

**IDENTIFICATION OF HYDROTHERMAL ALTERATION DISTRIBUTION WITH
COMPOSITE BAND LANDSAT 8 OLI TIRS
CASE STUDY: MOUNT PAPANDAYAN, GARUT, INDONESIA**

Identifikasi Persebaran Alterasi Hidrotermal Menggunakan Komposit *Band* Landsat 8 OLI TIRS
Studi Kasus: Gunung Papandayan, Garut, Indonesia

Darin Alya Khairunnisa Rizdinanti¹, William Jhanesta²

*Geophysics, Geoscience Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Indonesia
Kampus Baru Universitas Indonesia Depok, Jawa Barat – 16424*

**darin.alya@ui.ac.id*

ABSTRACT

Mount Papandayan is located in Garut, West Java. It has many geothermal manifestations such as mud pools, solfatara, hot springs, and surrounds by the dense vegetation which indicates the potential of geothermal prospects. This study aimed to determine hydrothermal alteration distribution. The method used in this research was remote sensing analysis using the combination of Landsat 8 OLI TIRS satellite image data, which is open-source data from USGS. Satellite imagery depicts the earth's surface due to sensing a specific electromagnetic spectrum. The bands used in this study have a color spectrum ranging from 0.4 μ m to 0.7 μ m and are referred to as the red-green-blue (RGB) band.

The data processing is done by doing a composite band to obtain surface information according to the sensor band. The combination of RGB composite band 4-3-2 would produce geological and geomorphological conditions. Composite band 5-6-7 provided structure, geological straightness, vegetation, and altered rock. The composite band 10-11-7 would show the rock's silica content. Finally, the composite band ratio 4/2-6/7- with band 5 and band 10 would show altered rocks, types of rock units, vegetation in drainage, and residential areas. The result showed that Mount Papandayan has a dense vegetation, complex geological structure, and silica contain in particular zone with overall distribution of hydrothermal alteration around 3 km². This data can be used as reference data before direct field surveys are made and optimize the research location's prospect area.

Keywords : *Composite Band, Hydrothermal Alteration, Landsat 8 OLI TIRS, Mt. Papandayan*

INTISARI

Gunung Papandayan terletak di Garut, Jawa Barat dengan banyak manifestasi panas bumi seperti mud pools, solfatara, hot springs, dan dikelilingi oleh vegetasi rapat yang menjadi indikasi potensi keberadaan panas bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran alterasi hidrotermal di daerah penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis penginderaan jauh dengan menggunakan kombinasi data citra satelit Landsat 8 OLI TIRS yang merupakan data open-source dari USGS. Citra satelit menggambarkan permukaan bumi menggunakan spektrum elektromagnetik. Band yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spektrum warna mulai dari 0.4 μ m hingga 0.7 μ m dan disebut sebagai Red-Green-Blue (RGB) band.

Pengolahan data dilakukan dengan melakukan komposit band untuk memperoleh informasi permukaan sesuai sensor. Kombinasi RGB komposit band 4-3-2 akan menggambarkan kondisi geologi dan geomorfologi. Komposit band 5-6-7 menyediakan struktur, kelurusan geologi, vegetasi, dan alterasi batuan. Komposit band 10-11-7 akan menunjukkan kandungan silika pada batuan. Dan terakhir, rasio komposit band 4/2-6/7- dengan band 5 dan band 10 akan menunjukkan alterasi batuan, jenis satuan batuan, vegetasi, drainase, dan kawasan pemukiman. Hasilnya menunjukkan bahwa Gunung Papandayan memiliki vegetasi rapat, kompleksitas struktur yang cukup tinggi, dan mengandung silika pada beberapa titik dengan distribusi keseluruhan alterasi hidrotermal di wilayah studi adalah 3 km². Data tersebut dapat digunakan sebagai data referensi sebelum melakukan survei lapangan secara langsung dan menentukan wilayah prospek pada lokasi penelitian.

