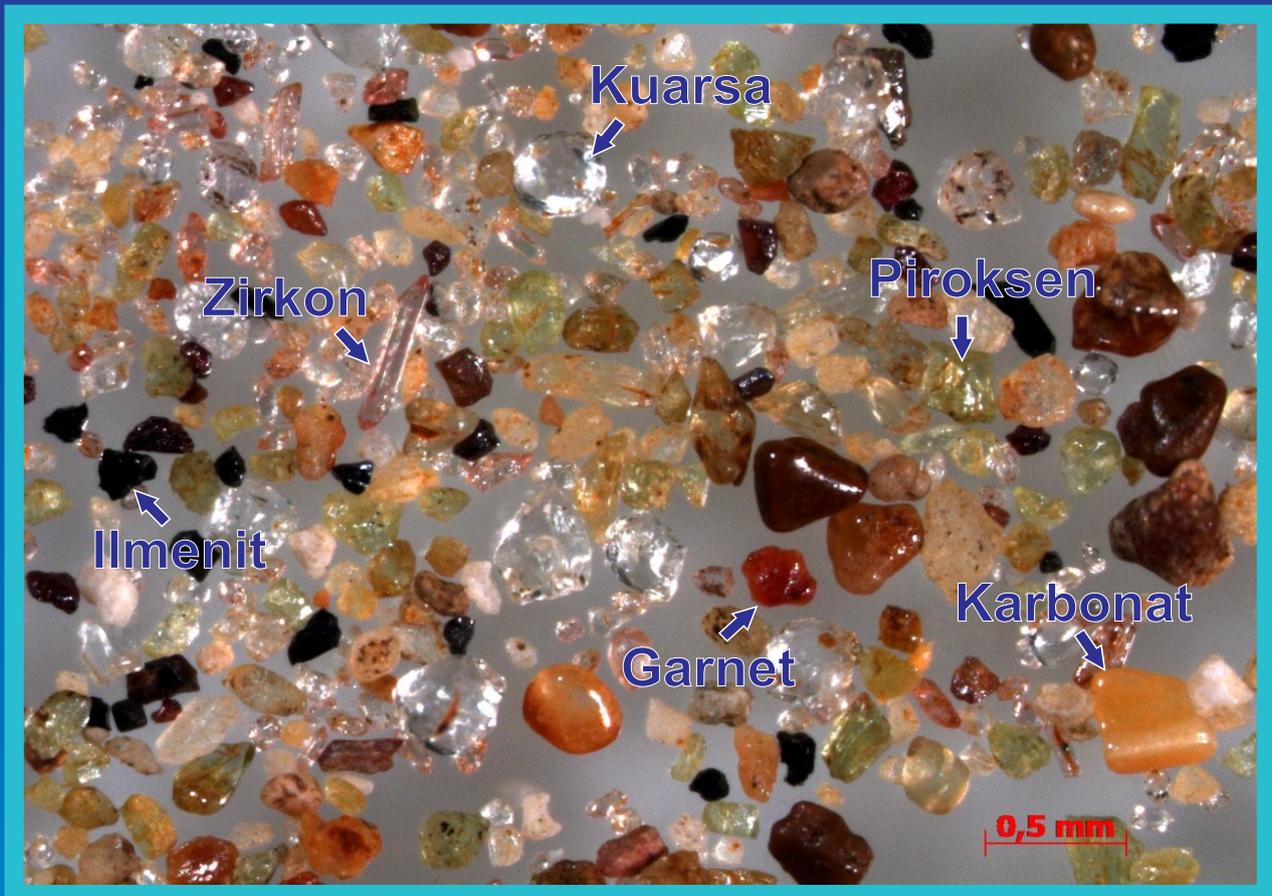


buletin

SUMBER DAYA GEOLOGI

ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

Volume 15 No. 1, Mei 2020



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Badan Geologi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

| | | | | | |
|--------------------------------|---------|-------|-------------------|---------------------|--|
| Buletin Sumber Daya Geologi | Vol. 15 | No. 1 | Halaman 1 - 72 | Bandung Mei 2020 | Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 21/E/KPT/2018 |
|--------------------------------|---------|-------|-------------------|---------------------|--|

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Butiran mineral **Zirkon**, merah muda, transparan, kilap cemerlang, **Kuarsa**, tidak berwarna, transparan, **Piroksen**, hijau, transparan, **Ilmenit**, hitam, kilap metalik, **Garnet**, merah, kilap translusen, **Karbonat**, coklat pucat, agak kusam, **Oksida Besi**, coklat kemerahan.
Fotomikrograf Perbesaran 32x. (Reza Mochammad Faisal, dkk., 2020)

Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 21/E/KPT/2018

Buletin Sumber Daya Geologi merupakan jurnal ilmiah terakreditasi Kemenristekdikti bidang mineral, energi fosil, dan panas bumi yang berkaitan dengan kajian sumber daya. Majalah ini terbit tiga nomor dalam satu tahun pada bulan Mei, Agustus dan November.

DEWAN REDAKSI

| | |
|------------------------|--|
| Editor In Chief | Ir. Denni Widhiyatna, M.T. |
| Managing Editor | Dra. Ella Dewi Laraswati Eko Suryanto, S.Kom. Resmi Novianti, S.T. Rijal Ahmad Taufik, S.T. Ernawati, A.Md., S.I.Pust. |
| Editorial Board | Sumardi, S.T., M.M. Qomariah, S.Kom., M.T. Ir. Herry Rodiana Eddy, M.Si. Ir. Prima Muharam Hilman, M.Sc. Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi Ir. Asep Suryana Ir. Sri Widodo Ir. Teuku Ishlah Ir. Bambang Pardiarto Dr. Siti Sumilah Rita Susilawati, S.T., M.Sc. Ir. Rina Wahyuningsih Fatimah, S.T., M.Sc. Drs. Dedi Kusnadi Indra Sukmayana, S.T. |
| Peer-Reviewer | Prof. Dr. Ir. Binarko Santoso Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D Prof. Euis Tintin Yuningsih, S.T., M.T., Ph.D Dr. Chairul Nas, M.Sc. Dr. Ir. Rukmana Nugraha Adhi, DESS. Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc. Dr. Eng. Agus Didit Haryanto, Ir., M.T. Ir. Sabtanto Joko Suprpto, M.T. Edi Suhanto, S.Si, M.T. |

Alamat sekretariat dan pengiriman naskah

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
Bagian Tata Usaha
Jl. Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Telepon : (022) 520 2698, 522 6270
Fax : (022) 522 6270, 522 6263
Email : buletinpsdg@gmail.com
OJS : <http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id>

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, karena atas izin-Nya lah walaupun saat ini dunia mengalami pandemi COVID-19 yang mengharuskan kita untuk tinggal di rumah, namun Buletin Sumber Daya Geologi volume ke-15 nomor.1 dapat hadir tepat waktu di Bulan Mei 2020. Buletin ini secara konsisten menghadirkan lima makalah pada setiap terbitannya. Edisi saat ini didominasi oleh kajian tentang panas bumi yang hadir sebanyak empat makalah, sedangkan satu makalah lainnya berhubungan dengan eksplorasi mineral yang menggunakan metode geokimia.

Makalah-makalah tentang panas bumi antara lain berupa pemanfaatan metode XRD untuk menganalisis conto-conto batuan terubah dari sumur bor yang memberikan petunjuk adanya hubungan keterdapatn mineral smektit, illit, kaolinit dan haloisit dengan pembentukan sebuah sistem panas bumi. Selanjutnya tentang survey geofisika dengan metode gayaberat di suatu wilayah yang mampu mengungkap keberadaan struktur sesar dan jenis-jenis litologi yang menyusunnya, dimana hal tersebut mempengaruhi munculnya mata air panas di lapangan panas bumi Natar, Provinsi Lampung.

Makalah lainnya berupa penggunaan metode *Thermoluminescence* yang merupakan metode baru yang diaplikasikan di lapangan panas bumi untuk mengetahui umur batuan sekaligus mendukung rekonstruksi sejarah geologi yang berhubungan dengan aktivitas termal di daerah penyelidikan. Makalah ke empat berupa penyelidikan panas bumi di Way Selabung, Provinsi Lampung dengan memanfaatkan data Magnetotellurik sehingga dapat menentukan letak, delineasi, dan kedalaman sistem panas bumi sekaligus membuat model *tentative* geologi secara 2 Dimensi.

Sedangkan makalah yang berhubungan dengan komoditas mineral yaitu tinjauan tentang eksplorasi geokimia regional berupa pengambilan conto sedimen sungai dan konsentrat dulang yang ditunjang oleh pengamatan geologi di lapangan. Kemudian conto-conto tersebut dianalisis di Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, data hasil analisis selanjutnya dilakukan pengolahan menggunakan perangkat lunak untuk menghasilkan peta sebaran unsur dan kekerabatannya sehingga dapat mendelineasi beberapa daerah prospek atau potensi unsur tertentu.

Kami mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi serta pihak manajemen lainnya yang selalu mendukung keberadaan Buletin Sumber Daya Geologi. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada para Mitra Bebestari yang selalu siap berkontribusi sesuai dengan keahliannya, Dewan Editor, Dewan Redaksi dan Tim Sekretariat serta para penulis sehingga Buletin Sumber Daya Geologi yang telah memasuki usia yang ke 15 mampu hadir secara konsisten dalam bentuk cetakan maupun digital untuk masyarakat yang selalu menanti dan membutuhkan informasi tentang potensi mineral dan energi serta metode eksplorasi dan pengolahan data yang dilakukannya.

Salam Sehat dan Selalu Semangat

Salam hangat,

Dewan Redaksi

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

- 1 - 17 **KARAKTERISTIK MINERAL LEMPUNG HASIL UBAHAN PADA SUMUR LW-1 DAN LW-2 DENGAN MENGGUNAKAN METODE DIFRAKSI SINAR-X PADA SISTEM PANAS BUMI GUNUNG LAWU**
THE CHARACTERISTICS OF CLAY MINERAL ALTERATION FROM WELLS LW-1 AND LW-2 USING X-RAY DIFFRACTION METHOD IN THE MOUNT LAWU GEOTHERMAL SYSTEM
Oleh : Lano Adhitya Permana, Candra Widya Sastrawijaya, dan Dudi Hermawan
- 19 - 38 **ANALISIS UNIVARIAT DAN MULTIVARIAT CONTO SEDIMEN SUNGAI DALAM PENENTUAN POTENSI MINERALISASI LOGAM DI HALMAHERA BAGIAN TIMUR, PROVINSI MALUKU UTARA**
UNIVARIATE AND MULTIVARIATE ANALYSIS OF STREAM SEDIMENT SAMPLE FOR DETERMINATION OF METAL MINERALIZATION POTENTIAL IN THE EASTERN PART OF HALMAHERA, NORTH MALUKU
Oleh : Reza Mochammad Faisal, Irfan Budiaji Nugroho, dan Bambang Priadi
- 39 - 49 **MODEL GAYABERAT 2D UNTUK MENGUNGKAP STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH PANAS BUMI NATAR**
2D CONCEPTUAL MODEL ON NATAR GEOTHERMAL SYSTEM BASED ON GRAVITY DATA
Oleh : Bella Restu Juliarka dan Mochamad Iqbal
- 51 - 60 **PENENTUAN UMUR ABSOLUT BATUAN KUBAH LAVA ANDESIT DAERAH PANAS BUMI LEJJA-KABUPATEN SOPPENG, PROVINSI SULAWESI SELATAN MENGGUNAKAN METODE THERMOLUMINESCENCE (TL)**
DETERMINATION OF ABSOLUTE AGE LAVA DOME ANDESITE ROCK AT GEOTHERMAL LEJJA AREA, SOPPENG DISTRICT, SOUTH SULAWESI PROVINCE BY THERMOLUMINESCENCE (TL) METHOD
Oleh : Dikdik Risdianto, Sukaesih, Nizar Muhamad Nurdin, Stephen Simamora, dan Agus Didit Haryanto
- 61 - 72 **PEMODELAN INVERSI 2-D MENGGUNAKAN DATA MAGNETOTELLURIK DAERAH PANAS BUMI WAY SELABUNG, KABUPATEN OGAN KOMERING ULU SELATAN, PROVINSI SUMATERA SELATAN**
2-D INVERSION MODELING USING MAGNETOTELLURIC DATA AT WAY SELABUNG GEOTHERMAL AREA, SOUTH OGAN KOMERING ULU REGENCY, SOUTH SUMATERA PROVINCE
Oleh : Irpan Ilmi, Ildrem Syafri, Agus Didit Haryanto, dan Ahmad Zarkasyi

ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

GALERI FOTO

Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi

**KARAKTERISTIK MINERAL LEMPUNG HASIL UBAHAN PADA SUMUR LW-1 DAN LW-2
DENGAN MENGGUNAKAN METODE DIFRAKSI SINAR-X
PADA SISTEM PANAS BUMI GUNUNG LAWU*****THE CHARACTERISTICS OF CLAY MINERAL ALTERATION FROM
WELLS LW-1 AND LW-2 USING X-RAY DIFFRACTION METHOD
IN THE MOUNT LAWU GEOTHERMAL SYSTEM***

Lano Adhitya Permana, Candra Widya Sastrawijaya, dan Dudi Hermawan
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
lano.adhitya@esdm.go.id

ABSTRAK

Sumur panas bumi LW-1 dan LW-2 yang terletak pada zona depresi antara Gunung Lawu dan Gunung Jabolorangan memiliki batuan yang telah mengalami ubahan hidrotermal, dicirikan dengan mineral-mineral ubahan yang tergolong ke dalam tipe ubahan argilik-argilik lanjut. Untuk mengetahui karakter mineral ubahan yang terbentuk, khususnya kehadiran mineral lempung pada sumur LW-1 dan LW-2, maka diperlukan studi mengenai mineral lempung dengan menggunakan pendekatan metode difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction/XRD*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keterdapatan dan karakteristik mineral lempung pada sumur LW-1 dan LW-2 serta hubungannya dengan pembentukan sistem panas bumi di daerah Gunung Lawu. Penggunaan metode XRD pada sumur LW-1 dan LW-2 menunjukkan bahwa pada saat temperatur mengalami peningkatan maka bentuk kristal dari mineral lempung semakin sempurna yang kemudian diikuti oleh semakin kecilnya nilai derajat kristalinitas, sedangkan pengaruh ukuran butir pada pola XRD memperlihatkan bahwa derajat kristalinitas mineral lempung cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya ukuran butir. Mineral lempung hasil ubahan pada sumur LW-1 dan LW-2 terdiri dari smektit, illit, kaolinit dan haloisit yang dapat berfungsi sebagai lapisan penudung dalam sistem panas bumi Gunung Lawu.

