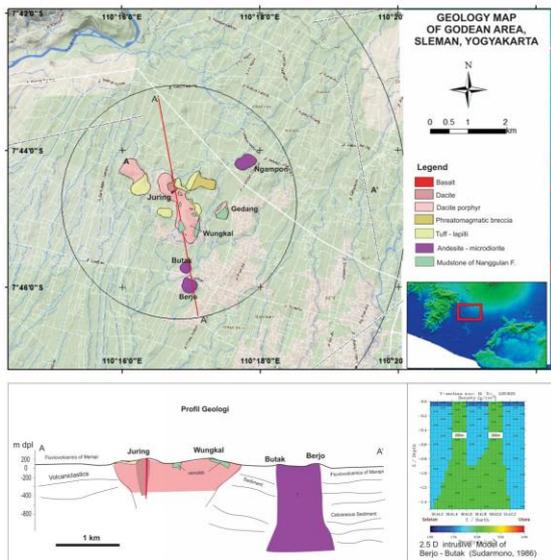
Geomorfologi daerah Godean terbentuk akibat pengaruh dari kontrol denudasional pada batuan beku dan gunungapi, sebagai sisa dari pelapukan dari erosi permukaan sehingga tampak sebagai tinggian. Morfologi dataran pada sekeliling daerah Godean, dihasilkan oleh endapan kuartar berupa endapan fluvio -vulkanik dan longsoran raksasa dari Gunung Merapi (Bronto, 2014), yang secara lokal terlihat

dataran yang sedikit bergelombang akibat pengendapan material dalam sistem pekat.

Litologi daerah Godean secara umum dapat dibagi menjadi 4 kelompok batuan yaitu (1) Batuan beku : Andesit porfir – mikrodiorit, Andesit porfir dasitik – dasit, Dasit, Basalt. (2) Sedimen – vulkaniklastik : Batulempung-lanau tufan, (3) Piroklastik : tuf halus laminasi, tuf dasit dengan tekstur *flow banding*, breksi freatomagmatik, lapili tuf. (4) Aluvial : Fluvio-vulkanik Merapi, Longsoran raksasa Merapi Keberadaan batuan ini tidak terlepas dari kemungkinan kompleksnya pembentukan batuan di daerah Godean, yang diperkirakan sebagai bagian dari sistem gunung api kaldera Godean (Hartono *et al.*, 2017), yang masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Satuan piroklastik dan sedimen – vulkaniklastik masih sulit dipisahkan dalam penelitian ini, serta endapan longsoran dan fluvio-vulkanik masih digabungkan. Berdasarkan data permukaan, maka dapat dipisahkan menjadi 7 satuan, yaitu Batulempung anggota formasi Nanggulan, Intrusi Andesit-mikrodiorit, Tuf-lapili, breksi freatomagmatik, dasit porfir, dasit, dan lokal dijumpai basalt. Litologi tersebut berumur Tersier, yang dikelilingi oleh endapan kuartar yang diinterpretasi sebagai bagian dari endapan fluvio-vulkanik Merapi atau endapan longsoran raksasa Merapi (Bronto *et al.*, 2014)

Batuan Intrusi Andesit - Mikrodioritik

Batuan intrusif teridentifikasi terletak pada Gunung Berjo, Gunung Buthak, dan Gunung Ngampon, dengan variasi litologi secara bergradasi antara andesit sampai mikrodiorit, setempat dijumpai dasitik dan basalt. Gunung Berjo dan Gunung Buthak (Gambar 4) yang berada pada sisi selatan - tenggara daerah penelitian merupakan bukit dengan kelerengan mencapai 55,02 – 51,41 % dan elevasi mencapai ± 175 mdpl pada gunung Berjo dan ± 154 mdpl pada Buthak, serta 180 m dpl pada Ngampon.



Gambar 3. Peta geologi daerah Godean dan sekitarnya, serta profil geologi utara - selatan. Data bawah permukaan dengan mengombinasikan data geofisika pada Wungkal (Fatimah dan Verdiansyah, 2018) dan Berjo-Butak (Sudarmono, 1986; Sujono, 2018)

Geomorfologi gunung Berjo dan gunung Buthak terbentuk akibat pengaruh dari kontrol denudasional pada batuan beku dan gunungapi, sebagai sisa dari pelapukan dari erosi permukaan sehingga tampak sebagai tinggian. Seluruh batuan penyusun gunung Berjo dan gunung Buthak sudah mengalami pelapukan sangat lanjut menjadi tanah lempung dan tertutup oleh vegetasi lebat. Singkapan batuan segar hanya ditemukan pada lokasi penggalian tanah dan batu serta akibat longsor. Data berat jenis dari penelitian geofisika menunjukkan struktur tubuh gunung Berjo dan Butak satu kesatuan pada kedalaman 2,5 km, sedangkan batuan penyusun pada tubuh gunung Berjo dan Butak memiliki densitas sekitar 3,25 g/cm³ dan terdapat anomali densitas rendah sekitar 2,43 g/cm³ dimungkinkan batuan yang teralterasi akibat proses hidrotermal (Sujono, 2018).

Verdiansyah (2017) menyebutkan secara umum litologi penyusun gunung Berjo berdasarkan pengamatan yaitu andesit-dasit yang terdiri dari andesit, andesitpiroksen,

dasit, chlorite-rich andesit. Tekstur batuan pada gunung Berjo adalah porfiritik, dengan fenokris terdiri dari plagioklas (An₃₇₋₄₅), klorit, kuarsa, piroksen, magnetit, aktinolit, epidot, kalsit, alkali feldspar dengan ukuran 0,3 mm – 3mm dengan masadasar plagioklas, kuarsa, serisit, klorit, aktinolit, magnetit, kalsit dengan ukuran <0,3 mm. Batuan pada gunung Berjo diinterpretasi sebagai batuan beku intrusi dangkal berdasarkan tekstur yang diamati, dengan mineral opak berupa magnetit.