Kata kunci : *Alterasi Hidrotermal, Gunung Papandayan, Komposit Band, Landsat 8 OLI TIRS*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang dilalui oleh cincin api dunia. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya jumlah gunung api yang tersebar dari ujung pulau Sumatera, sepanjang pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Maluku, hingga pulau Sulawesi. Banyaknya jumlah gunung api ini memiliki korelasi positif dengan potensi ditemukannya sumber panas bumi.

Morfologi dan topografi dari suatu gunung api sebagai lokasi potensi keberadaan sumber panas bumi cenderung curam dan sulit untuk dilalui. Penelitian ini dimaksudkan sebagai survei pendahuluan yang bertujuan untuk memaksimalkan tingkat efektivitas survei lapangan yang nantinya akan dilakukan. Penelitian ini menggunakan metode penginderaan jauh dengan objek utama yang dicari mineral alterasi hidrotermal sebagai indikasi keberadaan sumber panas bumi di bawah permukaannya.

Penginderaan jauh adalah metode yang dapat mengumpulkan data / informasi tanpa menyentuh objek yang diteliti (Gupta, 2018). Metode ini dapat memberikan gambaran awal secara menyeluruh mengenai kondisi geologi, geomorfologi, dan kondisi lain yang ingin diketahui dengan memanfaatkan karakter reflektansi serta absorpsi gelombang elektromagnetik dari objek-objek yang ada di permukaan bumi (Sabins, 1999). Suatu perekaman data penginderaan jauh dapat disebut sebagai citra Landsat. Penelitian ini menggunakan citra Landsat 8 Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor (Landsat 8 OLI TIRS). Citra Landsat 8 OLI TIRS merupakan citra yang memiliki 11 macam saluran (*band*) dengan resolusi spasial yang berkisar 15×15 meter hingga 100×100 meter (USGS, 2016).

Penelitian terdahulu menunjukkan mineral alterasi hidrotermal akan memiliki warna tertentu berdasarkan citra konstruktif warna *Red-Green-Blue* (RGB). Pembuktian dari pembacaan hasil pengolahan data penginderaan jauh citra Landsat 8 OLI TIRS dapat dilakukan saat survei lapangan dilakukan setelahnya pada daerah penelitian. Setelah dikonfirmasi, persebaran alterasi hidrotermal ini dapat diklasifikasikan sebagai daerah dengan potensi sumber panas bumi tertinggi dibanding daerah sekitarnya.

Survei pendahuluan ini sangat membantu penelitian secara keseluruhan mengingat eksplorasi panas bumi sering kali dilakukan pada daerah yang belum terjamah. Dengan metode penginderaan jauh, identifikasi daerah prospek bisa dipersempit untuk meningkatkan efektivitas survei lapangan yang akan dilakukan.

Objek penelitian berfokus pada Gunung Papandayan yang terletak di Garut, Jawa Barat yang terbentuk akibat proses subduksi antar Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Proses ini mengakibatkan lempeng yang lebih ringan, Lempeng Indo-Australia, menujam ke dalam bumi dan lempeng Eurasia, yang lebih berat, naik (Hasegawa, 1990). Lempeng Indo-Australia yang masuk ke dalam mantel mengalami kenaikan suhu dan tekanan dan melepaskan kandungan air di dalamnya. Air ini menurunkan titik leleh dan membuat magma yang terbentuk dapat mengalir ke permukaan membentuk gunung api (Wei-Haas, 2018). Pemilihan Gunung Papandayan didasarkan oleh banyaknya manifestasi seperti *mud pools*, *solfataras*, *hot springs*, dan dikelilingi oleh vegetasi yang rapat yang mengindikasikan keberadaan potensi panas bumi (Saptadji, 2002).