Kata kunci: XRD, mineral lempung, derajat kristalinitas, temperatur, lapisan penudung, Gunung Lawu

ABSTRACT

The LW-1 and LW-2 geothermal wells are located in the depression zone between Mount Lawu and Mount Jabolorangan contain rocks that are hydrothermally altered as indicated by the presence of alteration minerals that are classified as argillic to advanced argillic alteration. To determine the character of the altered minerals that were formed, especially the presence of clay minerals in LW-1 and LW-2 wells, a study of clay minerals is required using the X-Ray Diffraction approach. This study aims to determine the presence and characteristics of clay minerals in LW-1 and LW-2 also their correlation to the formation of a geothermal system in the Gunung Lawu area. The analysis and interpretation using XRD method in LW-1 and LW-2 wells shows that within the temperature increases the crystal shape of the clay minerals becomes more perfect which is represented by a smaller degree of crystallinity. Whereas the effect of grain size on the XRD pattern shows that the crystallinity of the clay minerals tend to decrease with increasing grain size. The altered clay minerals in LW-1 and LW-2 wells consist of smectite, illite, kaolinite and halloysite which can be acted as caprock in the Mount Lawu geothermal system.

Keywords: XRD, clay minerals, degree of crystallinity, temperature, caprock, Mount Lawu

PENDAHULUAN

Keberadaan jalur vulkanik yang terdapat di sepanjang Pulau Jawa memberikan peluang terbentuknya sistem panas bumi di sepanjang jalur tersebut, salah satunya seperti yang terdapat di daerah Gunung Lawu yang terletak di perbatasan Provinsi Jawa Tengah dan Provinsi Jawa Timur. Sistem panas bumi Gunung Lawu diduga terkait dengan adanya aktivitas vulkanik termuda Gunung Lawu yang masih menyimpan sisa panas dari dapur magma (Anonim, 2009). Sisa panas tersebut berperan sebagai sumber panas yang memanasi fluida di bawah permukaan, untuk kemudian naik melalui rekahan sehingga terjadi proses interaksi antara fluida panas dan batuan yang mengakibatkan batuan mengalami ubahan. Kehadiran batuan ubahan tersebut dapat menjadi indikasi bahwa telah terjadi proses hidrotermal, seperti yang tampak pada sumur LW-1 dan LW-2.

Sumur LW-1 dan LW-2 terletak di selatan Gunung Lawu, tepatnya pada zona depresi antara Gunung Lawu dan Gunung Jabolorangan (Anonim, 2010a dan 2010b). Pengeboran sumur LW-1 dan LW-2 yang masing-masing mencapai kedalaman 243 m dan 253 m, dilakukan secara vertikal oleh Pusat Sumber Daya Geologi - Badan Geologi pada tahun 2010.

Browne (1999) menyebutkan bahwa ubahan hidrotermal merupakan hasil interaksi antara fluida panas dan batuan dalam suatu sistem panas bumi yang dapat membentuk deretan mineral hidrotermal pada kondisi fisika dan kimia tertentu. Mineral lempung sebagai salah satu produk ubahan hidrothermal sering digunakan sebagai indikator untuk menentukan tipe dan temperatur fluida saat berinteraksi dengan batuan sekitarnya. Untuk mengetahui karakter mineral ubahan yang terbentuk, khususnya kehadiran mineral lempung pada sumur LW-1 dan LW-2, maka diperlukan studi mineral lempung dengan pendekatan metode

difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction/XRD*). Keunggulan penggunaan metode XRD yaitu dapat mengidentifikasi berbagai jenis mineral lempung secara jelas dan akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan keterdapatannya mineral lempung pada sumur LW-1 dan LW-2 berdasarkan metode XRD serta hubungannya terhadap pembentukan sistem panas bumi Gunung Lawu.

METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini difokuskan pada pengolahan data XRD terhadap 27 conto batuan yang berasal dari sumur LW-1 dan LW-2, untuk kemudian dapat dianalisis bersama dengan data petrografi. Analisis petrografi dengan menggunakan mikroskop polarisasi dilakukan agar dapat diketahui jenis batuan dan mineral sekunder yang terbentuk serta intensitas ubahannya. Sedangkan, untuk mengetahui kehadiran mineral lempung yang tidak bisa ditentukan jenisnya secara petrografis dapat dilakukan melalui analisis XRD.

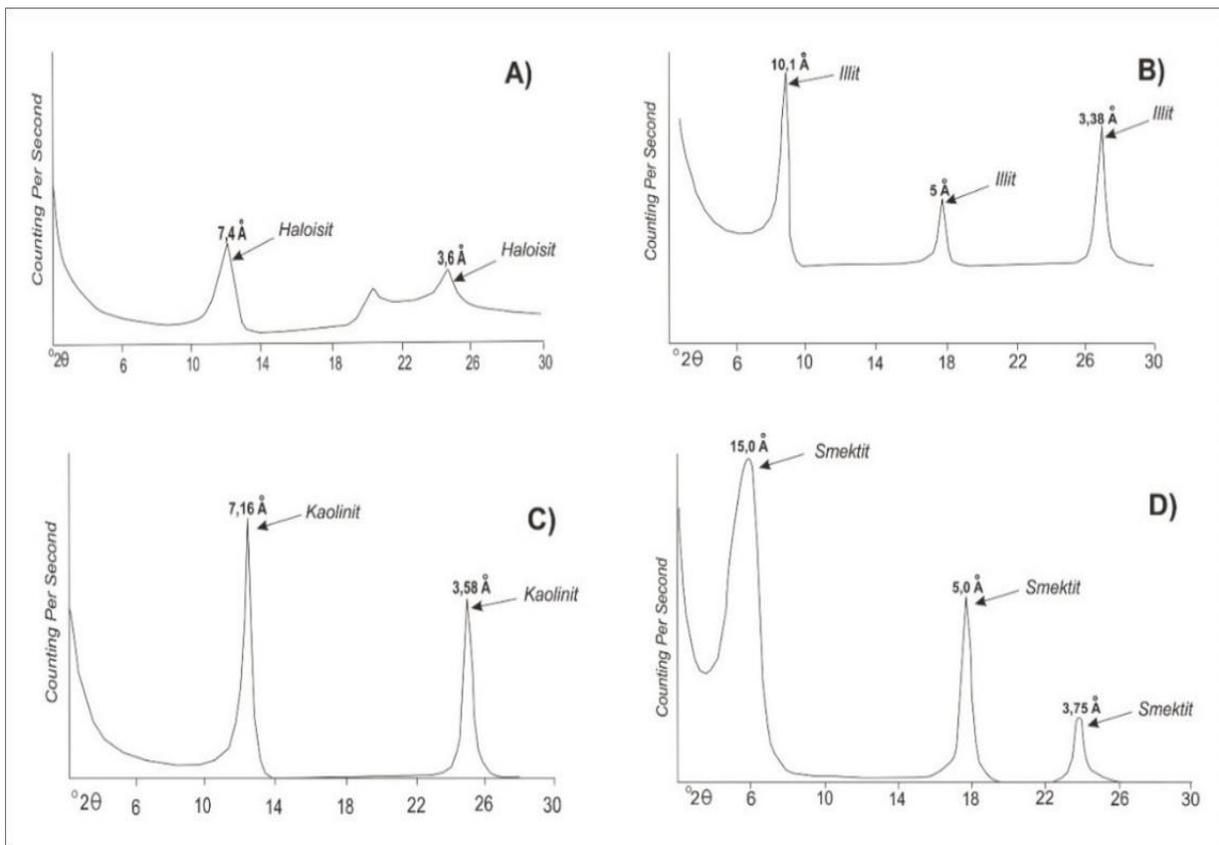
Moore dan Reynolds (1997) menyebutkan bahwa analisis XRD yang menggunakan spektrum sinar-X dengan panjang gelombang sekitar 20 μm - 2 nm sangat cocok untuk mengidentifikasi mineral lempung, hal ini dikarenakan mineral lempung mempunyai ukuran yang sangat halus (kurang dari 2 μm). Dalam penelitian ini, analisis XRD menggunakan perangkat mesin Shimadzu type XRD-7000 dengan kondisi pengoperasian pada 40 kV dan 40 mA serta radiasi $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda_1 = 1,5406 \text{ \AA}$). Seluruh conto mineral lempung yang digunakan dalam penelitian ini, dianalisis XRD secara *bulk powder*. Preparasi *bulk powder* dilakukan pada conto batuan dalam kondisi kering. Cuplikan dari conto batuan yang dianggap representatif akan dipreparasi terlebih dahulu dengan cara ditumbuk untuk kemudian dihaluskan dengan *tema mill* hingga dapat lolos melalui ayakan penyaring berukuran 200 mesh. Selanjutnya, dilakukan penggerusan

hingga menjadi serbuk sangat halus berukuran lempung. Serbuk sangat halus hasil penggerusan, diletakkan ke dalam *sample holder*. Setelah seluruh rangkaian preparasi dengan metode *bulk powder* dilakukan, conto mineral lempung sudah dapat digunakan pada perangkat mesin analisis XRD.

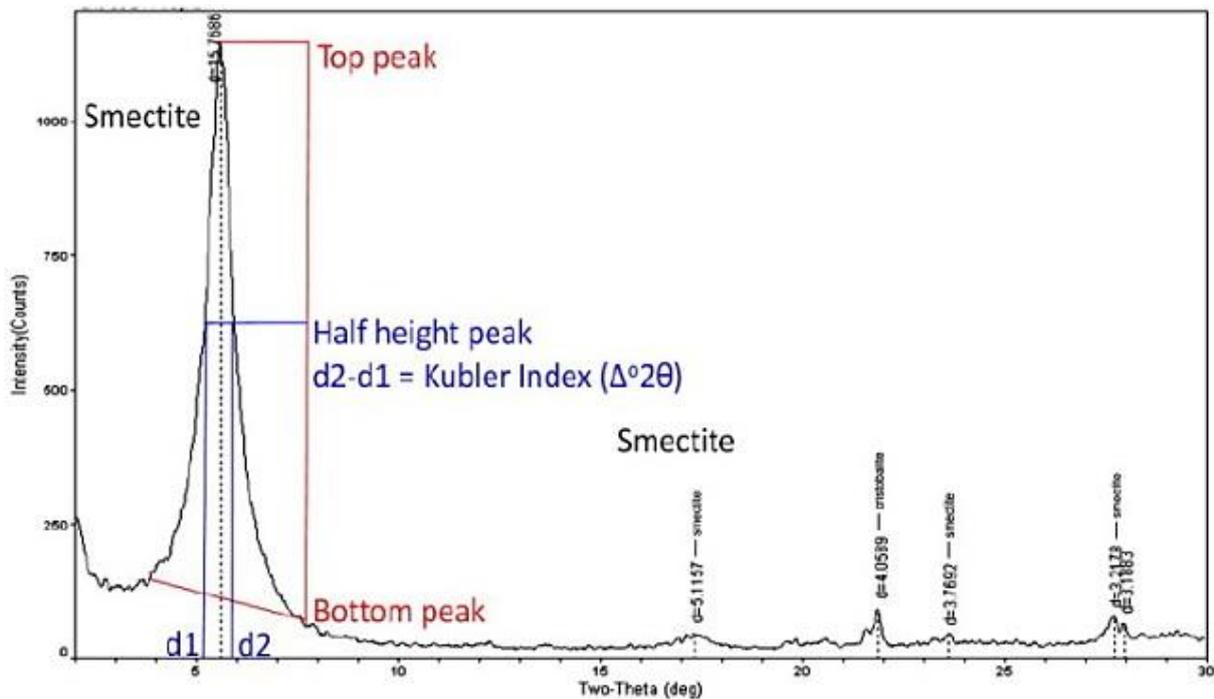
Identifikasi mineral lempung melalui analisis XRD dapat dilakukan melalui pencocokan posisi puncak difraksi dengan data yang terdapat pada standar *Powder Diffraction File* (PDF). Dalam penelitian ini, interpretasi mineral lempung berdasarkan pola XRD mengacu pada Moore dan Reynolds (1997), seperti yang tampak pada Gambar 1. Posisi puncak difraksi, tinggi puncak difraksi, lebar dan bentuk

puncak difraksi serta intensitas difraksi merupakan hal yang sangat diperhatikan dalam mengidentifikasi mineral lempung.