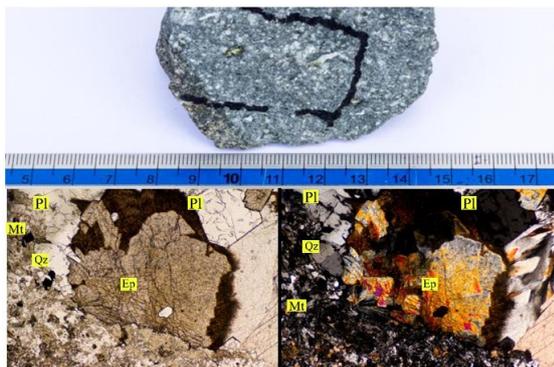
Singkapan yang diamati detail pada gunung Berjo dan Buthak dengan karakteristik memiliki tekstur khusus berupa lubang miarolitik yang terisi oleh epidot, kuarsa, klorit, dan feldspar (Gambar 5). Tekstur-tekstur seperti ini merupakan tekstur yang banyak berkembang pada batuan beku atau magma yang mengandung banyak volatil (gas dan larutan), dan biasanya akan berasosiasi dengan sistem hidrotermal (Johnson, 2014; Kirwin, 2006 dalam Verdiansyah 2016), yang kemungkinan juga bernilai ekonomis (Kirwin, 2006 dalam Verdiansyah 2016).



Gambar 4. (a) morfologi gunung Buthak, (b) morfologi gunung Berjo. (c) morfologi gunung Ngampon. Bukit-bukit tersebut menunjukkan morfologi tinggian diantara dataran di sekitarnya.

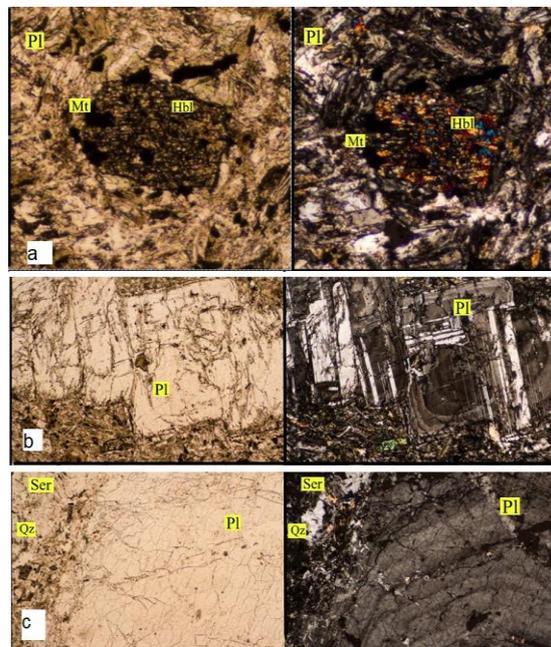
Berdasarkan ada dijumpainya tekstur miarolitic cavities pada batuan dapat diinterpretasikan bahwa magma mengalami fase degassing atau fase terakhir selama proses pembekuan magma dan juga dapat diketahui bahwa magma memiliki kandungan gas yang cukup besar, bersifat viscous serta mengalami dekompresi yang memungkinkan magma membentuk cavities. Kehadiran mineral epidot yang serupa dengan mineral fasies greenschist pada metamorf, suhu pembentukan mineral dan suhu degassing pada range 200-400°C pada kedalaman sekitar 500 m (Verdiansyah, 2017).

Litologi batuan beku Gunung Ngampon keseluruhan berupa batuan andesit serisitik dan beberapa dasit serisitik, dengan perbedaan berupa akumulasi pada fenokris kuarsa di lapangan. Tekstur batuan pada gunung Ngampon adalah porfiritik, zoning dengan fenokris terdiri dari plagioklas andesin (An38-49), plagioklas, klorit, alkali felspar, yang sebagian sudah mengalami perubahan / diagenesa menjadi mineral serisit, kalsit, dengan ukuran 0,3 mm – 3mm dan masadasar mikrokristal plagioklas, kuarsa, klorit, serisit dan kalsit dengan ukuran <0,03 mm.



Gambar 5. Sampel batuan andesit piroksen pada Gunung Berjo, Godean, (a) contoh setangan, terlihat tekstur batuan porfiritik, dengan masadasar kristal mineral halus <1mm, diikuti miarolitic cavities yang terisi oleh mineral asesori. (b) sayatan tipis pada posisi PPL, tekstur miarolitic cavities terisi oleh epidot, kuarsa dan felspar serta beberapa mineral opak, (c) sayatan tipis pada posisi XPL, terlihat bentuk epidot yang fibrous,

menandakan mineral ini tumbuh pada ruang kosong tanpa mengalterasi sekitarnya, yang hadir setelah kristalisasi magma, atau sebagai transisi sistem magmatik ke hidrotermal. , lebar foto sayatan = 2,73 mm



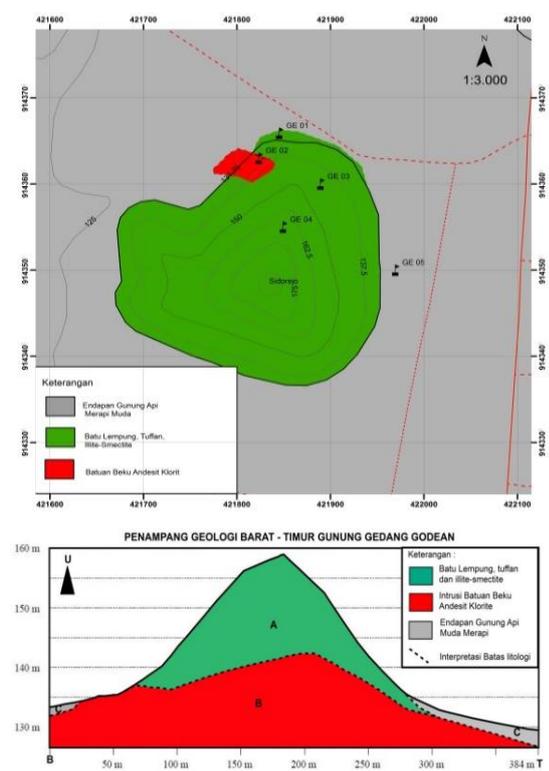
Gambar 6. Sampel pada intrusi Andesit hornblende Gunung Butak. (a) fenokris Hornblenda memperlihatkan tekstur retak dan bereaksi rim, serta sebagian berubah menjadi epidot diinklusi oleh mineral opak, ukuran kristal 0,5 mm. (b) kristal plagioklas dengan tekstur glomeroporfiritik dengan *oscillatory zoning* terkena mikro-sesar. (c) kristal plagioklas memperlihatkan tekstur *oscillatory zoning*. lebar foto sayatan = 2,73 mm.