2. METODE PENELITIAN

2.1. Tinjauan Geologi

Secara geografis gunung ini terletak pada *latitude* -7.31667 dan *longitude* 102.73333 dengan ketinggian 2665 meter di atas permukaan laut, atau sekitar 1950 meter di atas dataran Garut (KESDM, 2011). Struktur Geologi dipisahkan menjadi struktur sesar dan struktur kawah dengan arah umum NE-SW, NW-SE, dan NNW-SSE dengan indikasi berupa breksiasi, kelurusan topografi, zona hancuran Struktur kawah yang terdapat di Kawah Mas, Kawah Manuk, Kawah Brungbrung, Kawah Tegal Alun-alun, Kawah Nangklak, dan Kawah Baru.

Evolusi Gunung Api Papandayan dan sekitarnya dimulai dengan pembentukan Pegunungan Selatan (tersier). Selanjutnya terjadi pembentukan gunung api di sekitar Gunung Papandayan antara lain Gunung Geulis, Gunung Cikuray, Gunung Jaya, dan Gunung Puntang. Setelahnya tubuh Gunung Papandayan terbentuk dan menghasilkan Kawah Papandayan, Kawah Tegal Alun-alun, Kawah Nangklak, Kawah Manuk, Kawah Mas, dan Kawah Baru (KESDM B. G.-K., 2013).

2.2. Alterasi Hidrotermal

Alterasi adalah proses kompleks yang melibatkan perubahan pada mineralogi, kimiawi, dan tekstur akibat interaksi fluida panas dengan batuan yang dilaluinya di bawah kondisi evolusi fisio-kimia. Peristiwa ini disebut dengan istilah metasomatisme (Browne, 1998). Keberadaan manifestasi panas bumi di Gunung Papandayan menunjukkan keberadaan sirkulasi hidrotermal pada daerah penelitian dimana terjadi sirkulasi larutan hidrotermal secara lateral dan vertikal pada temperatur dan tekanan yang berbeda (Pirajno, 1992). Hal ini didukung oleh banyaknya struktur yang berpotensi menjadi jalur untuk masuknya air meteorik ke dalam bumi. Proses alterasi membentuk mineral sekunder yang lebih stabil pada kondisi di daerah tersebut. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses alterasi (Pirajno, 2009), antara lain:

1. Kondisi alami batuan dinding
2. Komposisi fluida
3. Konsentrasi, aktivitas, serta potensi kimiawi dari komponen fluida

Alterasi berupa pengendapan mineral sangat lazim ditemui di daerah yang memiliki potensi panas bumi. Secara umum kehadiran alterasi pada sistem panas bumi dapat terjadi dalam tiga bentuk (Browne, 1998);

a. Pergantian Mineral (*Replacement*)

Terjadi saat mineral primer berubah ke bentuk yang lebih stabil pada kondisi tertentu menjadi mineral sekunder. Proses perubahan ini melibatkan permeabilitas batuan karena memberi kesempatan pada fluida hidrotermal untuk menghasilkan intensitas alterasi yang kuat (Nicholson, 1993).

b. Pengendapan Langsung (*Direct Deposition*)

Alterasi dengan pengendapan langsung ini sangat umum dijumpai di daerah yang memiliki prospek panas bumi. Pengendapan langsung ini dapat terjadi akibat adanya ruang / jalur berupa kekar, sesar, ketidakselarasan, lubang, dan pori yang dapat diisi oleh mineral hidrotermal. Saat fluida hidrotermal melalui ruang / jalur ini, mineral-mineral yang terkandung di dalamnya akan terlarut lalu seiring dengan penurunan suhu dan solubilitas mineral, terbentuklah mineral seperti kuarsa atau kalsit (Nicholson, 1993).

c. Pencucian (*Leaching*)

Pencucian merupakan proses pelarutan batuan / mineral pada batuan oleh fluida hidrotermal yang bersifat asam, seperti H₂S. Pada sistem panas bumi, terbentuknya fluida asam yang mencuci tubuh batuan berasal dari proses kondensasi fase uap dari fluida hidrotermal yang kemudian tercampur dengan air meteorik dan mengalami oksidasi yang menghasilkan sulfat (Nicholson, 1993).