Sementara itu, Eberl and Velde (1989) menjelaskan bahwa untuk mengukur kristalinitas suatu mineral dapat menggunakan lebar pada setengah *peak* XRD (*Full Width Half Maximum*/FWHM), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. FWHM merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung derajat kristalinitas. Nilai derajat kristalinitas dikenal juga sebagai indeks Kubler, biasa dinyatakan dalam $^{\circ}\Delta 2\theta$. Seluruh analisis XRD dan petrografi dilakukan di Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral Batubara Panas Bumi, Badan Geologi - Bandung.



Gambar 1. Pola XRD yang digunakan sebagai identifikasi mineral lempung pada sumur penelitian (Modifikasi dari Moore dan Reynolds, 1997)

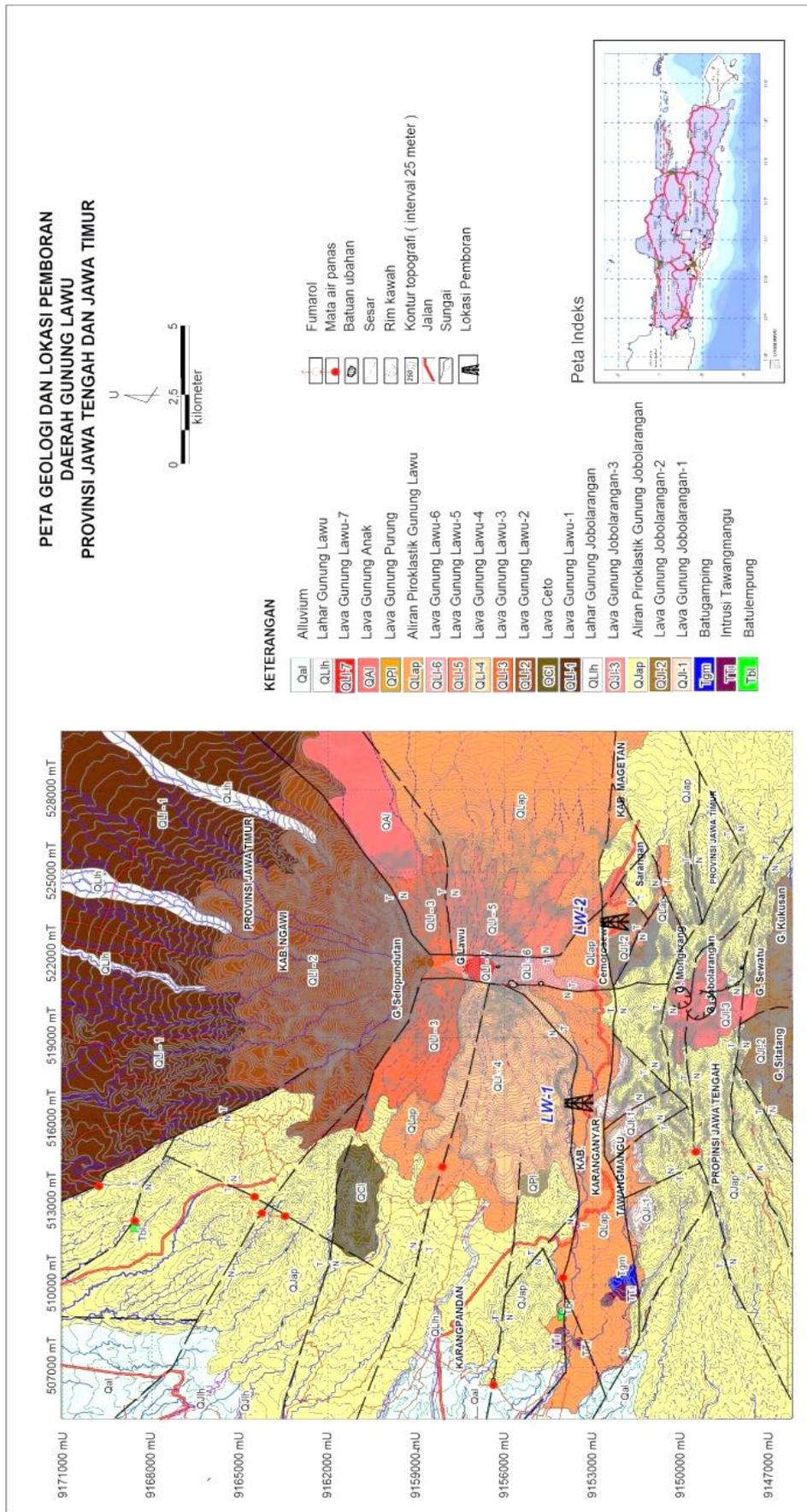


Gambar 2. Contoh pengukuran kristalinitas pada mineral lempung (smektit). Derajat kristalinitas diukur sebagai lebar pada setengah intensitas maksimum (Modifikasi dari Prasetyo,dkk., 2015)

GEOLOGI

Gunung Lawu termasuk dalam gunung api Kuartar yang terbentuk akibat adanya penunjaman Lempeng Indo-Australia yang menyusup dibawah Lempeng Eurasia (Hamilton, 1979). Secara umum, geologi daerah penelitian tersusun oleh batuan sedimen, batuan intrusi dan batuan vulkanik serta endapan permukaan yang berumur Tersier hingga Kuartar (Anonim, 2009). Pada daerah penelitian terdapat beberapa pusat erupsi yang dapat menghasilkan produk batuan vulkanik berumur Kuartar, seperti yang berasal dari Gunung Jabolarangan, Gunung Lawu, Gunung Purung dan Gunung Anak. Secara umum, jenis batuan vulkanik di daerah penelitian terdiri dari aliran lava, aliran piroklastik dan kubah lava. Aliran lava dan kubah lava yang terbentuk di daerah

penelitian memiliki komposisi andesitik hingga basaltik, sedangkan aliran piroklastik memiliki komponen berupa fragmen litik, tuff dan breksi (Anonim, 2009). Lebih Lanjut, Anonim (2009) menjelaskan bahwa struktur geologi yang teramati di daerah Gunung Lawu berupa *Rim* kawah di daerah puncak Gunung Jobolarangan yang merupakan bidang runtuh (*collapse*) dan sesar-sesar normal berarah barat-timur serta berarah utara-selatan yang mengontrol kemunculan manifestasi panas bumi di daerah penelitian (Gambar 3). Manifestasi permukaan yang dijumpai di daerah Gunung Lawu berupa mata air panas bertemperatur 32,4°C s.d. 94°C dan fumarol dengan temperatur sekitar 93°C serta ubahan hidrotermal dengan tipe ubahan berupa argilik-argilik lanjut (Anonim, 2009).



Gambar 3. Peta geologi dan manifestasi panas bumi serta lokasi sumur LW-1 dan LW-2 (Modifikasi dari Anonim, 2009)

Anonim (2010a, 2010b) menyebutkan bahwa litologi bawah permukaan yang terdapat pada sumur LW-1 dan LW-2 terdiri dari Breksi Tuf, Basalt, Breksi Tuf Terubah, Basalt Terubah, Andesit, dan Andesit Terubah (Gambar 4 dan 5). Pada sumur LW-1, breksi tuf dijumpai pada kedalaman 6 m s.d. 25 m, 69 m s.d. 74,4 m dan 138,20 m s.d. 161,20 m, sedangkan pada sumur LW-2 satuan ini dijumpai pada kedalaman 3 m s.d. 25 m. Kehadiran basalt dan basalt terubah hanya ditemukan di sumur LW-1, dalam hal ini basalt dijumpai pada kedalaman 25 m s.d. 69 m, 74,4 m s.d. 138,20 m dan 161,2 m s.d. 166,5 m, sedangkan basalt terubah hadir s.d. kedalaman 203,5 m, dan kedalaman 208,80 m s.d. 242,95 m. Breksi tuf terubah ditemukan pada kedalaman 166,40 m s.d. 196,60 m dan 203,50 m s.d. 208,80 m di sumur LW-1, sedangkan pada sumur LW-2 dijumpai di kedalaman 103 m s.d. 145 m, 170,80 m s.d. 237 m, dan 248,90 m s.d. 252 m. Sementara itu, keterdapatan andesit dan andesit terubah hanya dijumpai pada sumur LW-2. Andesit ditemukan pada kedalaman 25 m s.d. 103 m, sedangkan andesit terubah dijumpai di kedalaman 145 m s.d. 170,80 m dan 237 m s.d. 248,9 m.

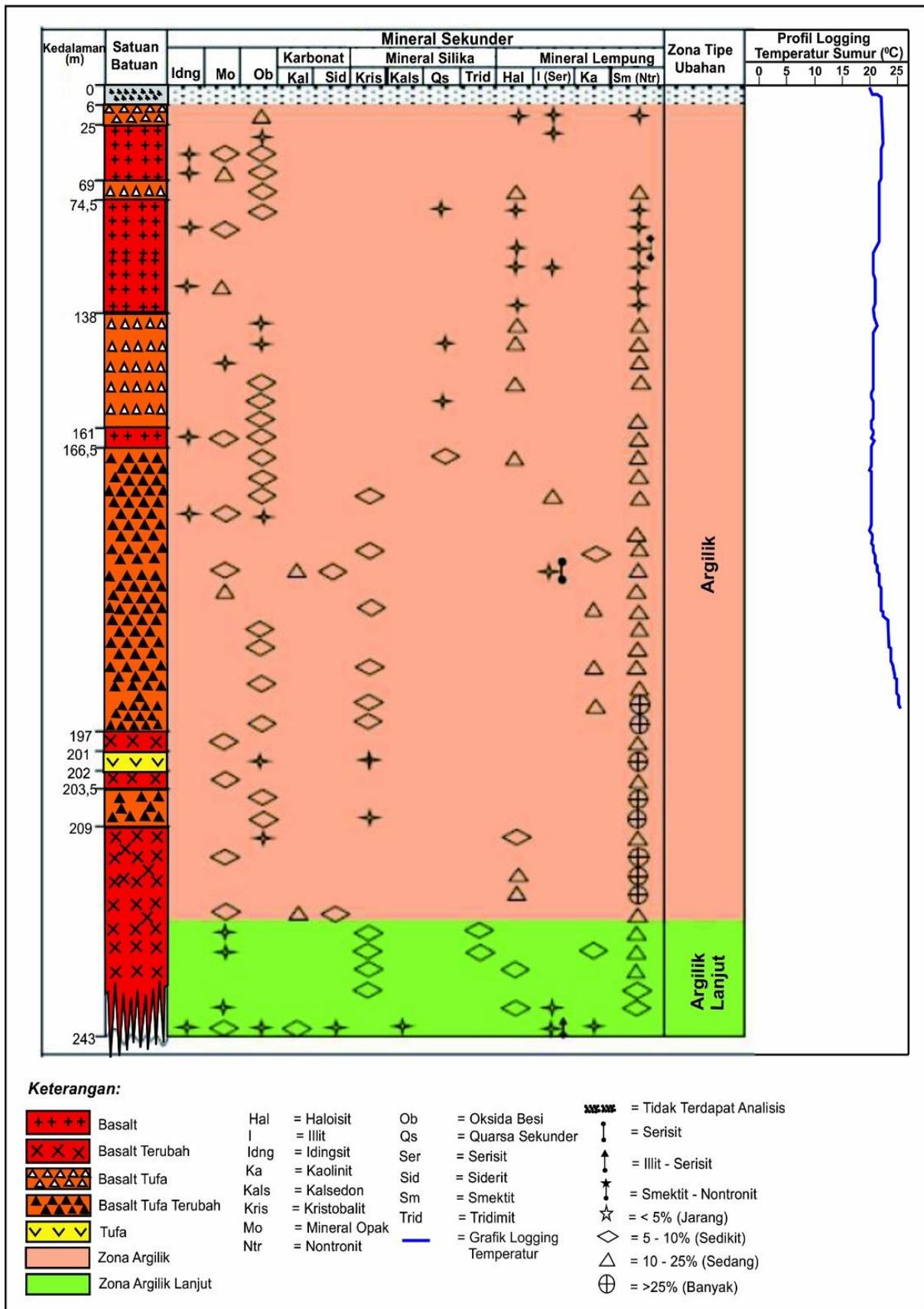
Menurut Permana (2011), komposisi mineral ubahan hidrotermal yang hadir pada sumur LW-1 dan LW-2 terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu mineral silika (kristobalit, kalsedon, kuarsa sekunder dan

tridimit), karbonat (kalsit dan siderit), mineral opak, oksida besi, idingsit, stilpnomelan dan mineral lempung (Gambar 4 dan Gambar 5). Lebih lanjut, Permana (2011) menyebutkan bahwa litologi bawah permukaan pada sumur LW-1 dan LW-2 telah mengalami ubahan hidrotermal dengan intensitas lemah hingga kuat dan memiliki tipe ubahan berupa argilik-argilik lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis XRD pada batuan di sumur LW-1 dan LW-2, menunjukkan kehadiran mineral lempung hasil ubahan hidrotermal yang terdiri dari haloisit, kaolinit, smektit dan Illit (Tabel 1).