Batuan Intrusi Subvulkanik (Andesit Dasitik)

Batuan intrusif tipe ini teridentifikasi terletak pada Gunung Ngampon, dan Gunung Wungkal - Juring. Karakter batuan ini, dalam megaskopik terlihat kaya fenokris feldspar dengan kuarsa sulit dijumpai, namun pada mikroskopik kuarsa terlihat berukuran halus. Batuan ini umumnya berupa transisi antara andesit dan dasit, dengan fenokris mineral mafik berupa Hornblenda, yang selalu berasosiasi dengan batuan sedimen atau batuan vulkanik baik sebagai xenolit

ataupun kontak sisa pada bagian tepi atau atap tubuh intrusi dangkal ini.

Morfologi batuan tipe ini tersebar pada Gedang (± 193 mdpl), Wungkal (± 187 mdpl), Gede / Juring (± 218 mdpl), dan Gunung So (± 173 mdpl), yang terlihat tidak jauh berbeda dengan bukit intrusi andesitik lainnya, hanya pada beberapa kenampakan khas litologi intrusi dasitik ini memiliki bentuk bukit yang lebih melandai dipuncaknya yang kemungkinan diakibatkan sifat batuan yang lebih mudah lapuk dan lunak di Gunung Wungkal - Juring, dan Gunung Gedang atau So. Batuan lunak tersebut dapat berupa batuan teralterasi ataupun batuan vulkaniklastik yang beberapamasih muncul dipermukaan, seperti pada Gunung Gedang (Gambar 7).



Gambar 7. Peta geologi permukaan Gunung Gedang dan penampang barat-timur, yang menunjukkan batuan beku sebagai terobosan dangkal, dan masih tertutup batuan sedimen-vulkanik.

Pada daerah bukit Wungkal sampai Juring, tersebar litologi berupa batuan subvulkanik pada bagian selatan sampai lava

pada bagian utara berupa andesit porfiri dasitik, dasit dan basal. Ketiga litologi itu dapat dipisahkan dengan baik di lapangan. Pada bagian selatan yaitu Bukit Wungkal, dijumpai sebagai bagian subvulkanik yang banyak dijumpai inklusi batuan sedimen-vulkanik dengan orientasi acak dan pada beberapa tempat berjajar, sehingga menunjukkan adanya terobosan magma dangkal yang belum keluar kepermukaan, namun pada sisi lain akan dijumpai sebagai lava permukaan yang kemungkinan terdapat pada sektor tengah sampai Juring. Pada bukit Juring terdapat Andesit hornblenda dengan fenokris 32.5% berupa plagioklas (andesin), sanidin, hornblenda, kuarsa, biotit (Gambar 8) dan masa dasar berupa kuarsa? (sperulit?), plagioklas, hornblende, gelas vulkanik, mikrolit, serta terdapat beberapa mineral sekunder seperti kalsit. Batuan daerah Wungkal sampai juring telah banyak mengandung sanidin (K-Feldspar) sebanyak 10 -15% sebagai fenokris dan massadasar. Keberadaan biotit dan Fe-Hornblenda menandakan bahwa magmatisme Wungkal – Juring telah mengalami fraksinasi kristalisasi dengan ciri pengkayaan potassium (K) dan terjadinya reaksi pada pingiran kristal berupa pengkayaan sodium pada zoning plagioklas, perubahan mineral pada kuarsa dan sanidin, serta adanya retakan terisi mineral opak (Gambar 9).

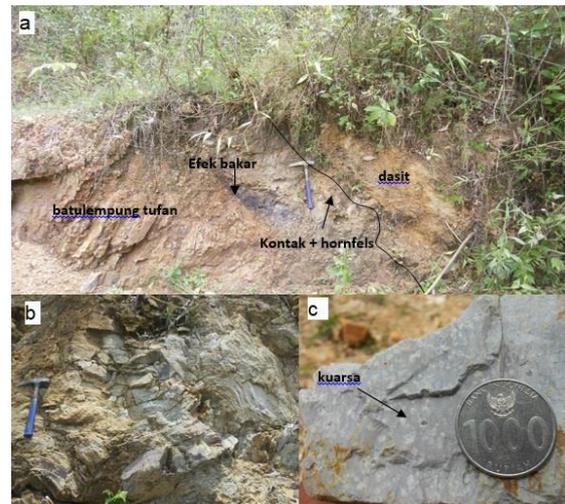
Perubahan magma berikutnya terlihat dari kehadiran Dasit disertai adanya tuf dengan tekstur *flow banded* (Gambar 10) yang merupakan batuan yang terbentuk pada kubah lava atau plug lava, yang disebabkan mekanisme keluarnya magma pekat tanpa volatil, sebagai hasil paska erupsi gunungapi. Batuan ini juga teralterasi asam menjadi silika – illit – smektit – kaolinit, yang terjadi lokal pada daerah sekitar kubah lava, dengan mineralisasi diseminasi pirit setempat pada tuf dan batuan sampingnya (batulempung). Pada fase terakhir juga dijumpai adanya intrusi basal pada satuan dasit, dengan singkapan selebar 5 m yang sangat segar tiak teralterasi, diduga ini sebagai intrusi terakhir yang dijumpai di perbukitan Godean.



Gambar 8. (a) Andesit – dasitik di Wungkal selatan, yang sudah lapuk. (b) fenokris lebih melimpah diikuti penambahan sanidin dan hornblenda, dan terlihat adanya senolit mikrodiorit yang identik dengan intrusi Berjo.



Gambar 9. Petrografi dari sayatan tipis GD_08_RO, sebagai sampel yang mewakili satuan andesit – dasit. Mineral : qz-kuarsa, hb-hornblenda, san-sanidin, pl-plagioklas, bi-biotit, mt-magnetit, qzs-kuarsa sekunder, cc-kalsit, gv-glas vulkanik, mk-mikrolit feldspar.