2.3. Landsat 8 OLI TIRS

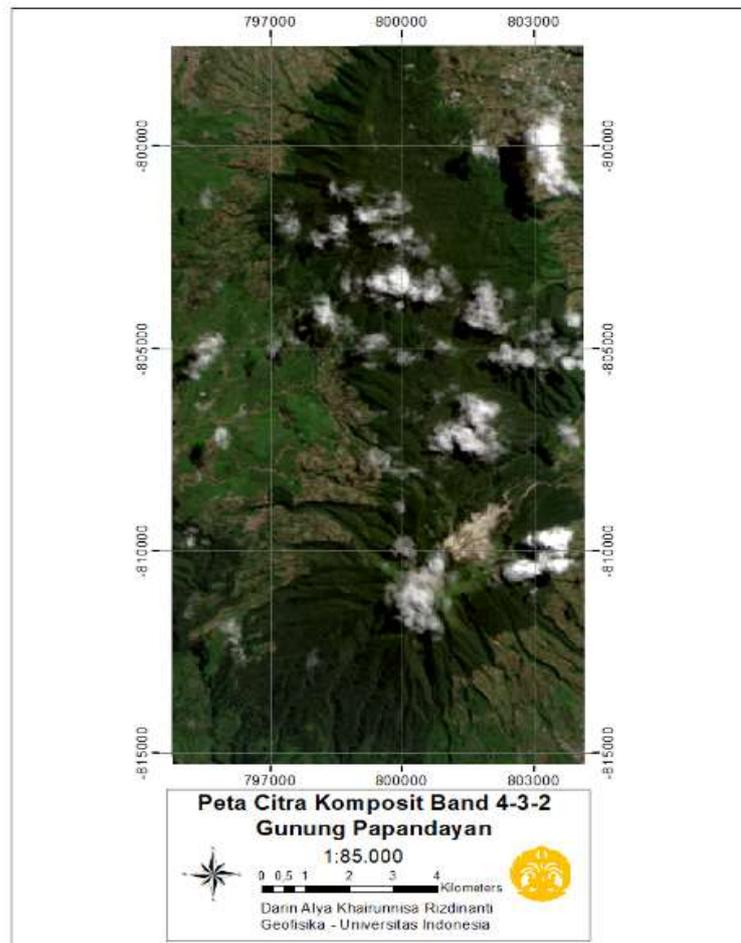
Landsat 8 adalah sebuah satelit observasi bumi Amerika yang terdiri dari dua instrumen sains-Operational Land Imager (OLI) dan Thermal Infrared Sensor (TIRS). Kedua sensor ini memberikan cakupan musiman dari daratan global pada resolusi spasial 30 meter (visible, NIR, SWIR); 100 meter (termal); dan 15 meter (pankromatis) (Taylor, n.d.). Tabel 1 menunjukkan kegunaan dari Landsat 8 untuk keperluan pemetaan. Pada beberapa *band*, dilakukan metode rasio yaitu metode membagi nilai panjang gelombang suatu saluran dengan saluran yang lain untuk memperjelas kenampakan suatu objek di permukaan bumi yang sulit atau tidak dapat dilihat oleh saluran tunggal (Pour, 2014). Metode rasio ini dilakukan pada beberapa saluran yaitu *band* 4 dengan *band* 2, dan *band* 6 dengan *band* 7 untuk mendapatkan nilai pantulan yang semakin baik dari mineral alterasi hidrotermal di permukaan.