Haloisit merupakan mineral hasil ubahan yang dapat mengindikasikan kehadiran fluida asam di masa lampau dengan temperatur pembentukan kurang dari 120°C (Kingstone Morrison, 1995) dan merupakan penciri tipe zona ubahan argilik hingga argilik lanjut (Corbett dan Leach, 1998). Pada sumur LW-1 haloisit muncul mulai di kedalaman 13 m s.d. 167 m dan kedalaman 213 m s.d. 242 m (Gambar 4). Namun untuk sumur LW-2, kehadiran haloisit hampir muncul di semua kedalaman (Gambar 5). Hasil analisis XRD di kedalaman 121 m pada sumur LW-2 (Gambar 6), menunjukkan bahwa haloisit berada di 7,25 Å untuk basal pertama dan pada 3,63 Å untuk basal kedua.



Gambar 4. Distribusi mineral sekunder sumur LW-1 (Modifikasi dari Permana, 2011 dan Anonim, 2010a)

Tabel 1. Karakteristik difraksi sinar-X pada mineral lempung di sumur LW-1 dan LW-2

| Kedalaman (m) | Ketebalan Unit Sel (d spacing) | Mineral Lempung | 00 | $\theta\Delta 2\theta$ | L | |
|------------------|-----------------------------------|-----------------|----------|------------------------|--------|--------|
| LW-1 | | | | | | |
| 153 | 2,99 | Smektit | 003 | 0,500 | 168,52 | |
| 167 | 4,48 | Smektit | 002 | 0,300 | 280,87 | |
| | 3,00 | | 003 | 0,300 | 286,36 | |
| 172 | 9,89 | Illit | 001 | 0,400 | 208,09 | |
| | 14,96 | | 001 | 0,750 | 110,79 | |
| 177 | 4,48 | Smektit | 002 | 0,500 | 168,52 | |
| | 2,99 | | 003 | 0,300 | 286,36 | |
| | 7,07 | | Kaolinit | 001 | 0,300 | 278,25 |
| | 3,73 | 002 | | 0,200 | 424,57 | |
| 180 | 14,96 | Smektit | 001 | 0,800 | 103,87 | |
| | 4,48 | | 002 | 0,400 | 210,65 | |
| | 3,02 | | 003 | 0,300 | 286,36 | |
| 187 | 14,96 | Smektit | 001 | 0,900 | 92,33 | |
| | 4,48 | | 002 | 0,300 | 280,87 | |
| | 2,99 | | 003 | 0,200 | 429,54 | |
| | 7,07 | | Kaolinit | 001 | 0,200 | 417,38 |
| 190 | 14,96 | Smektit | 001 | 0,900 | 92,33 | |
| | 4,48 | | 002 | 0,300 | 280,87 | |
| | 3,02 | | 003 | 0,200 | 429,54 | |
| | 7,07 | | Kaolinit | 001 | 0,200 | 417,38 |
| 3,73 | 002 | 0,100 | | 849,13 | | |
| 196 | 14,96 | Smektit | 001 | 0,900 | 92,33 | |
| | 4,48 | | 002 | 0,400 | 210,65 | |
| | 3,02 | | 003 | 0,300 | 286,36 | |
| 201 | 14,96 | Smektit | 001 | 0,900 | 92,33 | |
| | 4,48 | | 002 | 0,400 | 210,65 | |
| | 3,02 | | 003 | 0,300 | 286,36 | |
| 206 | 14,96 | Smektit | 001 | 0,900 | 92,33 | |
| | 4,48 | | 002 | 0,400 | 210,65 | |
| | 3,02 | | 003 | 0,300 | 286,36 | |
| 229 | 15,51 | Smektit | 001 | 0,700 | 118,71 | |
| | 4,45 | | 002 | 0,400 | 210,65 | |
| | 3,01 | | 003 | 0,300 | 286,36 | |
| 234 | 15,49 | Smektit | 001 | 0,700 | 118,71 | |
| | 4,43 | | 002 | 0,500 | 168,52 | |
| | 3,00 | | 003 | 0,300 | 286,36 | |
| 239 | 14,96 | Smektit | 001 | 0,900 | 92,33 | |
| | 4,48 | | 002 | 0,400 | 210,65 | |
| | 3,02 | | 003 | 0,300 | 286,36 | |
| 241 | 15,10 | Smektit | 001 | 0,600 | 138,49 | |
| | 4,67 | | 002 | 0,300 | 280,87 | |
| | 2,99 | | 003 | 0,200 | 429,54 | |
| LW-2 | | | | | | |
| 103 | 7,24 | Kaolinit | 001 | 0,900 | 92,75 | |
| 115 | 7,13 | Kaolinit | 001 | 0,400 | 208,69 | |
| | 4,43 | | 002 | 0,300 | 280,65 | |
| 121 | 7,25 | Haloisit | 001 | 0,800 | 104,30 | |
| | 3,63 | | 002 | 0,200 | 424,37 | |
| 128 | 7,13 | Kaolinit | 001 | 0,700 | 119,25 | |
| | 3,61 | | 002 | 0,300 | 280,65 | |
| | 2,30 | | 003 | 0,200 | 424,57 | |
| 162 | 7,24 | Kaolinit | 001 | 0,400 | 208,69 | |
| | 4,43 | | 002 | 0,200 | 420,98 | |
| 171 | 9,92 | Illit | 001 | 0,200 | 416,18 | |
| | 7,24 | | Kaolinit | 001 | 0,600 | 139,13 |
| | 4,43 | | | 002 | 0,300 | 280,65 |
| 193 | 7,24 | Kaolinit | 001 | 0,600 | 139,13 | |

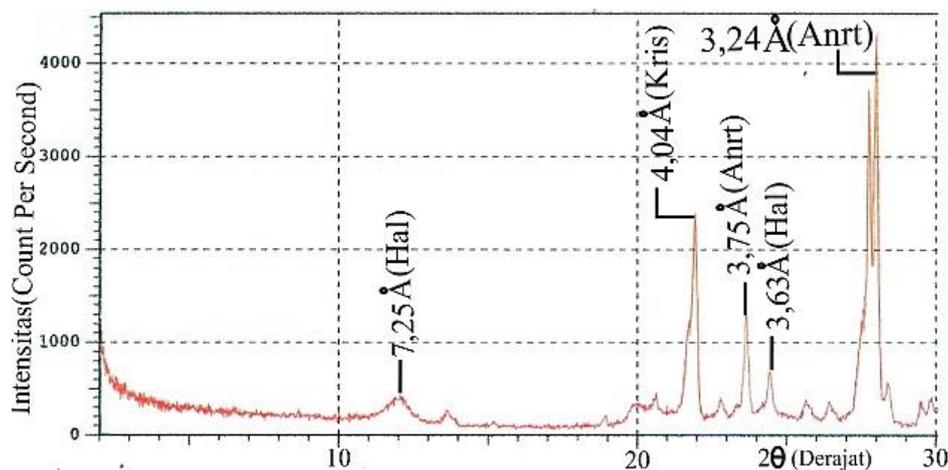
| Kedalaman (m) | Ketebalan Unit Sel (d spacing) | Mineral Lempung | 00 l | $^{\circ}\Delta 2\theta$ | L |
|---------------|--------------------------------|-----------------|----------|--------------------------|--------|
| 198 | 4,43 | Kaolinit | 002 | 0,300 | 280,65 |
| | 7,24 | | 001 | 0,600 | 139,13 |
| | 4,43 | | 002 | 0,300 | 280,65 |
| 222 | 2,99 | Smektit | 003 | 0,300 | 286,36 |
| 239 | 7,10 | Kaolinit | 001 | 0,300 | 278,25 |
| | 4,43 | | 002 | 0,200 | 420,98 |
| 243 | 4,45 | Smektit | 002 | 0,500 | 168,52 |
| | 3,01 | | 003 | 0,200 | 429,54 |
| | 3,49 | | Kaolinit | 002 | 0,200 |
| 250 | 9,94 | Illit | 001 | 0,500 | 166,47 |
| | 4,41 | | 002 | 0,300 | 280,78 |
| | 3,35 | | 003 | 0,200 | 426,25 |
| 252 | 4,45 | Smektit | 002 | 0,400 | 210,65 |
| | 3,01 | | 003 | 0,300 | 286,36 |

Keterangan:

00 l : Basal Ke-1,2, 3,...dst

$^{\circ}\Delta 2\theta$: Derajat Kristalinitas

L : Ukuran Butir Kristal (nm)



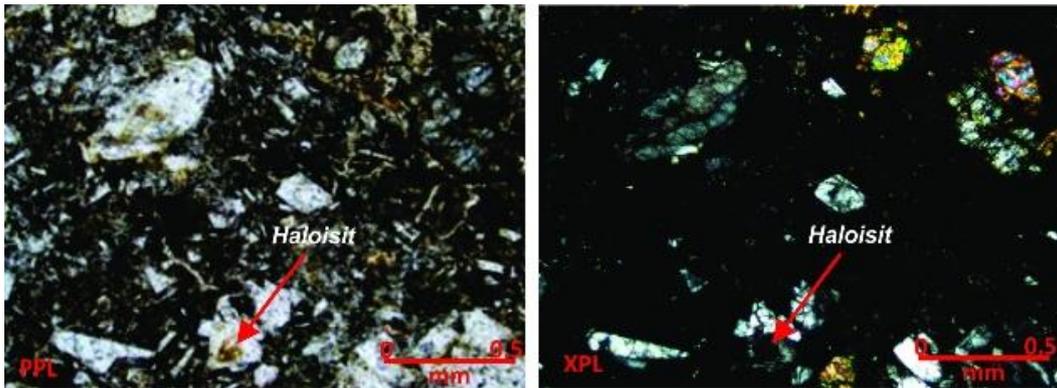
Keterangan: Anrt = Anortit; Hal = Haloisit; Kris = Kristobalit

Gambar 6. Analisis XRD dikedalaman 121 m pada sumur LW-2

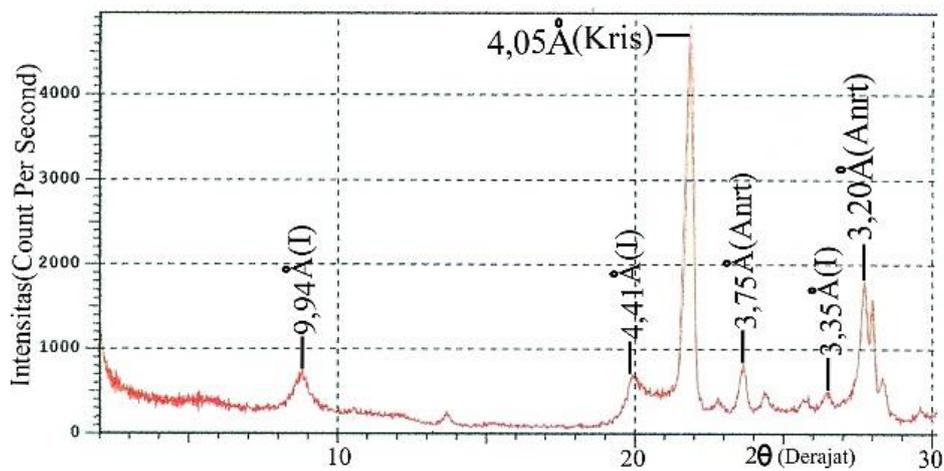
Keberadaan haloisit pada sumur penelitian, didukung juga oleh hasil petrografi yang menunjukkan adanya haloisit dengan ciri berukuran sangat halus dan umumnya hadir mengubah massa dasar gelas dan fenokris plagioklas (Gambar 7).

Pada sumur LW-1 dan LW-2, kehadiran illit tersebar secara tidak merata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Hasil analisis XRD di kedalaman 250 m pada sumur LW-2, menunjukkan bahwa kemunculan illit berada di 9,94 Å untuk basal pertama, basal kedua berada di 4,41 Å sedangkan untuk basal ketiga, illit muncul pada 3,35 Å (Gambar 8).