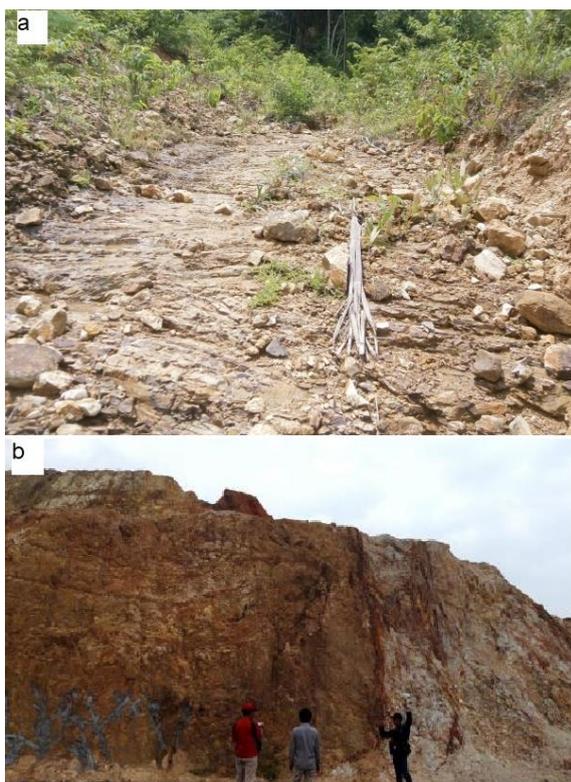


Gambar 10. Singkapan dasit daerah Juring, (a) kontak antara dasit yang sudah terubah kuat (kaolin-ilit-smektit) dengan batulempung tufan yang terlihat efek bakar (membentuk karbon) dan terdapat hornfels pada tepi kontak, serta diikuti pengkayaan hematit pada retakan batuan yang menandakan adanya material vulkanik sebelumnya. (b) flow banded tuf, yang merupakan struktur akibat gerakan kubah lava dasitik yang pekat, dan biasanya akan dijumpai juga sebagai breksi pada tepi-tepi kubah / plug, (c) tuf dasitik sebagai produk bagian luar dari kubah lava / plug. Batuan ini teralterasi silika – smektit-kaolinik.

Batuan sedimen dan vulkaniklastik daerah Godean

Batuan sedimen di daerah Godean, di interpretasi sebagai campuran epiklastik, vulkaniklastik dan piroklastik. Sedimen di Godean diinterpretasi sebagai anggota Formasi Nanggulan berumur Eosen sampai Oligosen yang umumnya dijumpai sebagai xenolit atau kontak dengan batuan dasitik, dengan efek kontak berupa hornflesik, skarn, dan epidote replacement. Batuan ini banyak tersingkap pada sisi bukit yang berkontak langsung dengan intrusi subvulkanik dan lava di Wungkal sampai Juring, serta beberapa bukit sekitarnya. Litologi yang berkembang berupa batulempung tufan, batulempung hitam, tuf berlapis dan batupasir tufan. Korelasi antara litologi tersebut belum bisa dilakukan.

Batuan sedimen - piroklastika berupa tuf massif sampai laminasi (Gambar 11a), dengan beberapa diikuti nodul tergantikan pirit, yang banyak terdapat pada bagian selatan Wungkal dan Juring, yang berkontak dengan Dasit. Pada daerah Wungkal litologi ini sebagian terlapukan kuat menjadi mineral lempung dan terisi oleh lempung oksida (oker) yang mengikuti retakan-retakan batuan. Batuan sedimen - piroklastika ini diduga sebagai produk endapan vulkaniklastik intra-kaldera Godean yang tersisa. Pada bagian utara dari G. Juring, terdapat bukit kecil dengan ketinggian <50 m yang tersusun oleh batuan jenis freatomagmatik (piroklastika) dengan tekstur *crackle - milled* lapillian berupa fragmen tuff, dengan matriks berupa lumpur yang diikuti silika dan teroksidasi kuat (Gambar 11b).



Gambar 11. (a) Singkapan batulempung tufan berlapis dengan tuf di Juring (G. Gede). Berupa tuf berlapis. Terdapat juga alterasi smektit-ilit, dan setempat dijumpai pirit halus melimpah. (b) Singkapan batuan breksi freatomagmatik yang teroksidasi kuat, yang identik dengan lapili tuf di utara Wungkal.

Sistem mineralisasi tentunya tidak terlepas dari adanya reaksi metasomatisme, yang dapat terjadi secara prograde ataupun retrograde. Pada sistem regional, batuan sedimen dari anggota Formasi Nanggulan kemungkinan mengalami reaksi dengan akibat adanya magmatisme Godean, sebagaimana yang disebutkan Winardi, dkk. (2013) tentang adanya peningkatan suhu dengan kenaikan gradien geotermal sekitar 3-4 °C/100 m pada batuan di daerah Nanggulan (± 15 km sisi Barat Godean) dari kompleks batuan beku intrusi Godean. Jenis - jenis hasil reaksi antara batuan beku dan sedimen Gunung Wungkal membentuk massive epidote-actinolite, dan *massive pyrite replacement*, sedangkan pada bukit Berjo (200 m selatan Gunung Wungkal) membentuk pargasite-epidote skarn (Verdiansyah dan Hartono, 2017). Reaksi metasomatisme ini menandakan batuan samping bersifat aktif dan reaktif terhadap magmatisme dan hidrotermal, sehingga dapat diasumsikan akan ada mineralisasi dibawah permukaan dengan kontrol utama litologi.