| Band | Wavelength | Useful for mapping |
|---------------------------------------|---------------|---|
| Band 1 – coastal aerosol | 0.43-0.45 | coastal and aerosol studies |
| Band 2 – blue | 0.45-0.51 | Bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation and deciduous from coniferous vegetation |
| Band 3 - green | 0.53-0.59 | Emphasizes peak vegetation, which is useful for assessing plant vigor |
| Band 4 - red | 0.64-0.67 | Discriminates vegetation slopes |
| Band 5 - Near Infrared (NIR) | 0.85-1.08 | Emphasizes biomass content and shorelines |
| Band 6 - Short-wave Infrared (SWIR) 1 | 1.57-1.65 | Discriminates moisture content of soil and vegetation; penetrates thin clouds |
| Band 7 - Short-wave Infrared (SWIR) 2 | 2.11-2.29 | Improved moisture content of soil and vegetation and thin cloud penetration |
| Band 8 - Panchromatic | 0.50-0.68 | 15 meter resolution, sharper image definition |
| Band 9 – Cirrus | 1.36 -1.38 | Improved detection of cirrus cloud contamination |
| Band 10 – TIRS 1 | 10.60 – 11.19 | 100 meter resolution, thermal mapping and estimated soil moisture |
| Band 11 – TIRS 2 | 11.5-12.51 | 100 meter resolution, Improved thermal mapping and estimated soil moisture |

Table 1. Kegunaan *Band* pada Landsat 8 untuk Pemetaan (USGS, 2016)

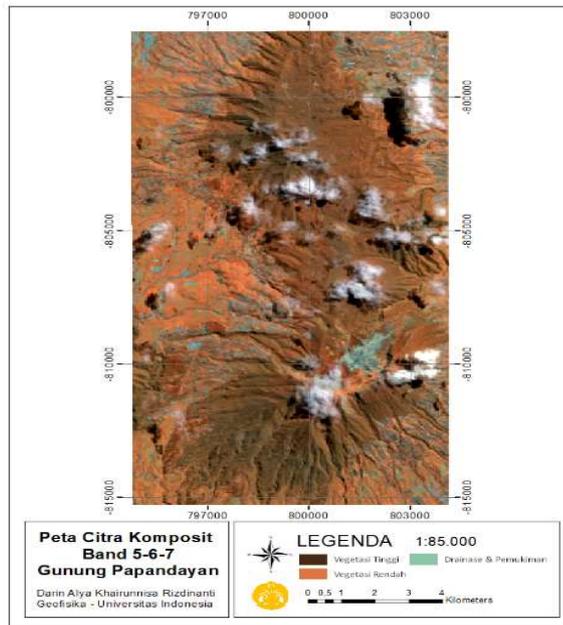
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam menentukan zona alterasi hidrotermal, sumber yang digunakan adalah citra Landsat 8 OLI TIRS dan publikasi terkait mengenai kondisi geologi dari daerah penelitian seperti litologi, topografi, dan struktur yang ada pada daerah setempat. Pengolahan data pada penelitian ini mengkombinasi *band* RGB 4–3–2, *band* RGB 5–6–7, *band* RGB 10–11–7, *band* RGB 4/2–6/7–5, dan *band* RGB 4/2–6/7–10.



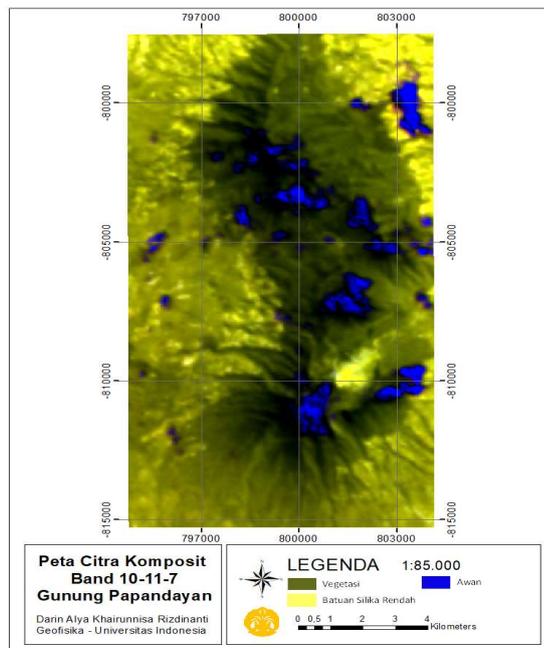
Gambar 1. Peta Citra Komposit *Band* 4-3-2

