

APLIKASI METODE *mdPSAR* UNTUK PEMODELAN GEOLOGI DAN ALTERASI DAERAH PONGKOR

Dandhi Arvianto¹, Asep Saepuloh²

1. PT. Aneka Tambang, Jl. TB Simatupang 1, Jakarta Selatan, Indonesia.
2. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung. (ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia.

Sari – Berkembangnya teknologi-teknologi di bidang eksplorasi mineral logam, menjadikan kegiatan eksplorasi menjadi lebih efektif dan efisien, salah satunya adalah dengan adanya teknologi penginderaan jauh aktif. Teknologi ini bisa memudahkan proses analisis potensi mineral suatu daerah dalam waktu yang singkat dengan cakupan area yang luas. ALOS PALSAR (*Advance Land Observing Satellite Phased Array Type L-Band Synthetic Aperture Radar*) merupakan citra satelit dengan sensor aktif yang mampu mengeluarkan saluran-L dengan panjang gelombang 23.6 cm. Kemampuan saluran-L yang mampu menembus tutupan kanopi vegetasi sangat bermanfaat untuk menganalisis permukaan bumi yang berkaitan dengan karakteristik fisis di permukaan terutama yang berkaitan dengan kemagnetan dan kelistrikan. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan citra ALOS PALSAR 1.1 FBD *ascending* dengan area liputan meliputi Desa Bantar Karet, Ciguha dan Malasari, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor. Pada penelitian ini digunakan dua tipe data yaitu data pengamatan langsung lapangan dan data pengamatan citra. Pada pengamatan citra dilakukan beberapa tahapan yaitu pemilihan citra, koreksi citra, pemodelan 2D, dan analisis citra komposit berdasarkan hasil pengamatan lapangan dalam pemodelan 2D. Setelah dilakukan koreksi radiometrik dan geometrik serta proses *multilooking*, kemudian dilanjutkan dengan proses analisis nilai hamburan balik hasil interaksi material di permukaan bumi dengan gelombang elektromagnetik yang berasal dari satelit ALOS PALSAR dengan metode *mdPSAR* (*magnetic dielectric from Polarimetric Synthetic Aperture Radar*). Analisis ini bertujuan untuk memetakan model 2D *magnetic permeability* dan *dielectric permittivity*, dari tubuh vein, litologi dan alterasi dari sistem mineralisasi *epithermal low sulphidation system*. Dari hasil penelitian didapatkan tubuh vein berada pada nilai *dielectric permittivity* tinggi yang diapit nilai *dielectric permittivity* rendah dan *magnetic permeability* rendah yang berpola Barat Laut-Tenggara mengikuti arah mineralisasi Pongkor. Zona alterasi berada pada nilai kekasaran permukaan yang rendah dengan nilai *magnetic permeability* tinggi. Lava andesit berada pada nilai tinggi untuk parameter kekasaran permukaan, *magnetic permeability*, dan *dielectric permittivity*. Sedangkan batuan vulkanik seperti tuf, lapili tuf, dan breksi tuf berada pada kekasaran permukaan tinggi dengan *magnetic permeability* dan *dielectric permittivity* yang rendah.

Kata Kunci: *mdPSAR*, Pongkor, *magnetic permeability*, *dielectric permittivity*.

Abstract – *The development of technologies in mineral exploration makes exploration activities more effective and efficient, one of them is the active remote sensing technology. This technology could simplify the analysis of mineral potential at an area in a short time with a wide area coverage. The ALOS PALSAR (Advance Land Observing Satellite Phased Array Type L-Band Synthetic Aperture Radar) is a satellite image with an active sensor capable of emitting L-band frequency with a wavelength of 23.6 cm. The ability of L-band to penetrate vegetation canopy superior for analyzing the earth's surfaces related to their physical characteristics, especially those related to magnetism and electricity. This research was conducted using the ALOS PALSAR 1.1 FBD ascending image with the coverage area covering Bantar Karet, Ciguha Malasari Village, Nanggung Districts, Bogor Regency. In this study, two types of data were used: direct field observation and indirect image observation data. In the image observation, the processing steps were carried out, including image selection, image correction, 2-Dimension modelling, and composite image analysis according to the 2-Dimension modelling of field observation results. Following radiometric/geometric corrections and multilooking process the analysis of the backscattering intensity originated from the interaction of material on the earth's surface with electromagnetic waves from the ALOS PALSAR satellite using the mdPSAR method (magnetic dielectric from Polarimetric Synthetic Aperture Radar) has been applied. The analysis was aimed to produce the 2D magnetic permeability and dielectric permittivity models of the vein body, lithology, and alteration of the mineralization epithermal low sulphidation system. Accordingly, we found that the vein body was at a high dielectric permittivity values confined by low dielectric permittivity and low magnetic permeability at Northwest-Southeast concordance to the direction of the Pongkor mineralization trend. The alteration zone located at low*

surface roughness values with high magnetic permeability values. The andesite lava has high values for surface roughness, magnetic permeability, and high dielectric permittivity. But, for volcanic rocks such as tuff, tuff lapilli, and tuff breccia located at high surface roughness with low magnetic permeability and dielectric permittivity.

Key words: *mdPSAR, Pongkor, magnetic permeability, dielectric permittivity.*

1. Pendahuluan

Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian mengenai Pongkor dengan pendekatan metode yang berbeda. Penelitian analisis kelurusan serta pengaruhnya terhadap mineralisasi dilakukan menggunakan Citra Landsat, dari penelitian tersebut didapatkan daerah mineralisasi Timur Kubah Bayah terjadi karena perpotongan struktur berarah Barat Laut-Tenggara (NW-SE) dan Timur Laut-Barat Daya (NE-SW) (Sugeng, 2005). Sedangkan peneliti lain, Basuki dkk. (1992) menggunakan tekstur *vein*, mineralogi dan inklusi fluida untuk memodelkan tubuh mineralisasi termasuk jenis mineralisasi, dari penelitian ini didapatkan tubuh mineralisasi berarah N 330⁰ E (NW-SE) dengan *dipping* bervariasi dari 60⁰-80⁰ yang di dominasi mineral Kuarsa, Karbonat dan Adularia dengan tekstur *colloform* dan *cockade*, serta temperatur pembentukan 230⁰C dan salinitas 1eq.wt. % NaCl yang merupakan penciri sistem mineralisasi *epithermal low sulfidation*.

Dalam penelitian ini, peneliti mencoba melakukan pendekatan berbeda dengan menggunakan sifat kelistrikan dan kemagnetan yang dihasilkan dari proses analisis Citra ALOS PALSAR yang divalidasi dengan pembuktian lapangan, yang harapannya dapat membedakan sifat fisis material dipermukaan bumi berdasarkan sifat kelistrikan dan kemagnetan.