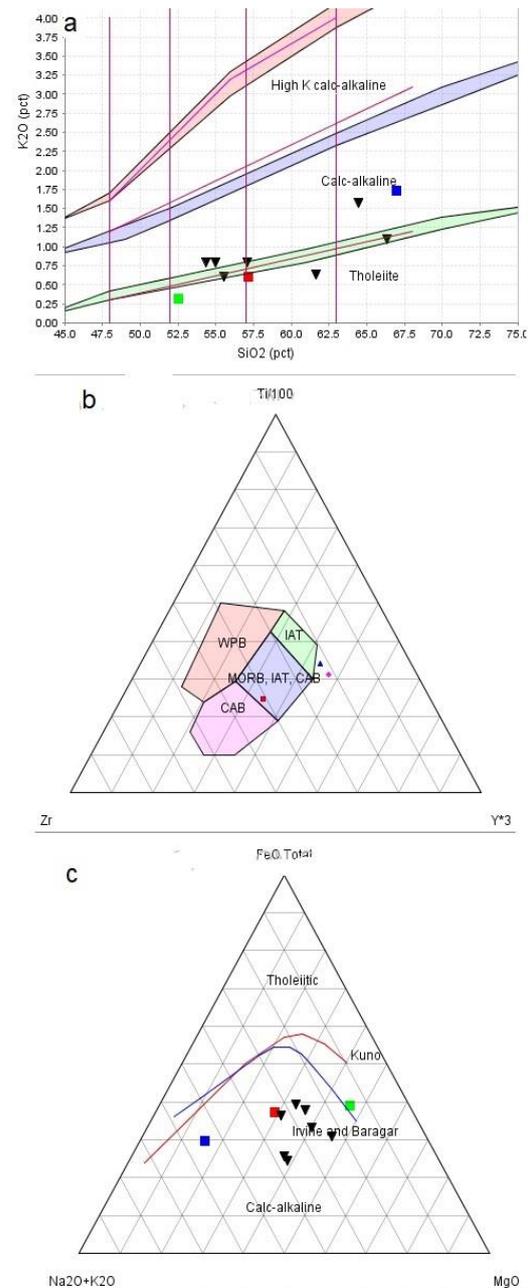
Geokimia Batuan Beku daerah Godean

Analisa batuan beku dilakukan pada 3 jenis batuan yaitu dasit, andesit - mikrodioritik, dan basalt dengan metode XRF untuk mengetahui kandungan oksida utama dan beberapa ICP-OES untuk mengetahui karakter unsur jarangnya. Dalam analisa ini, kami menyantumkan 10 data batuan (Tabel 1) dari Godean sebagai pembandingan dan agar bisa dianalisa bersamaan, 7 sampel bersumber dari peneliti sebelumnya (Bakar, 1997; Bronto, 1999, dalam Verdiansyah, 2016) dan 3 data primer pada penelitian ini, yaitu BGD_01, GD_009_RO, dan BJ.01. Jenis litologi yang terdapat di daerah Godean, berdasarkan data geokimia merupakan variasi dari andesit basaltik, andesit, dan dasit yang mengindikasikan adanya diferensiasi lengka pada kompleks Godean dengan variasi SiO_2 sebesar 52.51% - 66.94%, dengan saturasi alumina berupa peralumina kuat (Gambar 12) dengan total alumina berkisar antara 15.7 -

20.67 %Al₂O₃, dengan total alkali (CaO+Na₂O+K₂O) adalah 7.45 - 12.34%. Jenis magma daerah Godean, diinterpretasi sebagai bagian dari magmatisme busur kepulauan dengan afinitas tholeiitikt sampai kapur-alkalin atau subalkalin. Magmatisme terakhir berupa pembentukan basalt pada daerah Godean menunjukkan suhu cairan / magma sekitar 1100 - 1150°C dengan tekanan pembentukan pada 10–13 kbar berdasarkan pendekatan perhitungan CIPW-normatif dan kelompok mineralogi yang hadir (Verdiansyah, 2016b), diinterpretasi berasal dari partial melting bukan magma primer, namun berasal dari fraksinasi olivin berdasarkan nilai kadar unsur nikel pada basalt adalah 171 ppm (Ni<250).

Tabel 1. Data geokimia oksida utama dalam persen (%) pada batuan beku daerah Godean.

Kode	GD_009_ RO	BGD_ 01	BJ.01	A2	A1
Lokasi	Wungkal	Juring	Berjo	Gode-an	Gode-an
SiO ₂	66.94	52.51	57.15	54.38	55
TiO ₂	0.4	0.78	0.64	0.63	0.64
Al ₂ O ₃	15.82	15.89	16.99	20.67	19.84
Fe ₂ O ₃	4.62	9.03	7.05	7	6.99
MnO	0.095	0.157	0.16	0.12	0.13
MgO	1.73	8.26	4.08	4.53	5.13
CaO	3.03	8.73	6.56	8.58	8.26
Na ₂ O	4.28	2.24	4.14	2.96	2.91
K ₂ O	1.73	0.31	0.6	0.8	0.79
P ₂ O ₅	0.158	0.134	0.155	0.33	0.31
Cr ₂ O ₃	0.009	0.07	0.026	NA	NA
LOI	1.1	1.8	2.4	NA	NA
Kode	GD1	GD2	GD7	D1	D2
Lokasi	Berjo	Butak	Ngam-pon	Gode-an	Gode-an
SiO ₂	55.57	57.1	61.63	64.48	66.35
TiO ₂	0.48	0.61	0.2	0.1	0.1
Al ₂ O ₃	16.49	17.32	17.39	15.77	15.7
Fe ₂ O ₃	7	7.05	6.28	4.93	4.76
MnO	0.12	0.14	0.09	0.19	0.19
MgO	7.99	6.26	3.96	5.54	4.89
CaO	7.99	6.97	6	3.02	2.54
Na ₂ O	3.37	3.39	3.54	3.73	3.81
K ₂ O	0.61	0.79	0.63	1.57	1.1
P ₂ O ₅	0.38	0.37	0.28	0.67	0.56



Gambar 12. Plotting jenis magma daerah Godean (a) pada saturasi alumina (Barton & Young, 2002) yang memperlihatkan derajat peralumina kuat, (b) tataan tektonik pada Pearce & Cann (1973) sebagai IAT (island Arc) (c-d). Afinitas magma pada AFM diagram (Irvine & Baragar, xxx; Peccerillo & Taylor, 1976; Ewart (1982); Innocenti et al. (1982) dalam Rollinson, 1993), yang memperlihatkan tholeiite sampai calc-alkaline. Simbol segitiga adalah data sekunder, batan basaltik Juring

(hijau), batuan andesitik Berjo (merah) dan batuan dasitik Wungkal (biru).

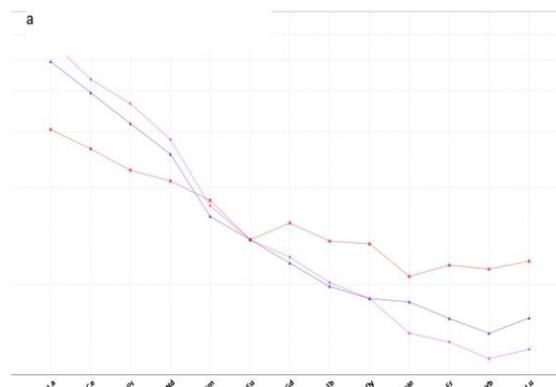
Karakteristik Rare Earth Element (REE) dalam batuan

Analisa geokimia menunjukkan kandungan unsur tanah jarang (REE) telah dilakukan pada 3 batuan beku dan 4 sampel batuan teralterasi (Tabel 2). Analisa dilakukan dengan metode ICP-OES dan ICP - MS di Lab Intertek Jakarta. Total REE pada batuan beku adalah 86.01 ppm - 96.67 ppm, pada batuan teralterasi Total REE adalah 83.3ppm., untuk batuan beku Berjo, dan mineralisasi breksi hidrotermal dan pirit replacement, tidak dilakukan analisa REE total.