Citra komposit RGB *band* 4–3–2 menempatkan *band* 4 (0.636 – 0.636 μm) pada *band* merah, *band* 3 (0.533 – 0.590 μm) pada *band* hijau dan *band* 2 (0.452 – 0.512 μm) pada *band* biru. Citra komposit ini menampilkan kondisi geologi dan geomorfologi secara regional dari daerah penelitian. Hasil pengolahan citra ini menunjukkan kondisi Gunung Papandayan sebagaimana bila dilihat secara langsung.



Gambar 2. Peta Citra Komposit *Band 5-6-7*

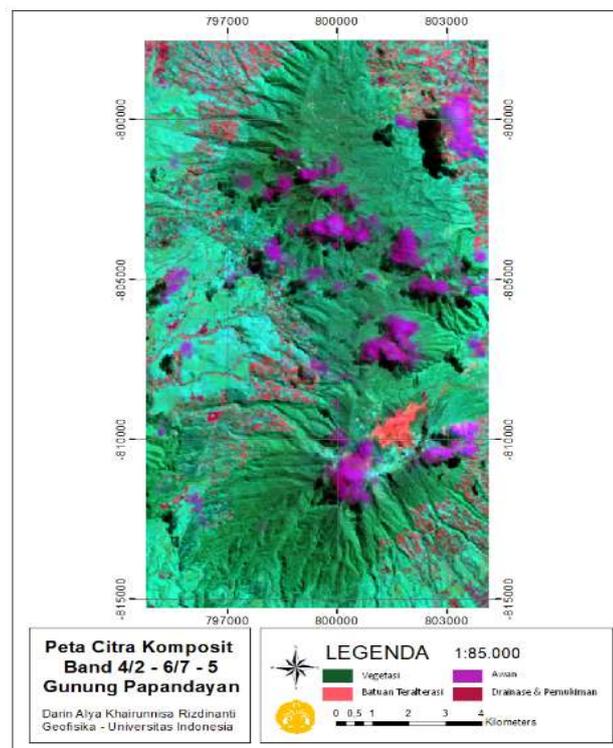
Citra komposit RGB *band 5-6-7* memposisikan *band 5* ($0.851 - 0.879 \mu\text{m}$) pada *band* merah, *band 6* ($1.566 - 1.651 \mu\text{m}$) pada *band* hijau dan *band 7* ($2.107 - 2.294 \mu\text{m}$) pada *band* biru. Citra komposit ini memberikan informasi mengenai kondisi geologi yang lebih baik dibandingkan citra komposit warna natural 4-3-2. Citra 5-6-7 ini dapat mendeteksi orientasi arah struktur dan memperkirakan kondisi vegetasi. Biasanya vegetasi akan terlihat sangat baik pada bagian proksimal dari tubuh gunung api sedangkan pada bagian distal mulai berkurang kontrasnya yang menandakan bahwa aktivitas manusia telah banyak dijumpai. Hasil pengolahan citra ini menunjukkan tingkat kerapatan vegetasi Gunung Papandayan dan menggambarkan struktur yang berperan dalam memberikan lokasi dengan permeabilitas yang baik untuk jalur fluida hidrotermal.