Illit merupakan mineral hasil ubahan plagioklas dan gelas yang hadir mengisi rongga-rongga (*vugs*) pada batuan, seperti tampak pada hasil analisis petrografi pada sumur LW-2 di kedalaman 250 m yang menunjukkan kehadiran illit dengan dicirikan oleh bentuk serabut berwarna kekuningan dengan bias rangkap rendah yang hadir mengisi rongga (*vug*) dan sebagian besar merupakan ubahan massa dasar gelas (Gambar 9). Illit merupakan mineral yang terbentuk pada kondisi larutan ber-pH netral hingga sedikit asam (Kingston Morrison Ltd, 1995) dengan temperatur pembentukan berkisar antara 220°C s.d. 300°C (Reyes, 1990).

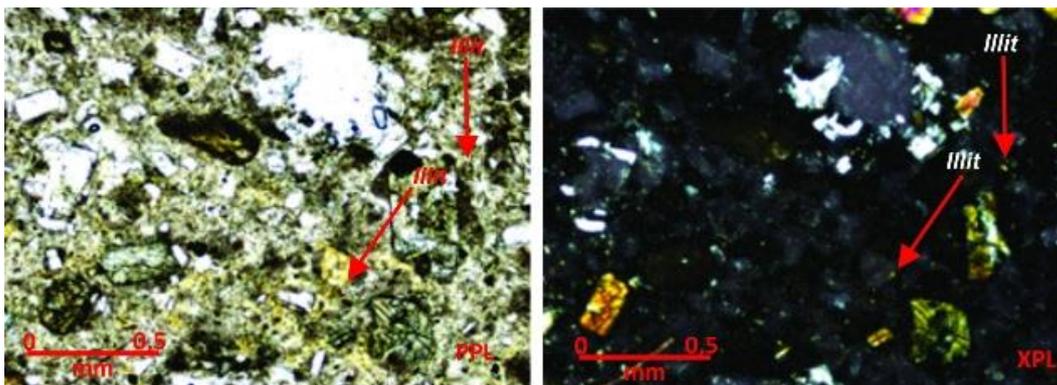


Gambar 7. Keberadaan haloisit hadir mengubah massa dasar dan fenokris plagioklas di kedalaman 121 m pada sumur LW-2



Keterangan : Anrt = Anortit ; I = Illit ; Kris = Kristobalit

Gambar 8. Analisis XRD di kedalaman 250 m pada sumur LW-2



Gambar 9. Kenampakan illit yang sebagian besar hadir mengubah massa dasar gelas vulkanik pada kedalaman 250 m di sumur LW-2

Keberadaan kaolinit di sumur LW-1 hadir secara setempat, namun pada sumur LW-2 kaolinit hadir lebih dominan dibandingkan dengan sumur LW-1 (Gambar 4 dan Gambar 5). Secara umum, pola XRD untuk kaolinit pada basal pertama berada sekitar 7,13 Å, sedangkan

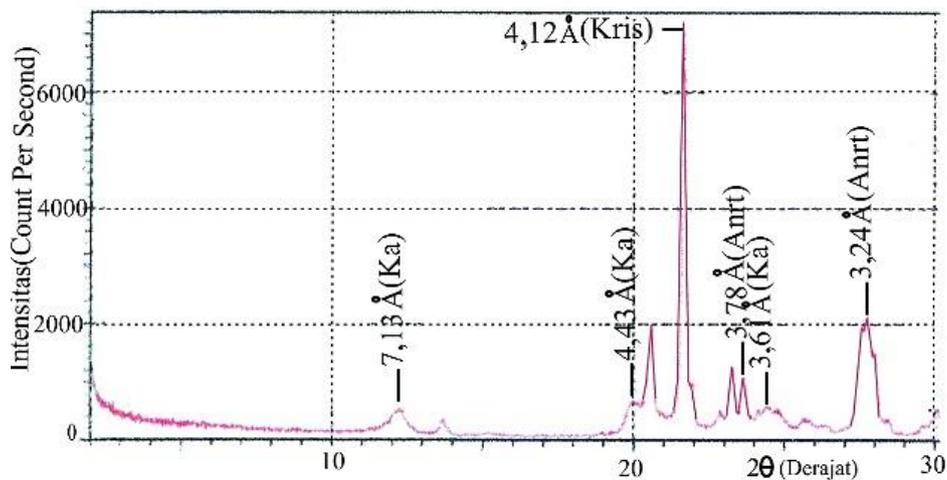
pada basal kedua berkisar di 4,43 Å dan untuk basal ketiga berada di sekitar 3,61 Å (Gambar 10). Secara mikroskopis, kaolinit dicirikan berbentuk serabut kekuningan dengan bias rangkap rendah, keruh dan tampak mengubah plagioklas dan gelas vulkanik, seperti yang ditunjukkan pada

sumur LW-1 di kedalaman 128 m (Gambar 11). Kaolinit merupakan mineral lempung yang memiliki temperatur pembentukan hingga 220°C pada kondisi larutan pH asam (Reyes, 1990) dan digunakan sebagai penciri zona argilik oleh Corbett dan Leach (1998). Kaolinit dan haloisit terbentuk pada temperatur rendah yang dapat mengindikasikan adanya proses interaksi batuan dengan fluida asam.

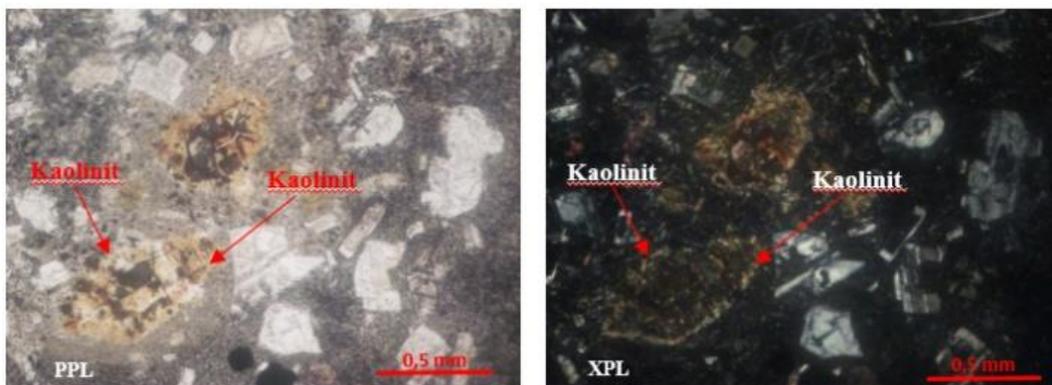
Smektit hadir secara dominan pada setiap kedalaman yang terdapat pada sumur LW-1 dan sumur LW-2 (Gambar 4 dan Gambar 5). Pada sumur LW-1, smektit mulai hadir di kedalaman 13 m dan intensif hadir kembali pada kedalaman 70 m. Sedangkan di sumur LW-2, kemunculan smektit teramati mulai pada kedalaman 106,6 m dan pada kedalaman yang lebih dalam yaitu pada kedalaman 140 m, smektit hadir

secara berlimpah. Smektit merupakan mineral lempung yang mudah diidentifikasi melalui analisis XRD. Pada basal pertama, smektit menunjukkan pola XRD pada kisaran 14,96 Å s.d. 15,49 Å, sedangkan pada basal kedua berada pada kisaran 4,43 Å s.d. 4,48 Å (Gambar 12 dan 13). Pengamatan secara mikroskopis di kedalaman 234 m pada sumur LW - 1, menunjukkan smektit dicirikan oleh warna abu-abu – coklat pucat dan merupakan hasil ubahan dari plagioklas, piroksen serta gelas vulkanik (Gambar 14).

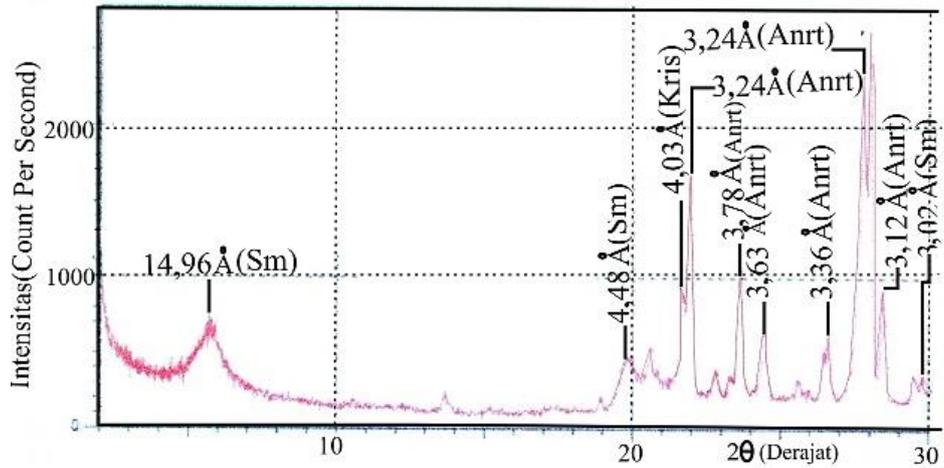
Kehadiran smektit merupakan hasil proses argilitisasi terhadap mineral primer seperti plagioklas, piroksen dan gelas vulkanik yang terbentuk pada temperatur rendah yaitu sekitar 180°C (Reyes, 1990), serta dapat digunakan sebagai penciri tipe zona ubahan argilik (Corbett dan Leach, 1998).



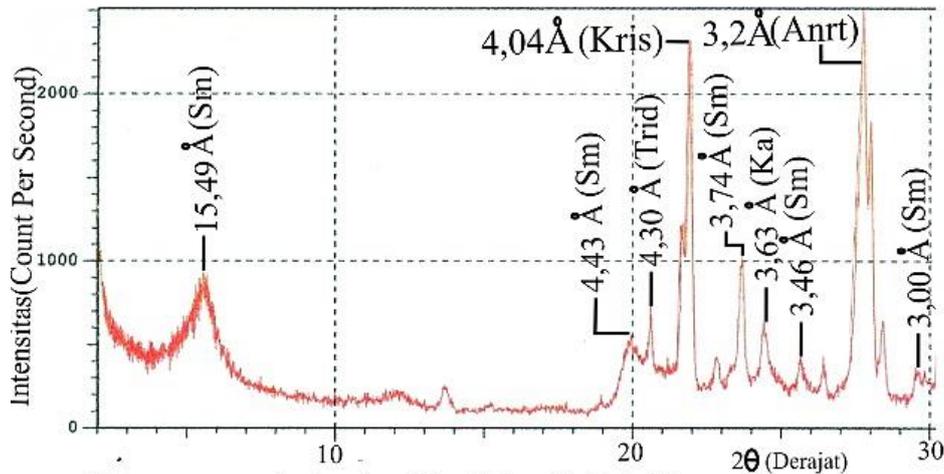
Keterangan : Anrt = Anortit ; Ka = Kaolinit ; Kris = Kristobalit
Gambar 10. Analisis XRD di kedalaman 128 m pada sumur LW-2



Gambar 11. Kaolinit hadir mengubah mineral mafik dan felsik di kedalaman 128 m pada sumur LW-2

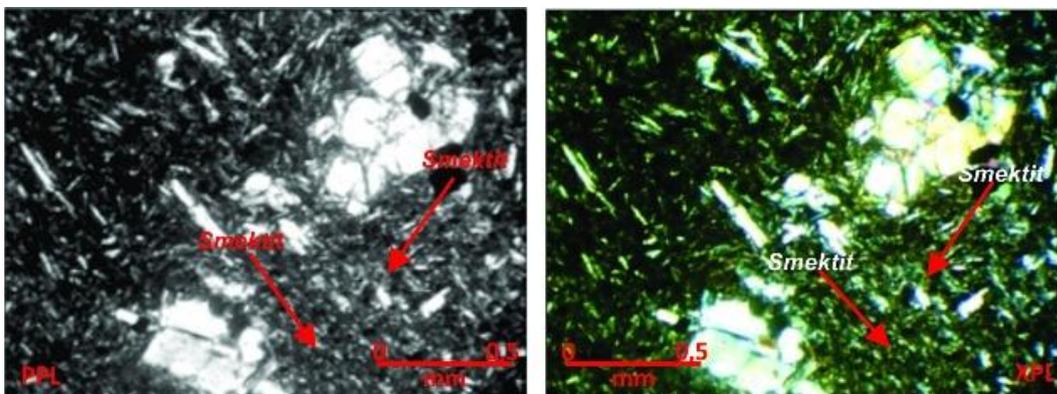


Keterangan : Anrt = Anortit ; Kris = Kristobalit; Sm = Smektit
Gambar 12. Analisis XRD di kedalaman 201 m pada sumur LW-1



Keterangan : Anrt = Anortit ; Kris = Kristobalit
 Trid = Tridimit ; Sm = Smektit

Gambar 13. Analisis XRD di kedalaman 234 m pada sumur LW-1



Gambar 14. Smektit hadir mengubah mineral mafik pada kedalaman 234 m di sumur LW-1

Hasil pengolahan data XRD dengan menggunakan derajat kristalinitas (Tabel 1), menunjukkan bahwa pada sumur LW-1 memiliki nilai $^{\circ}\Delta 2\theta$ sekitar 0,1 s.d. 0,9, sedangkan pada sumur LW-2 nilainya berkisar 0,2 s.d. 0,9. Ma, dkk (1992) menjelaskan bahwa nilai indeks Kubler cenderung akan mengecil seiring dengan adanya peningkatan temperatur dan kedalaman, hal tersebut sesuai dengan rentang nilai $^{\circ}\Delta 2\theta$ yang terdapat pada kedua sumur di daerah penelitian.