Pola unsur tanah jarang (REE) pada diagram spider normalisir REE/chondrite (Gambar 13) berdasarkan pendekatan diagram Nakamura, (1974 dalam Wilson, 2007) menunjukkan adanya gambaran turunnya unsur Eu yang menunjukkan adanya fraksinasi plagioklas atau keseimbangan pada sumber mantel asal magma tidak memiliki garnet yang terjadi pada lingkungan tektonik busur kepulauan kapur alkali (Wilson, 2007).

Tabel 2. Data geokimia REE (dalam ppm) pada batuan beku dan alterasi daerah Godean.

Kode	GD_00 9_RO	BGD_01	BJ.0 1	GD_0 04_R O	GD_0 10_R F	MG D.0 02	SE D .02
REE	Dasit	Andesit Basaltik	Andesit	Argilik	Vein Qz	Hid. Breks	Nodul pirit
Ce	26.6	16.2	NA	24.2	NA	NA	NA
Dy	2.3	3.4	NA	2.3	NA	NA	NA
Er	1.1	1.9	NA	1.3	NA	NA	NA
Eu	0.8	0.8	NA	0.8	NA	NA	NA
Gd	2.5	3.2	NA	2.4	NA	NA	NA
Ho	0.4	0.6	NA	0.5	NA	NA	NA
La	13.6	7.2	5	11.7	NA	<2	6
Lu	0.16	0.3	NA	0.2	NA	NA	NA
Nd	13.2	9.8	NA	11.9	NA	NA	NA
Pr	3.47	2.16	NA	3.01	NA	NA	NA
Yb	1	1.9	NA	1.2	NA	NA	NA
Sm	2.7	2.8	NA	2.5	NA	NA	NA
Tb	0.38	0.51	NA	0.37	NA	NA	NA
Tm	0.2	0.3	NA	0.2	NA	NA	NA
Y	11.6	19.6	8	11.6	2.3	3	6
Sc	6	26	6	9	1	NA	5

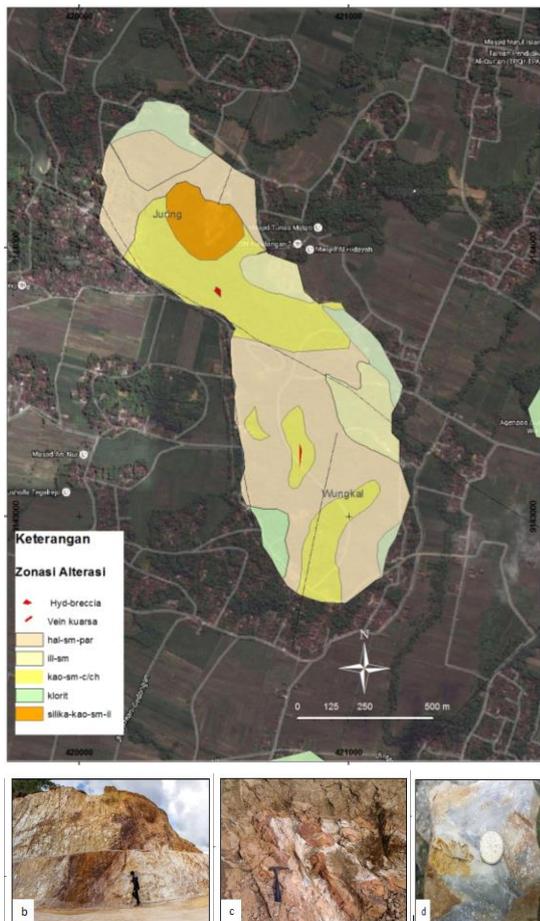


Gambar 13. Diagram spider hasil normalisir unsur tanah jarang (REE) terhadap chondrite Thompson (1982, dalam Rollinson, 1993),

Alterasi dan Mineralisasi daerah Godean

Alterasi hidrotermal yang berkembang pada daerah Gunung Wungkal dan sekitarnya terbagi menjadi secara umum dapat dikategorikan berupa argilik dan propilitik, dengan kumpulan mineralogi terbagi menjadi halloysite-smectite-paragonite, illite - smectite, kaolinite - smectite - chlorite, klorit - epidot, silika - kaolinit - smectite - illite (Gambar 13a). Pola sebaran alterasi diinterpretasi mengikuti kontrol litologi dan diperkuat dengan struktur geologi seperti kekar atau zona hancuran.

Keberadaan mineralisasi di Gunung Wungkal, terlihat dari kehadiran tipe vein (urat) kuarsa, breksi hidrotermal, dan adanya kehadiran replacement - skarn yang diikuti kehadiran mineral opak. Pada analisa geokimia batuan termineralisasi, diperoleh adanya anomali unsur Au CN (emas dengan sianidasi) >0.1 ppm dan maksimum 1.72 ppm Au (re-analisa Au normal), diikuti nilai Ag berkisar 0.1 - 1.4 ppm, dan As berkisar 118 - 600 ppm. Hal tersebut menandakan hadirnya sistem mineralisasi epitermal pada daerah Godean, walaupun belum dijumpai pusat mineralisasi yang utama.