Gambar 3. Peta Citra Komposit *Band 10-11-7*

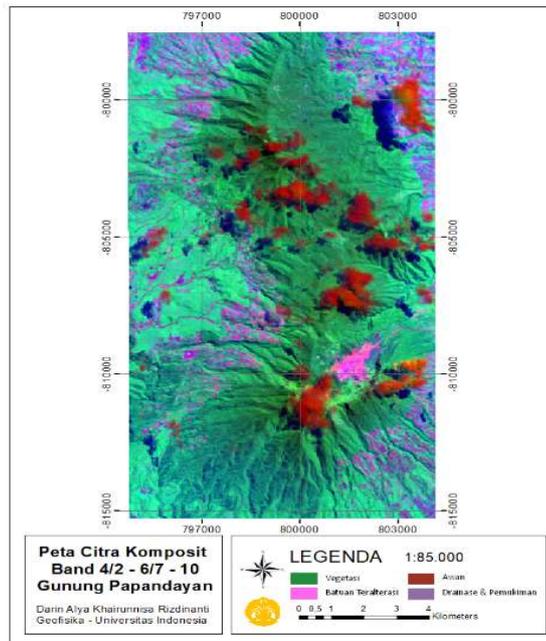
Citra komposit RGB *band* 10–11–7 memosisikan *band* 10 (10.60 – 11.19 μm) pada *band* merah, *band* 11 (11.50 – 12.51 μm) pada *band* hijau dan *band* 7 (2.107 – 2.294 μm) pada *band* biru. Citra ini memberikan informasi mengenai kandungan silika pada batuan di daerah penelitian secara regional karena karakter reflektansinya yang kuat pada panjang gelombang 8.50 – 9.30 dan 10.30 – 11.70 (Pour, 2014). Citra komposit ini bisa mengurangi akurasi interpretasi bila terdapat gangguan dari keberadaan awan.

Secara umum, mineral hasil alterasi hidrotermal akan terakumulasi pada tubuh batuan induk oleh fluida bertemperatur tinggi. Fluida ini akan bereaksi kimiawi dengan batuan induk hingga membentuk batuan teralterasi dengan susunan kimia tambahan berupa mineral yang dibawa oleh fluida tersebut. Hal ini menyebabkan tingginya pembacaan nilai reflektansi pada alterasi hidrotermal. Kombinasi *band* yang dapat membaca nilai reflektansi tinggi ini ialah *band* 4 (0.636 – 0.673 μm), *band* 2 (0.452 – 0.512 μm), *band* 5 (0.851 – 0.879 μm), *band* 6 (1.566 – 1.651 μm), *band* 7 (2.107 – 2.294 μm), dan *band* 10 (10.60 – 11.19 μm) (Pour, 2014). Pengolahan dilakukan dengan menggabungkan masing-masing *band* menggunakan metode rasio. Metode rasio membagi nilai panjang suatu gelombang *band* dengan *band* lain untuk melihat keberadaan objek tertentu. Alterasi hidrotermal dapat dilihat dengan merasiokan *band* 4 dengan *band* 2 serta *band* 6 dengan *band* 7.



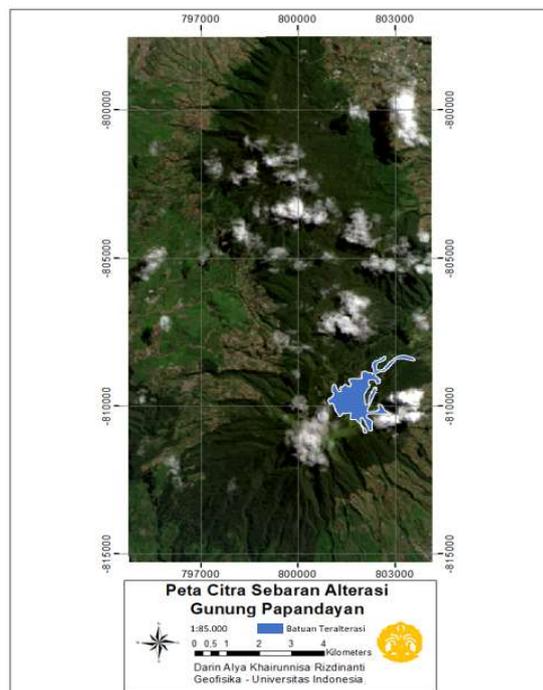
Gambar 4. Peta Citra Komposit *Band* 4/2-6/7/-5

Pada kombinasi *band* 4/2-6/7-5, keberadaan mineral hasil alterasi hidrotermal terekam sebagai warna merah muda, sistem drainase dan pemukiman terekam sebagai warna merah, dan vegetasi terekam sebagai warna hijau.