Penginderaan jauh merupakan metode pengamatan objek dari jarak jauh yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan observasi area yang luas dalam waktu yang singkat. Penggunaan teknologi ini akan sangat membantu pada tahap eksplorasi awal (*desktop study*) untuk penentuan daerah yang

menarik (*Region of Interest*) berdasarkan sifat fisis material di permukaan bumi.

Mineralisasi emas yang umumnya dijumpai pada morfologi bergelombang hingga curam, serta tertutup vegetasi lebat menjadikan tantangan dan kendala tersendiri dalam melakukan kegiatan eksplorasi, sehingga diperlukan suatu metode yang dapat mengenali perbedaan sifat fisis permukaan bumi dari jarak jauh dalam waktu yang singkat dan akurat.

Tujuan dari penelitian ini untuk pemodelan geologi dan alterasi Pongkor mengacu nilai kekasaran permukaan, *magnetic permeability* dan *dielectric permittivity* tubuh vein, litologi dan alterasi, yang divalidasi data lapangan pada sistem mineralisasi emas Pongkor.

Daerah penelitian berada di area Wilayah IUP OP (Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi) UBPE Pongkor, PT Aneka Tambang Tbk yang secara administrasi berada di Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. (Gambar 1).

Secara regional daerah penelitian termasuk dalam sayap timur dari Kubah Bayah, yang secara fisiografi berada di antara perbatasan Zona Bogor dengan Zona Antiklinorium Bogor (van Bemmelen, 1970), atau termasuk ke dalam Blok Banten Jalur Erupsi Tengah (Martodjojo, 1984). Martodjojo (1984) berpendapat bahwa dari Utara hingga ke Selatan jalur Kubah Bayah secara fisiografis dapat dibagi menjadi tiga zona yakni Jalur Sedimen Selatan (Zona A), Jalur Erupsi Tengah (Zona B) dan Jalur Sedimentasi Utara (Zona C), dengan urutan tua ke muda yaitu Formasi Bayah, Formasi Citarucup, Formasi Cijengkol, Formasi Andesit Tua, Formasi Citarate, Formasi Cimapag, Formasi Sarewah,

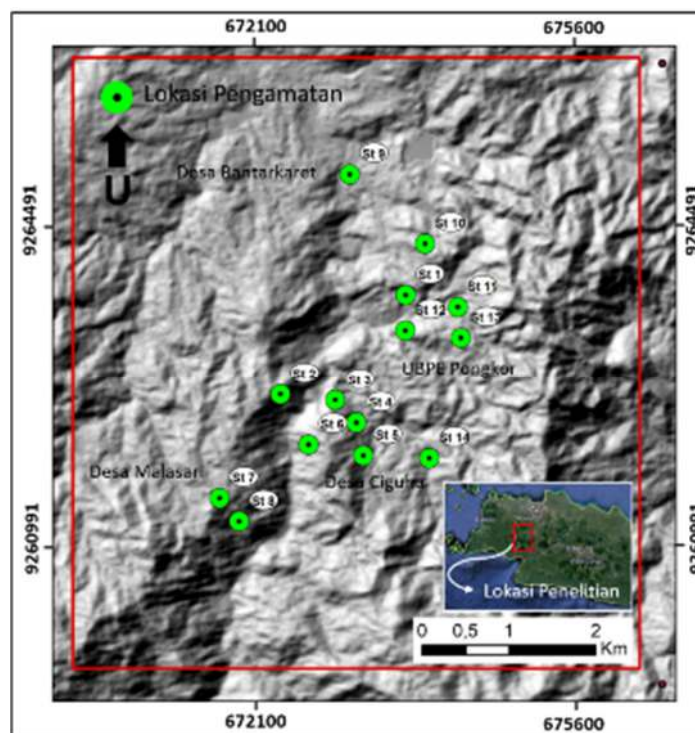
Formasi Badui, Formasi Cimaceuri, Intrusi dan Ekstrusi.

Stratigrafi daerah penelitian tersusun atas batuan tersier dan kuartar dari penelitian yang dilakukan Basuki dkk. (1992), stratigrafi Wilayah Pongkor, tersusun atas produk vulkanik seperti tuf, lapili tuf, breksi tuf dan andesit berumur tersier yang disetarakan dengan Formasi Cimapag dan merupakan *host rock* dari mineralisasi *epithermal low sulphidation* (Gambar 2).

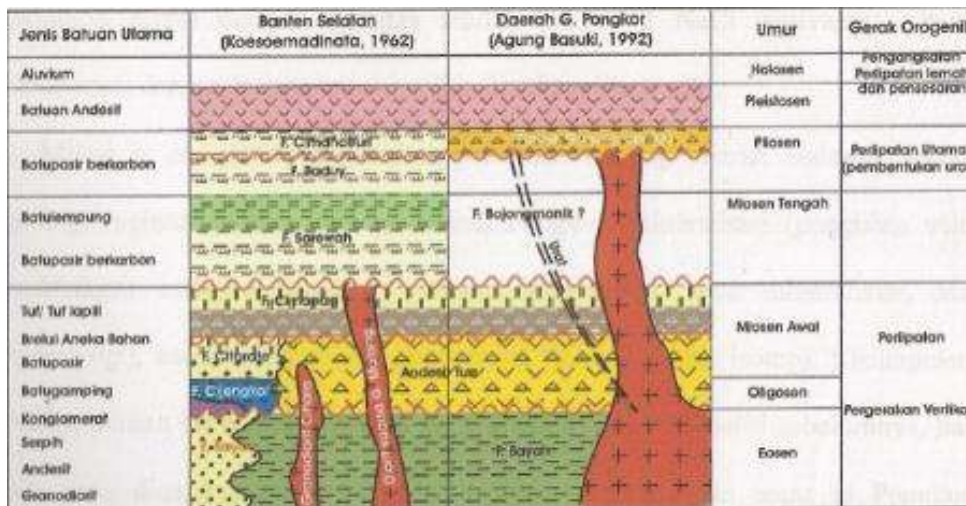
Hadirnya mineralisasi emas di daerah penelitian, tidak bisa dilepaskan dari Posisi Pongkor yang berada dalam sistem vulkanik dan tektonik Eurasia-Australia, aktivitas tektonik ini menghasilkan subduksi, busur

gunung api dan sesar mendatar berpasangan (*conjugate*) di bagian selatan Jawa, mineralisasi yang terjadi di Pongkor umumnya ditemukan pada tubuh *vein* dengan arah N 330⁰ W (Barat Laut-Tenggara) serta kemiringan 60⁰ hingga 85⁰. Setidaknya ada 4 jalur *vein* utama yaitu Ciurug, Kubang Cicau, Ciguha dan Pasir Jawa, keempat jalur vein ini saling sejajar dan berada pada batuan berumur tersier (Basuki dkk., 1994).