Selain derajat kristalinitas, melalui hasil analisis XRD dapat juga diperoleh ukuran butir suatu kristal dengan menggunakan persamaan *Scherrer* (Fitriyana, dkk., 2018), yaitu :

$$L = \frac{57,3 \times k \times \lambda}{FWHM \times \cos \theta}$$

dengan :

L = ukuran butir kristal (nm)

k = konstanta oksida (0,94)

λ = panjang gelombang sinar-X
(1,5406 Å)

FWHM = *Full Width Half Maximum*
($^{\circ}\Delta 2\theta$; lihat Tabel 1)

θ = sudut posisi puncak difraksi kristal

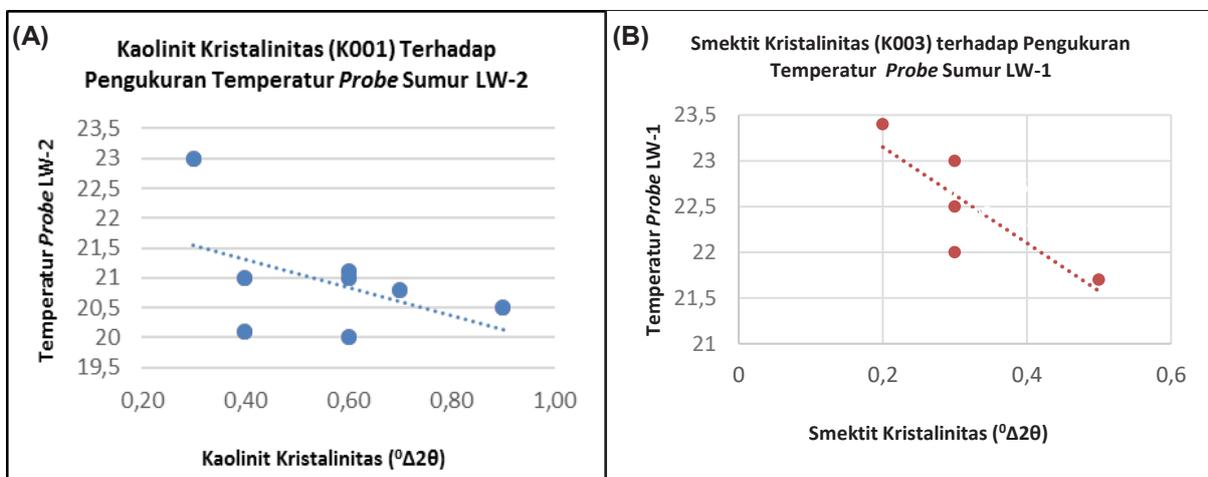
57,3 = faktor koreksi dari derajat ke radian

Hasil perhitungan ukuran butir kristal pada sumur LW-1 dan LW-2 menunjukkan bahwa smektit memiliki ukuran butir sekitar 92,33 nm s.d. 429,54 nm, sedangkan illit

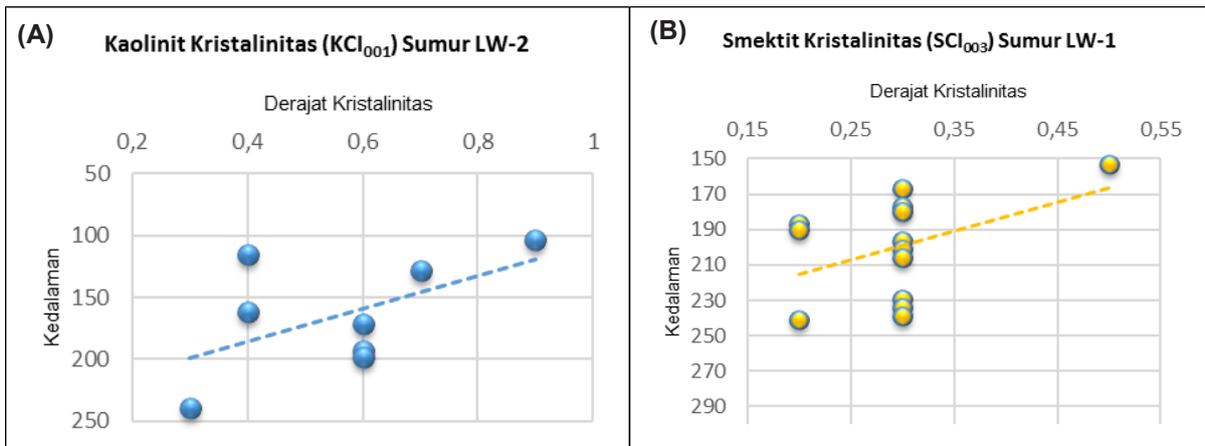
mempunyai ukuran butir berkisar 166,47 nm s.d. 426,25 nm. Sementara itu, untuk kaolinit dan haloisit secara berurutan memiliki ukuran berkisar 92,75 nm s.d. 849,13 nm dan 104,30 nm. Secara lengkap, hasil perhitungan ukuran butir kristal pada sumur LW-1 dan LW-2 dengan menggunakan formulasi *Scherrer* tersaji pada Tabel 1.

Ji dan Browne (2000) menyebutkan bahwa perubahan struktur kristal mineral lempung sangat dipengaruhi oleh faktor temperatur. Hal tersebut tampak pada saat temperatur mengalami peningkatan maka bentuk kistal dari mineral lempung semakin sempurna yang kemudian diikuti oleh semakin kecilnya nilai $^{\circ}\Delta 2\theta$. Dalam hal ini, sumur LW-1 dan LW-2 memiliki kecenderungan nilai $^{\circ}\Delta 2\theta$ yang semakin mengecil seiring dengan peningkatan temperatur dan bertambahnya kedalaman, seperti yang terlihat pada Gambar 15 dan Gambar 16.

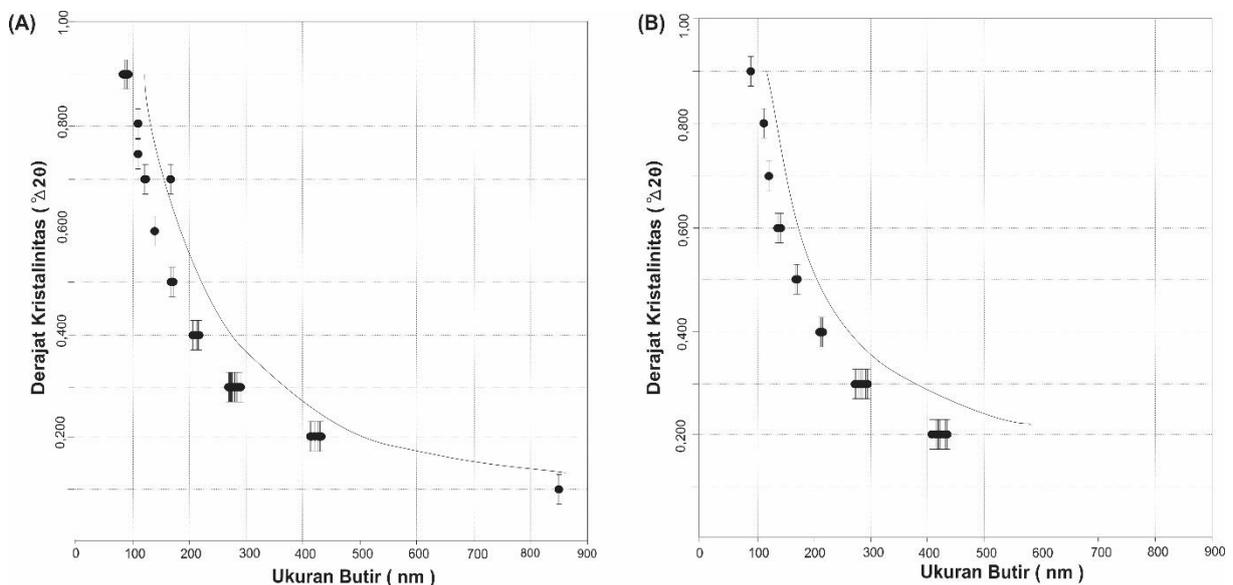
Pengaruh ukuran butir pada pola XRD menunjukkan bahwa derajat kristalinitas mineral lempung cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya ukuran butir (Gambar 17). Hal tersebut sesuai dengan yang diungkapkan oleh Frey, 1986 (dalam Ma, dkk., 1992) yang menjelaskan bahwa semakin kasar bentuk butir kristal maka akan cenderung semakin terkristalisasi, sehingga dapat menyebabkan menurunnya nilai derajat kristalinitas.



Gambar 15. Grafik hubungan antara derajat kristalinitas dan temperatur di sumur LW-2 (A) dan LW-1 (B)



Gambar 16. Grafik hubungan antara derajat kristalinitas dan kedalaman di sumur LW-2 (A) dan LW-1 (B)



Gambar 17. Variasi pola XRD berdasarkan perbedaan ukuran butir pada sumur LW-1 (A) dan sumur LW-2 (B). Simbol ϕ menunjukkan lebar pada setengah intensitas maksimum terhadap ukuran butir, sedangkan garis penuh (-) menunjukkan *trend* dari variasi pola XRD berdasarkan perbedaan ukuran butir

Mineral lempung hasil ubahan yang terdapat pada sumur LW-1 dan LW-2 dipengaruhi oleh dua jenis fluida hidrotermal yakni fluida asam dan fluida netral. Hal tersebut tampak dari kehadiran kaolinit dan haloisit di sumur LW-1 dan LW-2 yang mengindikasikan adanya fluida asam di masa lampau, seperti yang diungkapkan oleh Kingstone Morrison (1995). Keterdapatannya fluida asam ini diduga merupakan hasil proses kondensasi pada kedalaman yang dangkal. Sedangkan, keberadaan smektit

mencirikan kemungkinan adanya pengaruh fluida netral pada sumur LW-1 dan LW-2.

Pada sumur LW-2, kehadiran haloisit di kedalaman 121 m (Gambar 7), Illit pada kedalaman 250 m (Gambar 9) dan kaolinit di kedalaman 128 m (Gambar 11) serta smektit pada kedalaman 234 m di sumur LW-1 (Gambar 14), mengindikasikan bahwa pada sumur penelitian telah terjadi interaksi antara fluida hidrotermal dan batuan yang dilewatinya, terutama batuan vulkanik Gunung Lawu. Hal tersebut

tercermin dari adanya mineral piroksen, plagioklas dan gelas vulkanik yang berubah menjadi mineral lempung.

Kehadiran mineral lempung yang terdapat pada sumur LW-1 dan LW-2 dapat digunakan sebagai indikator temperatur bawah permukaan pada saat mineral tersebut terbentuk. Keberadaan smektit mencirikan pembentukan temperatur masa lampau di daerah penelitian sekitar 180°C, sedangkan illit menandakan bahwa temperatur masa lampau lebih dari 220°C. Sementara itu, kehadiran haloisit dan kaolinit secara berurutan memiliki pembentukan temperatur masa lampau sekitar kurang dari 120°C dan kurang dari 220°C. Namun demikian, hasil pengukuran *logging* temperatur pada sumur LW-1 dan LW-2 (Gambar 4 dan Gambar 5) menunjukkan temperatur antara 16°C s.d. 25°C. Adanya perbedaan antara kondisi temperatur saat ini berdasarkan hasil *logging* dengan temperatur pada saat mineral lempung hasil ubahan terbentuk, memperlihatkan bahwa telah terjadi pendinginan (*cooling*) pada sistem hidrotermal di daerah penelitian yang diduga akibat air meteorik yang masuk kedalam zona aliran kondensasi.

Keterdapatannya mineral lempung pada sumur LW-1 dan LW-2 berfungsi sebagai lapisan penutup (*caprock*) pada sistem panas bumi Gunung Lawu. Lapisan penutup ini memiliki resistivitas listrik rendah sebagai akibat adanya kehadiran beberapa mineral hasil ubahan hidrotermal terutama mineral lempung. Anonim (2010c) menyebutkan bahwa berdasarkan data magnetotelurik, lapisan penutup di daerah penelitian berada di dekat permukaan hingga elevasi sekitar 0 m. Keberadaan lapisan penutup di daerah penelitian yang kaya akan mineral lempung hasil ubahan, seperti smektit, illit, kaolinit dan haloisit merupakan salah satu elemen penting dalam terbentuknya sistem panas bumi Gunung Lawu. Hal tersebut disebabkan oleh karakteristik lapisan penutup yang bersifat *impermeable*, sehingga dapat mencegah keluar atau bocornya fluida panas bumi dari reservoir ke permukaan.