Gambar 13. Peta zonasi alterasi hidrotermal pada daerah Godean, yang diikuti mineralisasi di beberapa tempat, (b) pipa breksi hidrotermal teroksidasi kuat menjadi jarosit-hematit (MGD01-03) (c). Nodul tergantikan sulfida (SED02) dan telah teroksidasi, (d) vein kuarsa (GD10) dengan tekstur masif, komposisi utama mikrokristalin kuarsa dan kalsedon

Anomali geofisika dan interpretasi data bawah permukaan

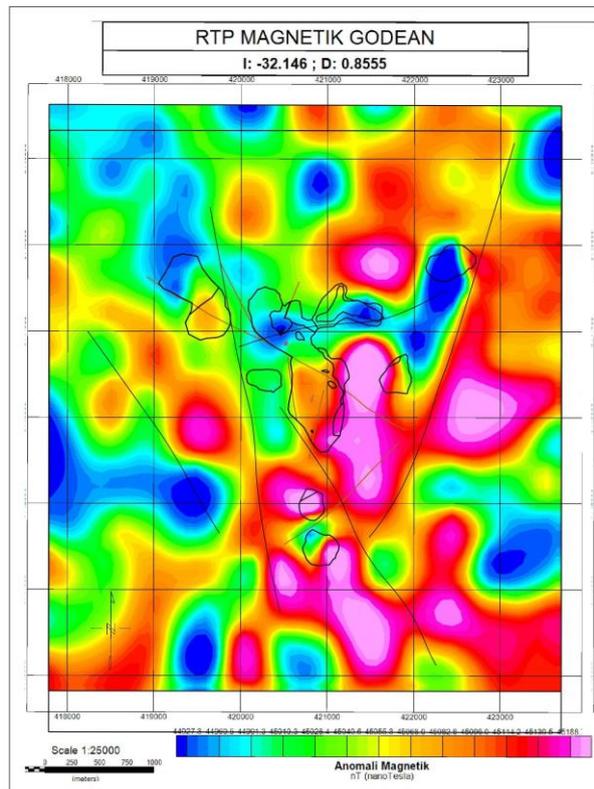
Pengukuran geofisika groundmagnet dilakukan dengan menggunakan 2 unit alat Proton Precision Magnetometer. Unit tersebut digunakan sebagai *base* dan *rover/mobile*, yang kemudian secara berkala mencatat nilai-nilai kuat medan magnet selama 6 hari pengukuran di Godean. Data magnetik yang digunakan adalah data primer yang telah dilakukan koreksi variasi harian, dan koreksi IGRF diperoleh dari hasil pengukuran pada

lereng. Jumlah titik yang dilakukan pengamatan adalah 193 titik, yang mewakili spasi sekitar 500 m pada area 6x7 km², dan diikuti data koreksi dari *base* sebanyak 302 data dari pembacaan perwaktunya.

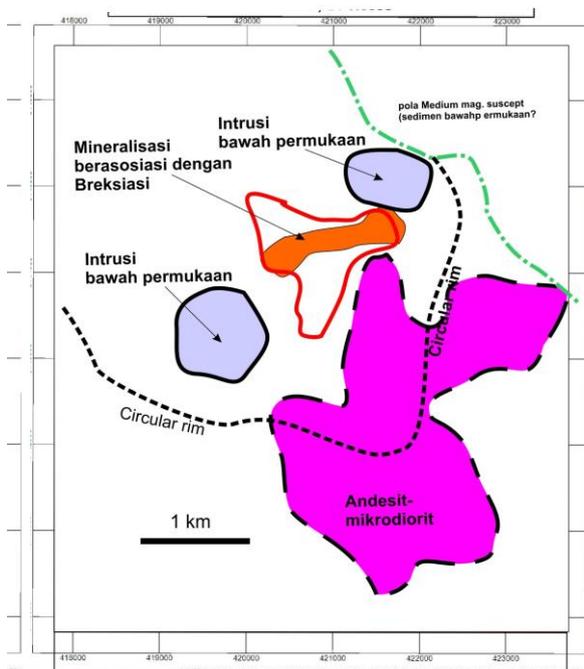
Peta anomaly magnetic RTP (reduce to pole) menunjukkan pola sebaran anomali magnetik tinggi (>45100 nT) yang diinterpretasi sebagai batuan beku, tersebar pada bagian selatan dan sisi timur dan pada bagian Timur laut terlihat pola anomali medium magnetik yang merata (± 45000 nT) yang diinterpretasikan sebagai tubuh batuan sedimen-vulkaniklastik dibawah permukaan, yang juga diharapkan ada kontak metasomatisme membentuk mineralisasi (Gambar 14).

Batas sistem hidrotermal dimungkinkan berhubungan dengan circular rim yang terbentuk pada daerah sekitar alterasi hidrotermal. Sistem hidrotermal terlihat jelas berkembang baik pada Gunung Wungkal-Juring, dimana padangian tengah terdapat koridor magnetik sangat rendah, yang diinterpretasi sebagai bagian sistem breksi diatrema dan breksi hidrotermal yang juga dipermukaan teralterasi dan termineralisasi baik. Anomali menarik yang lainnya adalah dijumpainya anomali magnetik tinggi tertutup, yang bisa diinterpretasi sebagai bagian dari tubuh intrusi pembawa mineralisasi dibawah permukaan, yang dicirikan dengan dimensi diameter sekitar 1 km, serta dengan pola sepasang diantara zona alterasi luas Godean, yang biasa terlihat sebagai eagle eye dalam anomali tipe porfiri (Hoschke, 2008).

Pada pengolahan data magnetik 3 dimensi (3D), diperoleh interpolasi 9739 data titik yang dikembangkan dari 196 titik pengukuran dipermukaan. Data ini menghasilkan nilai *magnetic susceptibility* dari minimum -0.097061 sampai maksimum 0.0642, dengan rata-rata 0.0002. Pengolahan 3D dengan menggunakan Voxel pada Oasis Montaj Geosoft, menghasilkan nilai maksimum *susceptibility* di 0.0599, yang digunakan untuk menginterpretasi tubuh batuan tinggi magnetik ke bawah permukaan (Gambar 15).

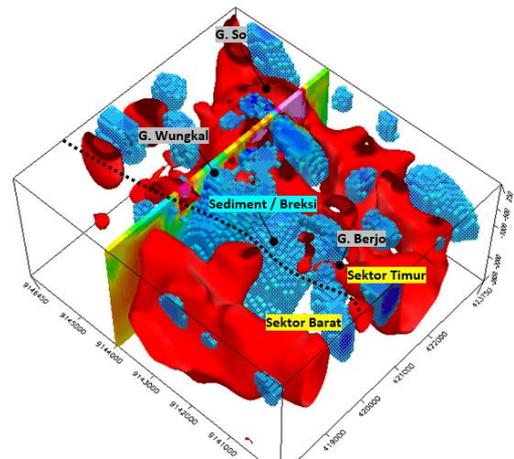


Peta interpretasi



Gambar 14. Peta anomali magnetik RTP pada daerah Godean dan *outline* batas litologi batuan beku hasil pemetaan., serta interpretasi sebaran batuan beku.