Alterasi dijumpai disekitar tubuh *vein* berupa alterasi argilik (illit, smektit), propilitik (klorit, epidot, karbonat), silisifikasi (Basuki dkk., 1994) dan di permukaan (*vein* Kubang Cicau dan *vein* Ciguha) terjadi pengayaan *supergene* yang dicirikan kelimpahan mineral alterasi illit dan kaolinit (Milesi dkk., 1999).



Gambar 1. Area penelitian ditunjukkan oleh peta berbayang dari DEMNAS 9 m dibatasi kotak berwarna merah, yang meliputi Desa Bantarkaret, Desa Ciguha dan Desa Malasari.



Gambar 2. Korelasi stratigrafi Pongkor menunjukkan periode mineralisasi terjadi pada pliosen yang terjadi pada batuan vulkanik yang disepadankan dengan Formasi Cimapag (Basuki dkk., 1994).

2. Data dan Metodologi

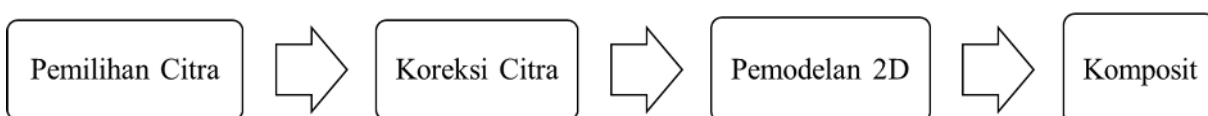
Pada penelitian ini dilakukan dua metode pengamatan, yaitu pengamatan langsung di lapangan dan pengamatan citra satelit. Pengamatan secara langsung dilakukan dengan melakukan pengamatan secara visual terhadap singkapan alterasi dan litologi yang ditemukan di sekitar tubuh *vein* (Tabel 1) di daerah penelitian. Pada pengamatan secara langsung, dilakukan perekaman data berupa pengambilan titik koordinat lokasi singkapan, pemerian deskripsi singkapan, pengambilan contoh dan pemotoan singkapan.

Sedangkan Pengamatan citra satelit dilakukan menggunakan citra ALOS PALSAR dengan urutan tahapan proses yaitu: pemilihan liputan citra, koreksi citra, pemodelan 2D dan komposit data pengamatan langsung dengan hasil pemodelan (Gambar 3).

Pemilihan citra dilakukan untuk memilih liputan citra yang sesuai dengan kebutuhan,

pada penelitian ini digunakan liputan citra hamburan balik *dual polarization* (HH-HV) yang tanggal liputannya telah disesuaikan dengan kondisi musim kering di daerah penelitian, pemilihan liputan citra pada musim kering atau curah hujan rendah bertujuan untuk mendapatkan nilai kelistrikan sebenarnya tanpa terpengaruh kondisi permukaan bumi yang jenuh air akibat infiltrasi air hujan (Tabel 1).

Untuk mendapatkan nilai *magnetic permeability* dan *dielectric permittivity* didapatkan dari nilai hamburan balik HH melalui persamaan *Small Perturbation Model of Backscattering* (SPMB), sedangkan nilai hamburan balik HV digunakan untuk analisis kekasaran permukaan. Pemilihan citra polarisasi sejajar (HH) dilakukan karena kemampuan dalam membedakan variasi objek di permukaan lebih tinggi dibandingkan polarisasi silang (HV) dan sangat efektif



Gambar 3. Proses Analisis Citra.

untuk mengestimasi nilai reflektivitas objek permukaan seperti nilai *magnetic permeability* dan *dielectric permittivity*. Sedangkan polarisasi silang (HV) memiliki kemampuan pembedaan objek permukaan secara geometri seperti kekasaran permukaan (Saepuloh, 2019).

Semua citra satelit ALOS PALSAR yang digunakan dalam penelitian ini dapat diakses dan diunduh secara gratis melalui situs <https://search.asf.alaska.edu/> dengan tahapan pemilihan pada kolom menu sebagai berikut; search type (*geographic*)-data set (ALOS PALSAR)- *date filters* (tanggal liputan yang sudah disesuaikan dengan data curah hujan)-*polarization* (HH+HV)-*direction* (*ascending*).

Proses koreksi citra dilakukan menggunakan *software* ENVI, tahapannya terdiri dari 3 tahap koreksi yaitu koreksi *multilooking*, koreksi radiometrik dan koreksi geometrik, koreksi *multilooking* merupakan proses koreksi untuk menghasilkan citra yang lebih fokus dan tajam dengan resolusi nominal, Koreksi radiometrik untuk merubah *digital number* pada *pixel* yang masih berupa nilai tingkatan intensitas keabuan (gelap-terang) menjadi nilai hamburan balik (intensitas pantulan) serta koreksi geometrik untuk menghasilkan citra yang sesuai arah utara sebenarnya dan koordinat geografis sebenarnya, serta mengoreksi bentuk *terrain*, pada proses koreksi geometrik ini digunakan data DEMNAS untuk mengoreksi posisi spasial dan bentuk *terrain*.

Tabel 1. Lokasi pengamatan lapangan.

No	Lokasi	X	Y	Keterangan
1	St 1	673.751	9.263.739	Silisifikasi
2	St 2	672.378	9.262.654	Argilik
3	St 3	672.978	9.262.587	Argilik
4	St 4	673.209	9.262.338	Argilik
5	St 5	673.281	9.261.982	Argilik
6	St 6	672.683	9.262.102	Argilik
7	St 7	671.711	9.261.523	Argilik
8	St 8	671.927	9.261.268	Argilik
9	St 9	673.143	9.265.060	Breksi Tuf
10	St 10	673.965	9.264.300	Lava Andesit
11	St 11	674.319	9.263.608	Tuf
12	St 12	673.747	9.263.353	Andesit
13	St 13	674.353	9.263.269	Lapili Tuf
14	St 14	674.001	9.261.950	Tuf

Tabel 2. Daftar *scene* yang digunakan dalam penelitian.

No	Daftar Scene	Tanggal Liputan	Arah Orbit	Curah Hujan (mm)
1	HH-ALPSRP083667040	20 Agustus 2008	Ascending	3.74
2	HV-ALPSRP083667040	20 Agustus 2008	Ascending	3.74
3	HH-ALPSRP130637050	7 Juli 2008	Ascending	0.09
4	HV-ALPSRP130637050	7 Juli 2008	Ascending	0.09

Setelah dilakukan koreksi, maka proses selanjutnya adalah pembuatan model 2D *Magnetic Permeability* dan *Dielectric Permittivity*, pembuatan model 2D menggunakan dua parameter nilai fisis ini yang divalidasi data lapangan bertujuan untuk dapat mendeliniasi variasi litologi, sebaran *vein* dan sebaran alterasi di permukaan.