KESIMPULAN

Penggunaan metode XRD pada sumur LW-1 dan LW-2 dapat memberikan petunjuk tentang derajat kristalinitas dan hubungannya terhadap temperatur serta ukuran butir kristal. Mineral lempung hasil ubahan hidrotermal di daerah penelitian terdiri dari smektit, illit, kaolinit dan haloisit yang berfungsi sebagai lapisan penutup pada sistem panas bumi Gunung Lawu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kepala Bidang Panas Bumi, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara atas penggunaan data dalam penulisan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Sdri. Tatik Handayani, S.T.,M.T yang telah membantu dalam penyediaan data sekunder dan tim editor yang telah memberikan koreksi serta saran dalam penyusunan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2009. Survei Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Gunung Lawu, Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur. Pusat Sumber Daya Geologi - Badan Geologi, Bandung.
- Anonim, 2010a. Pengeboran Landaian Suhu Sumur LW-1 Daerah Panas Bumi Gunung Lawu, Kabupaten Karang Anyar, Provinsi Jawa Tengah. Pusat Sumber Daya Geologi - Badan Geologi, Bandung.
- Anonim, 2010b. Pengeboran Landaian Suhu Sumur LW-2 Daerah Panas Bumi Gunung Lawu, Kabupaten Magetan, Provinsi Jawa Timur. Pusat Sumber Daya Geologi - Badan Geologi, Bandung.
- Anonim, 2010c. Survei Magnetotelurik Daerah Panas Bumi Gunung Lawu, Kabupaten Karang Anyar, Provinsi Jawa Tengah dan Kabupaten Magetan, Provinsi Jawa Timur. Pusat Sumber Daya Geologi - Badan Geologi, Bandung.

- Browne, P.R.L., 1999. Hydrothermal alteration, 665.611 Lectures Notes. Geothermal Institute, University of Auckland.
- Corbett G. J. dan Leach T.M., 1996. Southwest Pasific Rim Au/Cu System: Structure, Alteration and Mineralization. Workshop Manual, 186 hal.
- Eberl, D.D dan Velde, B., 1989. *Beyond the Kubler Index*. Clay Miner, vol 24,571–577.
- Fitriyana,D.F., Sulardjaka, Iskandar,N., dan Dzulfikar,M.,2018. *Pengaruh Suhu Hidrotermal Terhadap Karakteristik Zeolit yang Disintesis dari Lembah Geotermal*. Majalah Ilmiah Momentum, Vol. 14, No. 1, Hal. 46-50.
- Hamilton, W.B.,1979. Tectonics of Indonesian Region, USGS Profesional Paper 1078.
- Ji,J dan Browne, P.R.L, 2000. *Relationship Between Illite Crystallinity and Temperature in Active Geothermal System of New Zealand*. Clays and Clay Minerals, Vol. 48, No. 1, 139-144.
- Kingston Morrison, 1995. Important Hydrothermal Minerals and Their Significance. Geothermal and mineral services division. Kingston Morrison Ltd, edisi ke 6.
- Ma, C., Browne, P.R.L. dan Harvey, CC., 1992. *Crystallinity of Sub Surface in The Te Mihi Sector of The Wairakei Geothermal System, New Zealand*. Proceeding New Zealand Geothermal Workshop 14 th, 267-272.
- Moore, D.M. dan Reynolds, Jr, R.C., 1997 : X-ray diffraction and The Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford University Press, 332 hal.
- Permana, L.A., 2011. Studi Karakteristik Mineral Ubahan Pada Sumur LW-1 dan LW-2 di Daerah Panas Bumi Gunung Lawu. Tesis. Departemen Teknik Geologi - Institut Teknologi Bandung. Tidak dipublikasikan.
- Prasetyo,I.M., Sardiyanto, Koestono,H., dan Thamrin,M.H., 2015. *Clay Alteration Study from Wells of Tompasso Geothermal Field, North Sulawesi, Indonesia*. Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia.
- Reyes, A.G., 1990. *Petrology of Philipine Geothermal Systems and The Application of Alteration Mineralogy to Their Assessment*. Journal Vulcanology and Geothermal, vol 43, 279-309.

| | |
|-----------|------------------|
| Diterima | : 8 Januari 2020 |
| Direvisi | : 30 Maret 2020 |
| Disetujui | : 22 April 2020 |

**ANALISIS UNIVARIAT DAN MULTIVARIAT CONTO SEDIMEN SUNGAI
DALAM PENENTUAN POTENSI MINERALISASI LOGAM
DI HALMAHERA BAGIAN TIMUR, PROVINSI MALUKU UTARA**

**UNIVARIATE AND MULTIVARIATE ANALYSIS OF STREAM SEDIMENT SAMPLE
FOR DETERMINATION OF METAL MINERALIZATION POTENTIAL
IN THE EASTERN PART OF HALMAHERA, NORTH MALUKU**

Reza Mochammad Faisal¹, Irfan Budiaji Nugroho², dan Bambang Priadi²

¹Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

²Program Sarjana, Prodi Teknik Geologi, FITB-ITB

reza.faisal@esdm.go.id

ABSTRAK

Penelitian geokimia dengan menggunakan metode analisis kandungan unsur dari conto endapan sungai aktif -80 mesh merupakan salah satu fase awal eksplorasi terutama untuk menemukan cebakan mineral logam. Halmahera bagian timur dengan tataan geologi yang kompleks dan berada dalam jalur metalogenik yang berpotensi membentuk cebakan logam, menghasilkan rona geokimia yang sangat bervariasi dan menarik. Data geokimia sedimen sungai aktif yang tertuang dalam bentuk peta sebaran unsur menyajikan informasi awal yang penting tentang indikasi mineralisasi untuk ditindaklanjuti ke tahap penelitian lebih rinci, khususnya mineralisasi nikel yang berasosiasi dengan dengan litologi Komplek Ultrabasa.

Penafsiran data geokimia di wilayah penelitian dengan pendekatan analisis statistik univariat dan multivariat yang terdiri dari unsur Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Mn, Ag, Fe, Cr, dan Au, proses pengayaan unsur geokimia di lingkungan permukaan diperlihatkan oleh asosiasi spasial Co, Ni, Fe dan Mn, yaitu pengayaan unsur disebabkan pengikatan kimiawi (*scavenging*) oleh oksida Fe dan Mn. Berdasarkan kekerabatan unsur atau hubungan antar unsur diperoleh dua kelompok unsur yaitu ikatan unsur Cu-Pb-Zn-Ag-Cr dan Co-Ni-Mn-Fe-Au, akan tetapi tidak semua kelompok asosiasi unsur dapat dihubungkan dengan litologi di daerah penelitian.

Kata kunci: geokimia, Halmahera Timur, metalogenik, mineralisasi, univariat, multivariat

ABSTRACT

Geochemical research used the analysis method of -80 mesh of active stream sediment samples is one of the early phase exploration specially in finding out metallic mineral deposits. Easternpart of Halmahera with its complex geologic setting and a metallogenic region is being potential to form metallic deposits, which create some variation and interesting geochemical performances. The geochemistry of stream sediment data by means in the form of elements distribution maps represent the basic important information of mineralization indications, which enable for detail follow up research, specifically nickel mineralization associated with the Ultrabasa Complex lithology.

*Interpretation of geochemical data in the study area with univariate and multivariate statistical analysis approaches consisting of elements of Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Mn, Ag, Fe, Cr, and Au, the process of enrichment of geochemical elements in the surface environment is shown by the spatial association of Co, Ni, Fe and Mn, namely the enrichment of elements due to chemical binding (*scavenging*) by Fe and Mn oxides. Based on the kindship of elements or relations*

between elements obtained two groups of elements, namely the bonding elements of Cu-Pb-Zn-Ag-Cr and Co-Ni-Mn-Fe-Au, but not all groups of element associations can be related to the lithology that develops in the study area.

Keywords: *geochemistry, East Halmahera, metallogenic, mineralization, univariate, multivariate*

PENDAHULUAN

Kegiatan penyelidikan geokimia bersistem telah dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi di Pulau Sumatera, Pulau Kalimantan, Pulau Sulawesi dan Kepulauan Nusa Tenggara. Selain untuk mencari wilayah prospek mineralisasi logam, kegiatan tersebut dapat dimanfaatkan untuk menentukan sebaran aliran sungai yang dicemari oleh unsur tertentu.

Pada Tahun 2018 penyelidikan geokimia dilakukan di wilayah Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara yang diketahui merupakan daerah penambangan nikel laterit (Gambar 1).

Makalah ini akan membahas hasil pengolahan data conto sedimen sungai menggunakan analisis univariat, multivariat, data analisis mineralogi butir, analisis petrografi dan analisis mineragrafi hasil penyelidikan geokimia. Tujuannya untuk mengetahui sebaran potensi mineral logam, selain nikel dan logam ikutannya. Analisis conto sedimen sungai terdiri dari Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Mn, Ag, Fe, Cr, dan Au.

METODOLOGI

Metoda penelitian dengan menggunakan perangkat lunak untuk mengolah data statistik analisis univariat dan analisis multivariat. Data yang diolah sebanyak 106 conto sedimen sungai aktif hasil penyelidikan geokimia regional Lembar Ternate (Gambar 1).

Dari data kandungan unsur yang telah diperoleh kemudian dilakukan pengolahan data secara statistik menggunakan metode analisis univariat dan analisis multivariat.

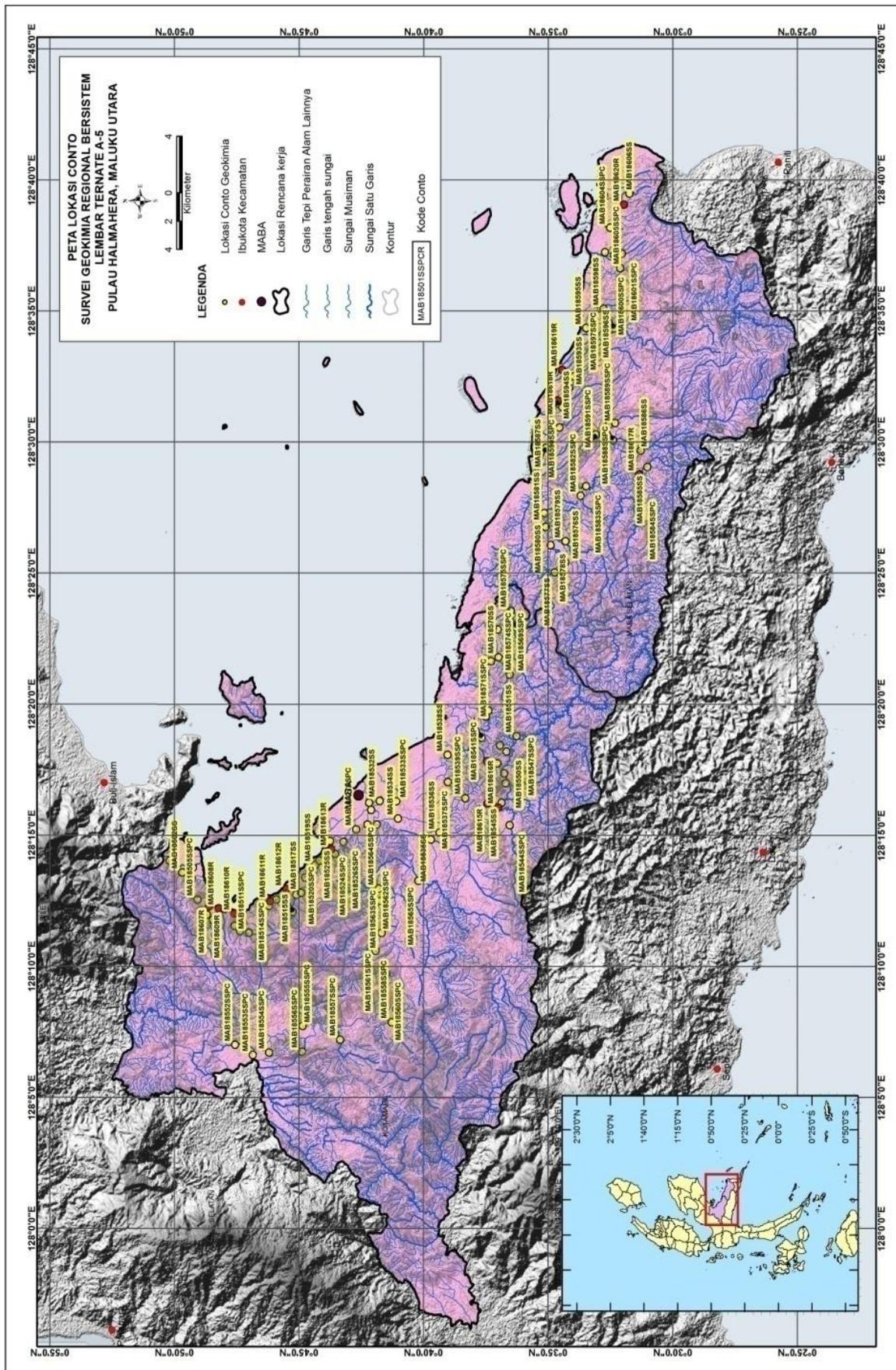
Pengolahan data tersebut dilakukan guna memperoleh gambaran tentang perilaku sebaran unsur, serta ringkasan statistik berikut histogramnya. Dari pengolahan tersebut didapatkan hasil nilai latar belakang dan anomali yang berikutnya digunakan untuk estimasi pembagian populasi unsur.