Analisis secara semi-kualitatif, menemukan kemungkinan tubuh anomaly magnetic tinggi adalah diatas 0.04, yang tersebar secara eratik, namun menyatu pada bagian bawah permukaan. Pola ini dimungkinkan sebagai tubuh intrusi bawah permukaan, yang memungkinkan berhubungan dengan mineralisasi. Pada bagian tengah, sekitar bagian bawah G. Wungkal terdapat anomaly low magnetic yang diinterpretasi sebagai alterasi hidrotermal di permukaan, namun pada bagian bawah permukaan memungkinkan adanya blok batuan sedimen atau tubuh breksi (Gambar 14), sedangkan tubuh intrusi sendiri diinterpretasi terbagi menjadi 2 segmentasi utama yaitu segmen memanjang utara selatan sisi Barat, dan segmentasi acak pada sisi Timur, yang pada permukaan terlihat sebagai tubuh intrusi.



Gambar 15. Anomali magnetik tinggi (merah) diinterpretasi sebagai tubuh batuan intrusi dan sebaran anomali rendah (biru) yang diinterpretasi sebagai zonasi alterasi di permukaan dan tubuh batuan sedimen-vulkaniklastik atau zona hancuran dibawah permukaan.

KESIMPULAN

Magmatisme Godean memiliki afinitas kapur-alkali yang berdiferensiasi normal, membentuk kompleksitas batuan beku daerah Godean. Sebaran anomali magnetik tinggi masih dapat berkembang ke arah luar, yang memungkinkan ditemukannya batas tubuh magma dibawah permukaan. Hal ini

membuktikan adanya sistem magmatisme dan vulkanisme yang berkembang baik pada daerah ini, yang juga menghasilkan sistem hidrotermal. Sistem hidrotermal berkembang dengan tipe epitermal di permukaan, yang sebagian termineralisasi logam berharga seperti emas, yang berasosiasi dengan arsenik yang tinggi.

Proses pelapukan dan erosi permukaan, membentuk sisa morfologi unik pada daerah Godean serta menyebabkan terjadinya oksidasi kuat pada pusat-pusat alterasi hidrotermal.

Sistem vulkanisme daerah Godean belum dapat ditentukan pasti besar, luasan dan tipenya, serta umur kehadiran batuan bekunya. Penelitian lanjut mengenai hal tersebut sangat diperlukan untuk menambah informasi geologi, terutama kaitannya dengan sejarah tektonik Pegunungan Selatan.

UCAPAN TERIMAKASIH (Optional)

Penulis mengucapkan terimakasih pada manajemen ITNY atas dukungan dan nyan, serta instansi PT. Antam (persero) Tbk. atas bantuan laboratoriumnya.

PUSTAKA

Bronto, S. (2013) *Geologi Gunung Api Purba*. Badan Geologi.

Bronto, S., Antonius, R., Asmoro, P. dan Adityarani, M. (2014) "Longoran Raksasa Gunung Api Merapi Yogyakarta – Jawa Tengah," *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 15(4), hal. 165–183.

Fatimah dan Verdiansyah, O. (2018) "Pemodelan Bawah Permukaan pada Gunung Wungkal Godean, Sleman, Yogyakarta Menggunakan Geomagnetik," in *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIII Tahun 2018 (ReTII)*. Yogyakarta: STTNAS, hal. 215–222.

Harrison, R. L., Maryono, A., Norris, M. S., Rohrlach, B. D., Cooke, D. R., Thompson, J. M., Creaser, R. A. dan Thiede, D. S. (2018) "Geochronology of the Tumpangpitu porphyry Au-Cu-

Mo and high-sulfidation epithermal Au-Ag-Cu deposit: Evidence for pre-and postmineralization diatremes in the Tujuh Bukit district, Southeast Java, Indonesia," *Economic Geology*, 113(1), hal. 163–192. Tersedia pada: <https://doi.org/10.5382/econgeo.2018.4547>.

Hartono, H. G., Sudradjat, A. dan Verdiansyah, O. (2017) "Caldera of Godean, Sleman, Yogyakarta: A Volcanic Geomorphology Review," *Forum Geografi*, 31(1), hal. 138–147. doi: 10.23917/forgeo.v31i1.2821.

Hoschke, T. (2008) "Geophysical Signatures of Cu-Au Porphyry and Epithermal Deposits," *Arizona Geological Society Digest*, 22, hal. 85–100.

Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan Rosidi, H. (1995) "Yogyakarta Sheet Geological Map scale 1:100.000." Bandung: Geological Research and Development Center.

Soeria-Atmadja, R., Maury, R. C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M. dan Priadi, B. (1994) "Tertiary magmatic belts in Java," *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 9(1–2), hal. 13–27. doi: 10.1016/0743-9547(94)90062-0.

Sudarmono (1986) *Penyelidikan Struktur Batuan Bawah Permukaan G. Berdjo dan G. Butak dengan Metode Gaya Berat*. Universitas Gadjah Mada.

Sujono (2018) *Pemodelan 3D Struktur Bawah Permukaan Gunung Berjo dan Gunung Butak, Kecamatan Godean, Kab. Sleman berdasarkan Metode Gravitasi*. Universitas Gadjah Mada.

Verdiansyah, O. (2016a) "Perubahan Unsur Geokimia Batuan Hasil Alterasi Hidrotermal di Gunung Wungkal, Godean, Yogyakarta," *Kurvatek*, 1(1), hal. 59–67.

Verdiansyah, O. (2016b) "Petrogenesis Batuan Beku di Daerah Godean," in *Prosiding Seminar Nasional XI "Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi"*. Yogyakarta: STTNAS, hal. 1–7.

- Verdiansyah, O. (2017) "Petrogenesis Batuan Intrusif Gunung Berjo - Butak, Daerah Godean Berdasarkan Data," *Kurvatek*, 02(1, April 2017), hal. 55–64.
- Verdiansyah, O. dan Hartono, H. G. (2017) "Alterasi Hidrotermal Dan Mineralisasi Logam Berharga Di Cekungan Yogyakarta: Sebuah Pemikiran dari Kehadiran Sistem Hidrotermal daerah Godean," in *Seminar Nasional Fakultas Teknik Geologi Ke-3*. Bandung: Universitas Padjadjaran, hal. 2.16.
- Wilson, B. M. (2007) *Igneous petrogenesis a global tectonic approach*. Springer Science & Business Media.