Pada tahapan ini digunakan analisis nilai hamburan balik yang diturunkan dari persamaan hamburan balik yang diterima oleh *receiver satellite* dengan persamaan sebagai berikut (Saepuloh, 2019):

$$P_R = P_T(\sigma^o A) \left[\frac{G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \right] \quad (1)$$

dimana:

- P_T = Energi yang ditransmisikan
- σ^o = Konstanta hamburan balik
- A = Resolusi radar (area)
- G = Gain antenna
- λ = Panjang gelombang

$$\sigma_{HH}^o = \frac{(4k^4 h_0^2 \cos^4 \theta_i) [(\mu_r - 1) \{(\epsilon_r \mu_r - \sin^2 \theta_i) + \mu_r \sin^2 \theta_i\} + \mu_r^2 (\epsilon_r - 1)]^2 W(x, y)}{\left[\pi (\mu_r \cos \theta_i + \sqrt{\epsilon_r \mu_r - \sin^2 \theta_i})^4 \right]} \quad (3)$$

Untuk mempermudah penghitungan nilai *relative dielectric permittivity* (ϵ_r) dan *relative magnetic permeability* (μ_r), maka

$$\epsilon_r = \frac{\cos^2 \theta_i \sqrt{\sigma_{HH}^o \pi}}{(8k^4 h_0^2 \cos^4 \theta_i) \omega(x, y)} + \frac{\cos^2 \theta_i}{2} \quad (4)$$

$$\mu_r = \frac{\left((4k^4 h_0^2 \cos^4 \theta_i) \omega(x, y) (\epsilon_r + 2 \sin^2 \theta_i) + \epsilon_r \sqrt{\sigma_{HH}^o \pi} \right)^2}{4 \epsilon_r \sigma_{HH}^o \pi \cos^2 \theta_i} + \frac{\sigma_{HH}^o \pi 4 \cos^2 \theta_i \sin^2 \theta_i}{4 \epsilon_r \sigma_{HH}^o \pi \cos^2 \theta_i} \quad (5)$$

R = Jarak antenna ke target

Dari persamaan diatas kemudian diturunkan nilai konstanta hamburan balik, yang berkaitan dengan sifat fisis material dipermukaan bumi dengan persamaan sebagai berikut (Saepuloh, 2019):

$$\sigma^o = (4k^4 h_0^2 \cos^4 \theta_i) |\alpha|^2 \omega \quad (2)$$

dimana:

- σ^o = Konstanta hamburan balik
- h_0 = kekasaran permukaan
- θ_i = Sudut datang lokal
- α = Parameter kelistrikan dan kemagnetan

Untuk parameter kelistrikan dan kemagnetan didapatkan mengacu pada persamaan *Small Perturbation Model of Backscattering* (SPMB) dengan persamaan sebagai berikut (Fung dan Chen, 2010), (Saepuloh dkk., 2020):

penulis melakukan modifikasi persamaan (3) sebagai berikut:

dimana:

σ_{HH}^0 = Koefisien hamburan balik polarisasi (HH)

k = Konstanta bialangan gelombang ($2\pi/\lambda$)

h_0 = Kekasaran permukaan (cm)

θ_i = Sudut datang lokal ($^\circ$)

μ_r = *Magnetic permeability*

ϵ_r = *Dielectric permittivity*

Nilai kekasaran permukaan mengacu pada persamaan Campbell dan Sheppard (1996) yang dimodifikasi oleh (Saepuluh dkk., 2015), dengan persamaan sebagai berikut:

$$h_0 = \lambda \sqrt{-\frac{1}{60} \ln \left(1 - \frac{10^{0.1\sigma_{HV}^0}}{0.4 \cos \theta_i} \right)} \quad (6)$$

dimana:

σ_{HV}^0 = Koefisien hamburan balik (HV)

λ = Panjang gelombang

h_0 = Kekasaran permukaan (cm)

θ_i = Sudut datang lokal ($^\circ$)

Sedangkan nilai spektral permukaan mengacu pada persamaan Fung dan Chen (2010) dengan persamaan sebagai berikut:

$$W(x, y) = \frac{2\pi l^2}{[1+(2kl \sin \theta_i)^2]^{1.5}} \quad (7)$$

dimana:

W = Koefisien hamburan balik (HV)

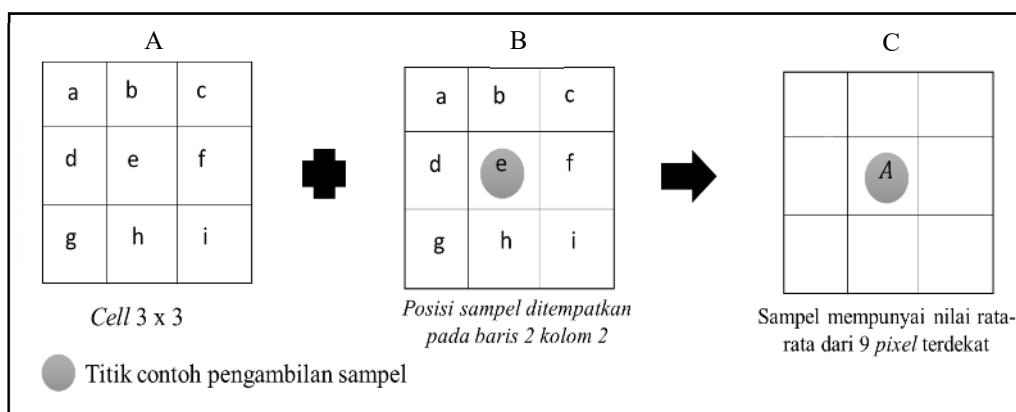
l = Panjang gelombang

h_0 = Kekasaran permukaan (cm)

θ_i = Sudut datang lokal ($^\circ$)

k = Konstanta bilangan gelombang ($2\pi/\lambda$)

Setelah dilakukan pemodelan 2D, maka proses selanjutnya adalah melakukan data komposit hasil pengamatan lapangan dengan hasil pemodelan 2D (kekasaran permukaan, *magnetic permeability* dan *dielectric permittivity*), dengan ilustrasi sebagai berikut (Gambar 4):



Gambar 4. Proses komposit data pengamatan lapangan dengan data citra.

Pada gambar 4A merupakan *pixel* dengan ukuran *cell 3 x 3* yang di dalamnya terdapat *digital number* yang memiliki nilai informasi tertentu (hamburan balik, kekasaran permukaan, spektral permukaan, *dielectric permittivity*, *magnetic permeability*). Posisi spasial titik pengamatan lapangan selanjutnya ditempatkan dalam *pixel cell 3 x 3* dengan posisi berada pada baris 2 kolom 2 (gambar 4b). Selanjutnya dilakukan perhitungan rata-rata dengan melibatkan sembilan *pixel* terdekat (a,b,c,d,e,f,g,h,i), sehingga

didapatkan nilai rata-rata baru (hamburan balik, kekasaran permukaan, spektral permukaan, *dielectric permittivity*, *magnetic permeability*) untuk setiap titik pengamatan lapangan (gambar 4c), tujuan dari proses ini adalah untuk meminimalkan kemungkinan kesalahan alat dari GPS ketika merekam posisi spasial lokasi pengamatan lapangan, sehingga hasil dari tahap ini didapatkan nilai rata-rata yang mewakili posisi spasial sebenarnya.