Gambar 5. Peta Citra Komposit Band 4/2-6/7/-10

Pada kombinasi *band* 4/2-6/7-10, keberadaan mineral hasil alterasi hidrotermal terekam sebagai warna merah muda, sistem drainase dan pemukiman sebagai warna ungu, dan vegetasi terekam dalam warna hijau.



Gambar 6. Peta Citra Sebaran Alterasi

Gambar diatas menunjukkan hasil akhir pengolahan data Landsat 8 OLI TIRS berupa peta prospek citra sebaran alterasi hidrotermal. Peta tersebut didapatkan berdasarkan hasil *overlay* warna merah muda dari kombinasi *band* 4/2-6/7 serta kombinasi *band* 4/2-6/7-5. Hasilnya menunjukkan estimasi luasan daerah yang diduga telah mengalami alterasi hidrotermal seluas 3 km² dengan cakupan seperti pada gambar.

4. KESIMPULAN

Hasil pengolahan citra Landsat 8 OLI TIRS menunjukkan peranan penting dalam survei pendahuluan untuk mengestimasi daerah yang memiliki indikasi keberadaan sumber panas bumi di bawah permukaannya. Survei pendahuluan ini sangat membantu penelitian secara keseluruhan mengingat eksplorasi panas bumi sering kali dilakukan pada daerah yang belum terjamah. Objek yang dilihat pada penelitian ini adalah alterasi hidrotermal yang terbentuk di permukaan bumi yang dapat diidentifikasi dengan data Landsat 8 OLI TIRS.

Potensi keberadaan alterasi hidrotermal dapat dilihat melalui kombinasi *band* yang mempunyai nilai reflektansi tinggi terhadap mineral alterasi hidrotermal. Daerah yang diprediksi sudah mengalami alterasi hidrotermal dapat dilihat melalui peta kombinasi RGB *band* 4/2-6/7-5 serta 4/2-6/7-10. Bila kedua peta di-*overlay*, daerah yang menunjukkan alterasi hidrotermal ditaksir memiliki luas sekitar 3 km². Data sebaran ini dapat digunakan sebagai data acuan sebelum observasi langsung ke lapangan dilakukan dan menentukan wilayah prospek pada lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Browne. (1998). *Hydrothermal Alteration*. Auckland: Geothermal Institute - The University of Auckland .
- Gupta. (2018). *Remote Sensing Geology 3rd Edition*. Berlin: Springer Varlage.
- Hasegawa, A. (1990). Seismicity: Subduction Zone. *Springer US*, 1054-1061.
- KESDM. (2011). *Data Dasar Gunung Api Indonesia Edisi Kedua*. Jakarta: KESDM.
- KESDM, B. G.-K. (2013, August 13). Retrieved from <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/211-g-papandayan?start=2>
- Nicholson. (1993). Chemistry and Exploration Techniques. In *Geothermal Fluids* (p. 242). United States of America: Springer.
- Pirajno. (1992). Hydrothermal Mineral Deposits. Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist. *Springer – Verlag*.
- Pirajno, F. (2009). Hydrothermal Processes and Mineral Systems. United States of America: Springer.
- Pour, A. B. (2014). Hydrothermal Alteration Mapping from Landsat-8 Data. *Journal Taibah University of Science* - 9, 155-166.
- Sabins. (1999). Remote Sensing for Mineral Exploration. *Ore Geology Review*, 157-183.
- Saptadji. (2002). *Teknik Panas Bumi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Taylor. (n.d.). *NASA*. Retrieved from Landsat Science: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview>
- USGS. (2016). Retrieved from <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-oli-and-tirs-and-their-uses>
- USGS. (2016). Retrieved from <https://www.usgs.gov/>
- Wei-Haas, M. (2018, January 15). *National Geographic*. Retrieved from <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/volcanoes>