3. Hasil Penelitian

Dari hasil pengamatan lapangan, daerah penelitian tersusun atas batuan vulkanik antara lain, tuf, lapili tuf, breksi tuf dan lava andesit, dan di sekitar tubuh *vein* ditemukan alterasi pada bidang kontak antara tubuh *vein* dengan bantuan sampung.

Tuf umumnya ditemukan berwarna putih keruh-hingga berwarna abu-abu, berbutir halus, ditemukan *veinlet* oksida besi, umumnya dijumpai pada puncak morfologi yang bergelombang.

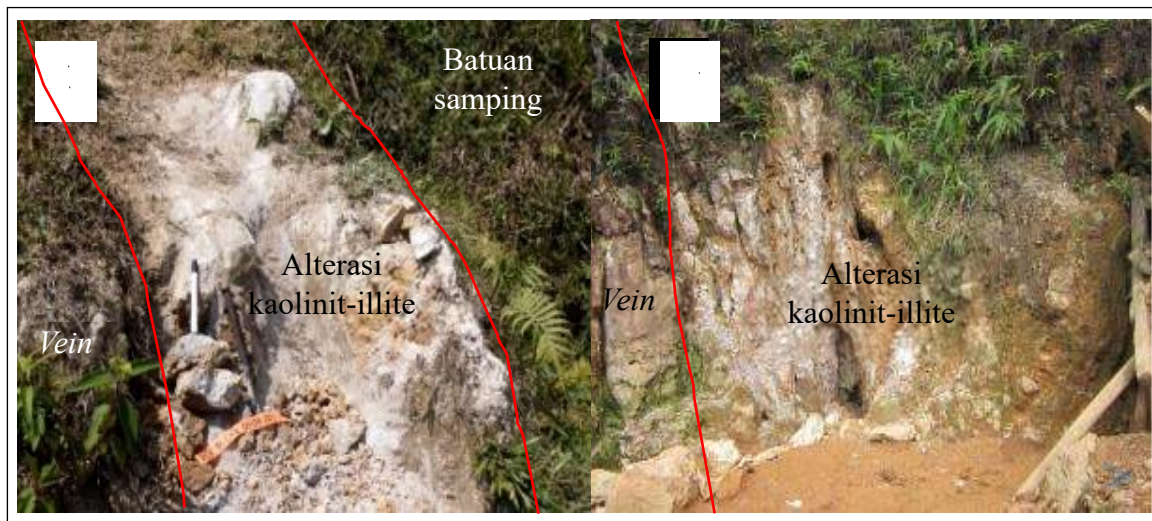
Lapili tuf berwarna putih-abu, *matrix-clast supported*, polimik, ukuran butir (0.2 - >3.2), *clast* terdiri dari, tuf, gelas, kuarsa, lempung, umumnya dijumpai dibagian bawah dari tuf.

Breksi tuf berwarna abu-abu, *matrix-clast supported*, polimik, berukuran butir *granule-pebble* (2 - >6 cm), *clast* membulat hingga menyudut terdiri dari, tuf, *juvenil clast*, fragmen kuarsa, dan

setempat batu lempung. *Matrix* terdiri dari plagioklas, smektit dan silika.

Lava andesit bertekstur berukuran halus-sedang, 5 mm, porfiritik, berkomposisi fenokris plagioklas sebagian retak diisi/berinklusi karbonat kalsit, klorit, dan mineral opak pirit; fenokris *relic mafic* diisi klorit, mineral opak pirit dan kuarsa ditemukan setempat mengisi rekahan.

Alterasi yang umum dijumpai berupa alterasi argilik dan setempat ditemukan silisifikasi yang luas. Alterasi argilik dominan berwarna putih hingga putih keabuan, secara pengamatan fisis jenis mineral alterasi yang hadir berupa kaolinit-illit, kaolinit-illit-smektit dan smektit-illit yang merupakan penciri sistem mineralisasi emas *epithermal low sulphidation*. alterasi dijumpai pada batas kontak antara *vein* dan batuan sampung. Breksi tuf, andesit, lapili tuf dan breksi tuf merupakan batuan sampung yang umum dijumpai.



Gambar 5. Foto alterasi argilik Cikoret (A), alterasi Bukit Kapur (B) alterasi yang dijumpai berupa berupa kaolinit-illit yang ditemukan pada bidang kontak dengan vein.



. **Gambar 6.** Foto lapili tuf (A), tuf (B), lava andesit (C), breksi tuf (D) merupakan batuan vulkanik yang disepadankan dengan Formasi Cimapag.

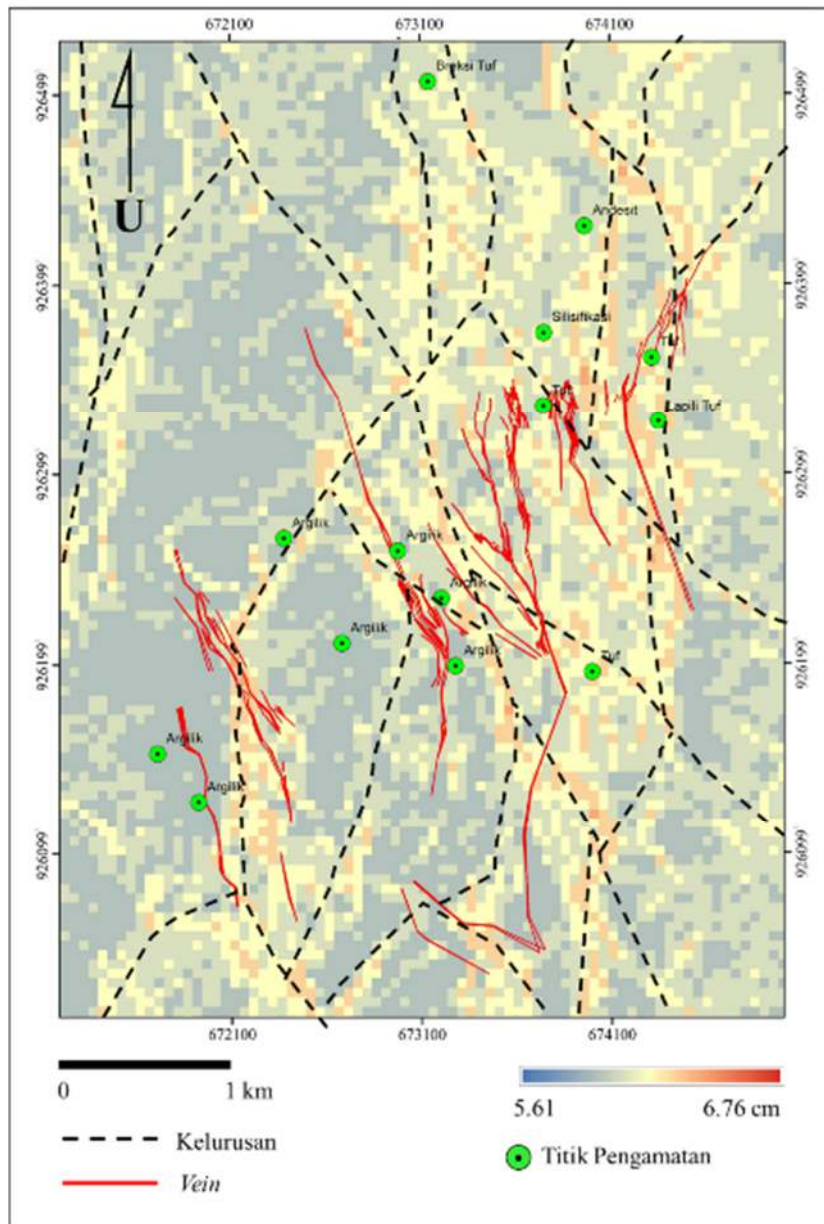
Model kekasaran permukaan merupakan gambaran dari bentuk morfologi permukaan yang menunjukkan tingkat undulasi permukaan, yang kaitannya erat dengan kombinasi sifat keras dan lunak material di permukaan dan kemiringan lereng, dari model kekasaran permukaan yang dikombinasikan dengan hasil pengamatan lapangan (Gambar 7) didapatkan alterasi argilik yang sifat fisisnya lunak (ukuran pasir-lempung) tersebar pada area yang berwarna abu-abu yang menunjukkan bentuk morfologi yang tidak kompleks (relatif datar). Yang menyebar di bagian tengah dan barat daerah penelitian membentuk pola arah Timur Laut – Barat Daya (NE-SW), dan di tengah daerah penelitian. Sedangkan alterasi silisifikasi yang sifatnya keras dengan kandungan kuarsa yang banyak berada pada area yang kekasaran permukaannya tinggi, namun dengan sebaran terbatas dan tidak membentuk pola.

Litologi seperti lava andesit, tuf, lapili tuf dan breksi tuf berada pada area yang berwarna kuning dan merah dengan nilai kekasaran permukaan tinggi, berada pada bagian utara dan selatan daerah penelitian, dan pada jalur tubuh *vein* diapit oleh nilai kekasaran permukaan yang rendah. Sedangkan area

yang berwarna merah menunjukkan terjadinya perubahan secara tiba-tiba dari morfologi landai ke curam, yang diinterpretasikan adanya sesar dengan arah gerak normal (*dip-slip*) atau normal-datar (*strike-slip*) yang berarah Barat Laut Tenggara (NW-SE) searah dengan tren arah sistem mineralisasi dan tubuh *vein* Pongkor (Milesi dkk., 1999)(Gambar 7).

Dari model *magnetic permeability* (Gambar 8) yang dikomposit data pengamatan lapangan, didapatkan sebaran alterasi argilik berada pada nilai *magnetic permeability* sedang hingga tinggi, sedangkan silisifikasi berada pada nilai *magnetic permeability* rendah.

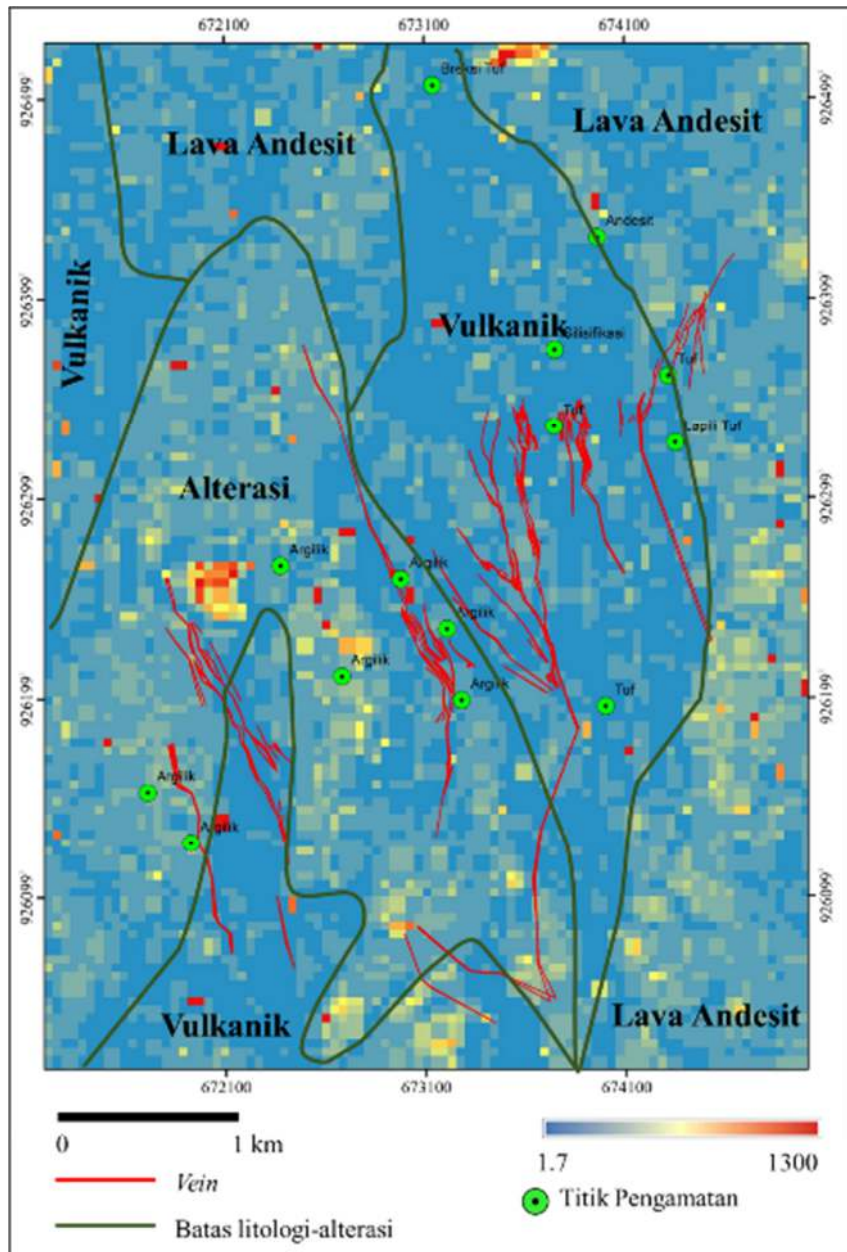
Untuk sebaran litologi, setelah dikomposit dengan model *magnetic permeability*, terdapat batas yang jelas antara lava andesit dengan batuan vulkanik (tuf, lapili tuf, breksi tuf). Lava andesit memiliki nilai *magnetic permeability* tinggi, sedangkan batuan vulkanik berada pada nilai *magnetic permeability* rendah, sehingga sebaran lava andesit dapat didelineasi sebarannya dari bagian utara hingga timur daerah penelitian, sedangkan sebaran batuan vulkanik tersebar dari bagian tengah ke utara daerah penelitian.



Gambar 7. Peta interpretasi kelurusan dari hasil analisis kekasaran permukaan menggunakan metode *mdPSAR* yang dikomposit dengan titik pengamatan dan sebaran *vein*.

Dari model dielectric permittivity didapatkan alterasi argilik berada pada nilai dielectric permittivity rendah, dan untuk jenis litologi, tuf, lapili tuf dan breksi tuf mempunyai nilai dielectric permittivity tinggi sedangkan lava andesit mempunyai nilai dielectric permittivity rendah (Gambar 9).

Jalur vein pada model dielectric permittivity berada pada nilai dielectric permittivity rendah yang diapit nilai dielectric permittivity tinggi, pola ini berkorelasi dengan hasil model kekasaran permukaan dan magnetic permeability yang memperlihatkan pola searah jalur mineralisasi Pongkor yang berarah Barat Laut-Tenggara (NW-SE).



Gambar 8. Data geologi permukaan berupa batas litologi, alterasi, jalur *vein* dan titik pengamatan dikomposit pada model 2D *Magnetic permeability* hasil mdPSAR.

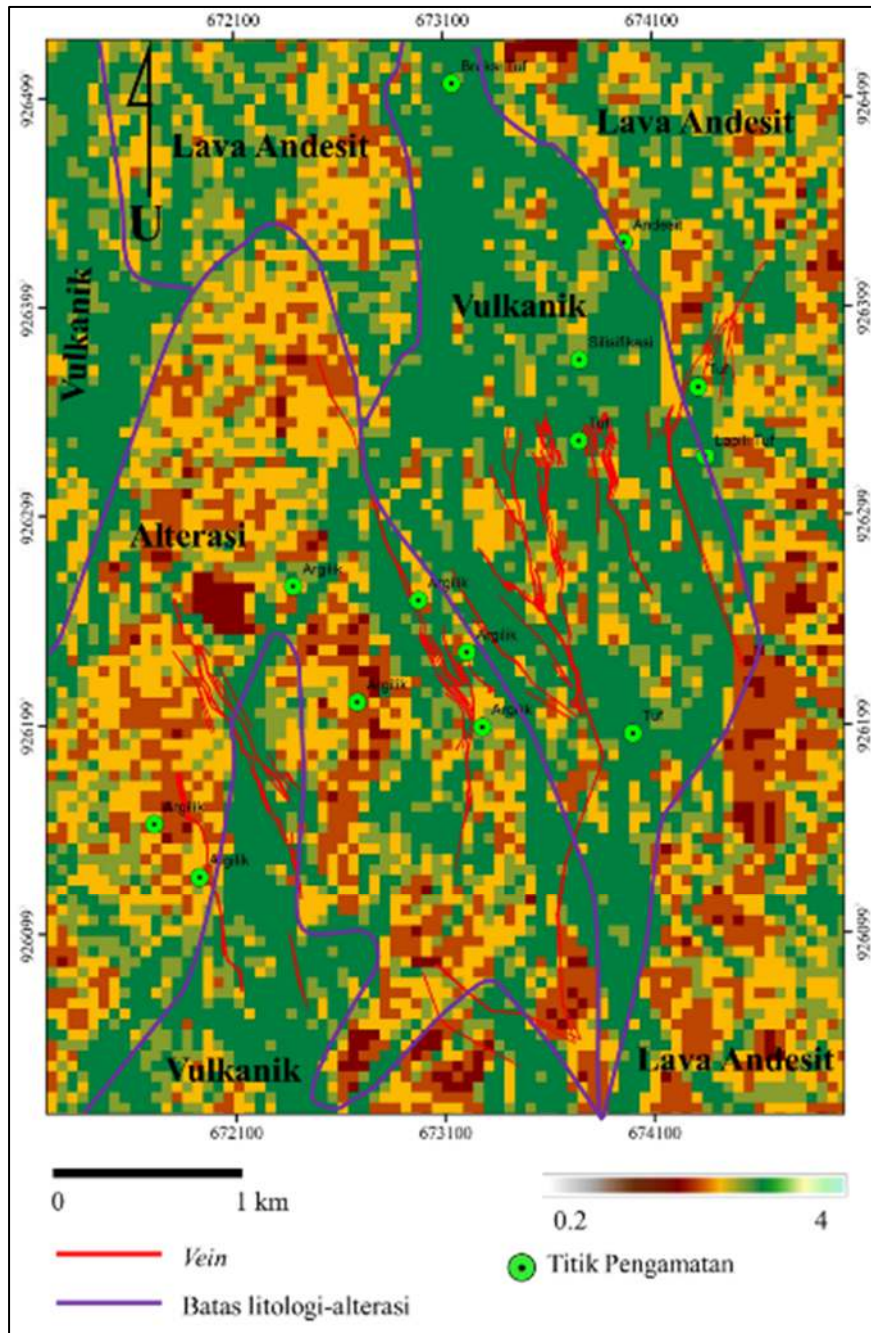
4. Diskusi

Geologi daerah Pongkor tersusun atas batuan vulkanik seperti tuf, lapili tuf, breksi tuf dan lava andesit, yang ternyata mempunyai sifat fisik yang berbeda terutama berkaitan dengan sifat kelistrikan dan kemagnetan. Melalui metode *mdPSAR* sifat fisis kelistrikan dan kemagnetan didapatkan dari persamaan *Small Perturbation Model of Backscattering* (SPMB) menggunakan nilai hamburan balik HH, dan kekasaran permukaan didapatkan dari hamburan balik HV.

Dari pengamatan lapangan yang dilakukan didapatkan Pongkor secara geologi tersusun atas batuan vulkanik berupa litologi tuf, lapili tuf, breksi tuf dan andesit, variasi litologi ini merupakan *host rock* mineralisasi yang dicirikan dengan hadirnya alterasi pada bagian kontak dengan tubuh *vein*. Dengan menggunakan *mdPSAR* yang dikombinasikan dengan titik referensi pengamatan lapangan didapatkan sebaran batuan, alterasi serta kelurusan, hanya saja ada keterbatasan dalam

identifikasi litologi secara detail, sehingga perlu dilakukan pengamatan dari beberapa lokasi serta analisis statistik untuk didapatkan nilai kemagnetan dan kelistrikan dari jenis jenis litologi tertentu.

Untuk analisis kelurusan, pemodelan kekasaran permukaan kelurusan dicirikan dengan perubahan yang tiba-tiba dari nilai kekasaran permukaan rendah ke nilai kekasaran permukaan tinggi.



Gambar 9. Data geologi permukaan berupa batas litologi, alterasi, struktur geologi, dan titik pengamatan dikomposit pada model 2D *Dielectric permittivity* hasil mdPSAR.

Secara litologi, andesit memiliki nilai *high magnetic permeability* yang lebih tinggi dibandingkan dengan tuf, breksi tuf dan lapili tuf, kemungkinan tingginya nilai *magnetic permeability* pada litologi andesit disebabkan terdapatnya mineral yang mengandung Fe. Dari penelitian yang dilakukan Marcoux dkk. (2019), terjadi proses *supergene enrichment* pada Vein Pongkor, sehingga pada batas kontak dengan *water table* ditemukan pengayaan logam dalam bentuk campuran kuarsa, lempung (kaolinit) dan dalam bentuk *amorf* mangan, peristiwa inilah yang menyebabkan alterasi argilik mempunyai *high magnetic permeability*, dan jika dibandingkan dengan alterasi silisifikasi, nilai *magnetic permeability* silisifikasi lebih rendah dibandingkan alterasi argilik, perbedaan ini kemungkinan disebabkan kehadiran silika yang mempunyai sifat non-magnetik.

Pola sebaran vein di daerah penelitian berada pada nilai *magnetic permeability* rendah yang dibatasi oleh nilai *magnetic permeability tinggi*, yang arahnya searah dengan jalur tubuh vein Pongkor Barat Laut-Tenggara (NW-SE) dan berkorelasi dengan nilai kekasaran permukaan yang tinggi.

Litologi seperti breksi tuf, lapili tuf dan andesit memiliki nilai *dielectric permittivity* yang tinggi dibandingkan andesit, perbedaan nilai ini kemungkinan disebabkan komposisi produk vulkanik yang heterogen, dibandingkan andesit yang terdapat mineral Fe yang konduktif. Sedangkan untuk alterasi, alterasi argilik mempunyai nilai *dielectric permittivity* rendah dibandingkan silisifikasi, hal ini kemungkinan disebabkan kandungan mineral silika pada alterasi silisifikasi yang bersifat dielektrik sehingga mempunyai nilai *dielectric permittivity* yang tinggi. Hasil penelitian ini senada dengan penelitian yang dilakukan Junian dkk. (2021), di mana pada batuan yang teralterasi mempunyai nilai dielektrik rendah dan dielektrik tinggi pada

tubuh kuarsa, dan terdapatnya mineral logam pada batuan akan menyebabkan nilai dielektrik yang rendah.

5. Kesimpulan

Analisis citra satelit ALOS PALSAR menggunakan metode mdPSAR yang dikombinasikan dengan hasil pengamatan lapangan secara langsung, dapat membedakan sifat fisis material dipermukaan bumi berdasarkan sifat kelistrikan dan kemagnetan, hal ini sangat bermanfaat terutama sekali pada tahap eksplorasi awal (*desktop study*) untuk penentuan daerah menarik (*Region of Interest*) yang tertutup vegetasi lebat dan morfologi curam, serta sebagai panduan pembuatan interpretasi geologi regional.

Dari hasil studi penelitian di Pongkor, analisis citra satelit yang dikombinasikan dengan pengamatan langsung lapangan dapat mendeliniasi sebaran batuan, alterasi serta kelurusan terutama yang berkaitan dengan sifat kemagnetan dan kelistrikan, sehingga mempermudah dalam menentukan *scooping target* area yang akan dilakukan eksplorasi, hanya untuk memverifikasi nilai *dielectric permittivity* dan *magnetic permeability* perlu dilakukan pengukuran secara langsung agar didapatkan korelasi antara nilai *dielectric permittivity* dan *magnetic permeability* yang diperoleh dari analisis citra satelit ALOS PALSAR menggunakan metode mdPSAR dengan metode pengukuran langsung.

Referensi

- Basuki, A., Aditya Sumanagara, D., dan Sinambela, D. (1994): The Gunung Pongkor gold-silver deposit, West Java, Indonesia, *Journal of Geochemical Exploration*, **50**(1–3), 371–391. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)90032-9](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)90032-9)
- Fung, A. K., dan Chen, K. S. (2010): *Microwave Scattering And Emission Models For Users*, Artech House, 446.
- Junian, W. E., Laesanpura, A., Paembonan,

- A. Y., dan Wicaksono, M. A. (2021): Identification of gold mineralization zones of low sulfidation epithermal systems using geoelectrical and magnetic methods in Ciparay area, Cibaliung, *Journal of Aceh Physics Society*, **10**(3), 70–79.
<https://doi.org/10.24815/jacps.v10i3.18521>
- Marcoux, E., Sitorus, T., Simandjuntak, M., dan Milesi, J. . (2019): Pongkor (Jawa Barat, Indonesia) : Pengayaan Supergen Endapan Epitermal Au-Ag-Mn, *Journal of Chemical Information and Modeling*, **53**(9), 1689–1699.
- Martodjojo, S. (1984): *Evolusi Cekungan Bogor Jawa Barat*, 216.
- Milesi, J. ., Marcoux, E., Sitorus, T., Simandjuntak, M., Leroy, J., dan Bailly, L. (1999): Pongkor West Java-Indonesia- a pliocene supergene-enriched epithermal Au-Ag-Mn deposit, *Mineralium Deposita*, **34**, 131–149.
- Saepuloh, A. (2019): *Prinsip dan Aplikasi Penginderaan Jauh Geologi Gunung Api* (Edisi 1), ITB Press, Bandung.
- Saepuloh, A., Army, E. K., Hilman, Z., Voith, P. T., Rolls, P., Ee-, J. P. V. L., dan Barat, J. (2020): Pemetaan Permeabilitas Magnetik Permukaan Berbasis Citra SAR Polarimetrik dengan Pengukuran In Situ di Lapangan Gunung Api, **30**(2), 131–141.
<https://doi.org/10.14203/risetgeotam2020.v30.1080>
- Saepuloh, A., Koike, K., Urai, M., dan Sumantyo, J. T. S. (2015): Identifying surface materials on an active volcano by deriving dielectric permittivity from polarimetric SAR data, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **12**(8), 1620–1624.
<https://doi.org/10.1109/LGRS.2015.2415871>
- Sugeng (2005): Kajian analisis kelurusan struktur dengan citra landsat digital untuk eksplorasi mineralisasi emas di daerah bayah, Kabupaten Lebak, Jawa Barat, *Mapin Xiv*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- van Bemmelen, R. W. (1970): *The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, Government Printing Office, The Hague.