Analisis univariat menggunakan metode simpangan baku dan kurva probabilitas, bertujuan untuk menentukan nilai anomali dari tiap-tiap unsur yang diolah menjadi peta geokimia unsur.

Metode simpangan baku merupakan metode yang digunakan untuk membatasi nilai anomali dan nilai latar belakang dengan mencari nilai dari harga rata-rata dijumlahkan dengan dua kali nilai simpangan baku (Rose dkk., 1979). Metode ini dapat digunakan apabila populasi data memiliki sifat distribusi normal atau nilai simpangan baku yang lebih kecil dari nilai rata-rata.

Metode kurva probabilitas merupakan metode yang digunakan dalam penentuan harga ambang suatu unsur dengan cara membuat kurva probabilitas. Harga ambang yang didapat digunakan untuk memisahkan data menjadi populasi anomali dan populasi latar belakang. Metode ini dapat digunakan ketika populasi suatu data berjumlah lebih dari dua.

Analisis multivariat bertujuan untuk membagi unsur-unsur ke dalam beberapa kelompok asosiasi unsur dengan cara melihat hubungan kekerabatan antar unsur secara spasial. Metode yang digunakan pada analisis multivariat terdiri dari metode koefisien Pearson, persentil, dan pengelompokan hierarki.



Gambar 1. Peta Lokasi Conoto di Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara

Metode koefisien Pearson bertujuan untuk menilai tingkat kekerabatan dari dua unsur atau lebih yang dinyatakan ke dalam koefisien Pearson (Ghazali dkk., 1986). Nilai koefisien berkisar dari -1 (korelasi negatif) hingga +1 (korelasi positif). Koefisien korelasi positif memiliki arti bahwa peningkatan nilai suatu unsur akan diikuti pula oleh peningkatan nilai unsur lain, begitu pula sebaliknya. Koefisien korelasi dengan kisaran nilai 0,5 sampai dengan 0,7 menunjukkan sifat asosiasi sedang dan koefisien dengan nilai lebih dari 0,7 menunjukkan asosiasi yang bersifat kuat (Swan dan Sandilands, 1995). Metode persentil dilakukan dengan melihat pola kandungan dari data unsur dengan nilai yang tinggi pada persentil tertentu (Surjadi, 1976). Pada metode ini harus ada unsur yang dijadikan sebagai acuan, umumnya dipakai unsur yang memiliki nilai konsentrasi tinggi dan bernilai ekonomis. Cara pengerjaannya dengan mengurutkan nilai konsentrasi tiap unsur dari mulai nilai tertinggi hingga nilai terendah, kemudian ditentukan persentil yang membatasi urutan tersebut dan dilihat pola kandungan dan hubungan antar unsur yang diolah. Nilai persentil berkisar dari 0 hingga 100.

Pengelompokan hierarki merupakan metode kluster yang mengelompokkan data secara berurutan berdasarkan kemiripan atau korelasinya (Karypis dkk., 1999). Pada metode ini setiap unsur dianggap sebagai satu variabel yang terpisah. Variabel-variabel tersebut kemudian digabungkan berdasarkan kemiripan secara berurutan hingga menjadi satu kelompok atau kluster besar. Penghitungan kemiripan atau jarak antar kluster dilakukan dengan metode *Ward Linkage*. Jarak antar kluster dihitung berdasarkan nilai *error sum of square*,

sehingga tidak ada nilai yang saling menghilangkan. Hasil analisis digambarkan dengan *dendogram* (diagram pohon) untuk menunjukkan kluster hasil analisis pengelompokan hierarki.

GEOLOGI REGIONAL

Menurut Apandi dan Sudana, (1980) stratigrafi regional daerah penelitian sebagai berikut (Gambar 2):

Mandala Geologi Halmahera Timur sebagian besar terbentuk dari batuan dasar berupa batuan beku ultrabasa (Ub), yang diatasnya secara tidak selaras diendapkan batuan sedimen berumur Kapur (Kd) dan batuan sedimen berumur Paleosen hingga Eosen (Tped, Tpec, dan Tpel).

Struktur sinklin dan antiklin dijumpai pada Formasi Weda (Tmpw) yang berumur Miosen Tengah hingga Pliosen Awal. Sumbu lipatan berarah utara-selatan, timurlaut-baratdaya, dan baratlaut-tenggara. Struktur sesar terdiri dari sesar normal dan sesar naik, umumnya berarah utara-selatan dan baratlaut-tenggara.

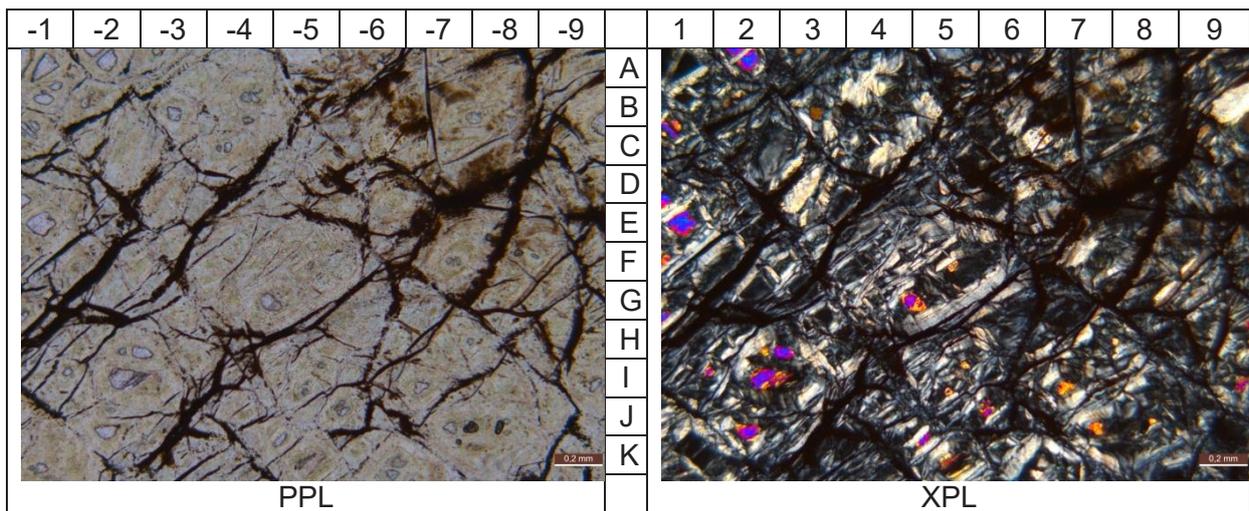
Secara morfologi daerah penelitian memperlihatkan dua satuan morfologi yaitu berupa pegunungan berlereng curam, dan perbukitan landai. Morfologi pegunungan berlereng curam terdiri dari batuan ultrabasa (Komplek Batuan Ultrabasa), morfologi karst terbentuk oleh batugamping berumur Miosen hingga Pliosen (Formasi Tingteng) dan satuan konglomerat berumur Paleosen hingga Eosen, sedangkan morfologi perbukitan landai tersusun oleh batuan sedimen berumur Miosen hingga Pliosen (Formasi Weda) serta endapan aluvial berumur Resen.

HASIL DAN ANALISIS

Kondisi geologi daerah penelitian didominasi oleh batuan serpentinit yang termasuk ke dalam Komplek Batuan Ultrabasa berumur Pra-Kapur. Analisis petrografi dari singkapan serpentinit pada titik MAB18610R di sekitar cabang Sungai Ake Fai, menunjukkan tekstur kenoblastik, berukuran halus hingga 0,31 mm, disusun oleh mineral olivin, serpentin, muskovit, rutil, dan opak/oksida besi (Gambar 3).

Hasil analisis mineragrafi conto dari lokasi MAB18612R yang terletak di sekitar cabang Sungai Ake Fai, teridentifikasi kromit, kovelit, dan pirit. Kromit, berwarna abu-abu sampai abu-abu kecoklatan, berukuran sangat halus (< 0,05 mm)

hingga halus ($\pm 0,41$ mm), bentuk anhedral, bersifat isotrop, biasanya memiliki refleksi dalam merah-coklat, tampak retak-retak dan berlubang-lubang, dan tersebar tidak merata dalam massa batuan. Pirit, berwarna putih kekuningan, berukuran sangat halus (< 0,05 mm) hingga halus ($\pm 0,13$ mm), bentuk anhedral, bersifat anisotrop lemah atau isotrop, tumbuh bersama magnetit mengisi retakan-retakan batuan, dan tersebar tidak merata/sangat jarang pada massa batuan. Kovelit, berwarna biru, berukuran sangat halus (< 0,05 mm), anhedral, mempunyai *birefractance*, mempunyai sifat anisotrop kuat dengan warna coklat kemerahan, dan tersebar tidak merata/sangat jarang pada massa batuan (Gambar 4).



Gambar 3. Analisis Petrografi Conto Batuan MAB18610R



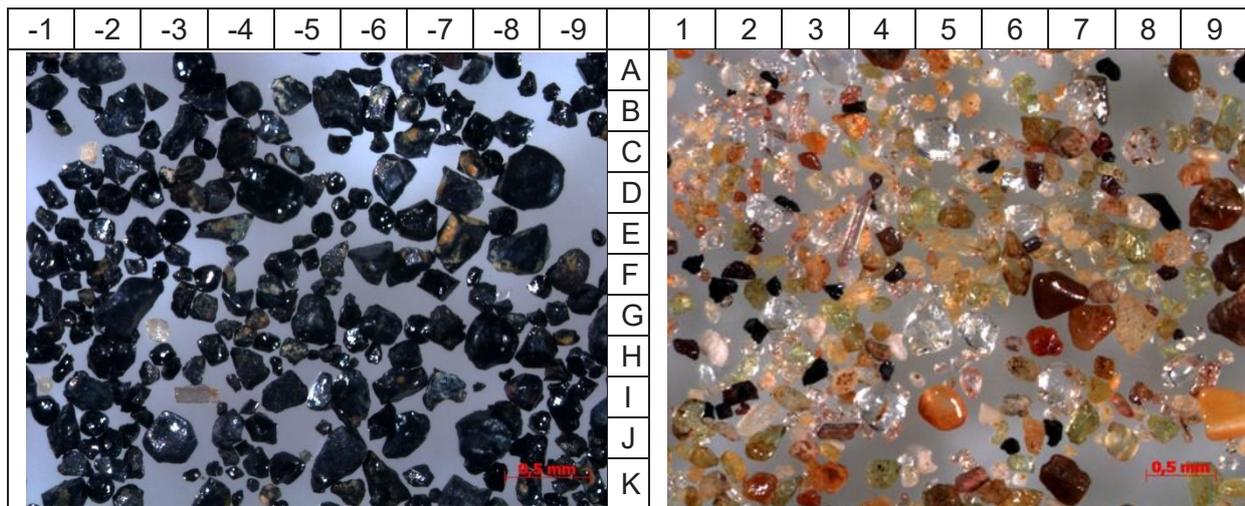
Gambar 4. Analisis Mineragrafi Conto Batuan MAB18612R

Hasil analisis mineralogi butir menunjukkan mineral pirit dan garnet yang dapat mengindikasikan keberadaan mineralisasi, diantaranya yaitu porfiri dan/atau skarn (Gambar 5).

Berdasarkan analisis statistik univariat dari sepuluh unsur logam yang diteliti, dibuat ringkasan statistik geokimia endapan sungai aktif (Tabel 1 dan Tabel 2), untuk membandingkan kesamaan ciri geokimia dan kondisi geologi dengan cara pemodelan sistem informasi geografis dan statistik. Penentuan kelas geokimia untuk mendapatkan daerah peninggian nilai kandungan unsur sebagai indikasi populasi anomali dilakukan dengan metode simpangan baku dan kurva probabilitistik (Rose dkk., 1979).

Metode simpangan baku yang digunakan untuk membatasi nilai anomali dan nilai latar belakang dengan mencari nilai dari harga rata-rata dijumlahkan dengan dua kali nilai simpangan baku (Rose dkk., 1979).

Metode ini dapat digunakan apabila populasi data memiliki sifat distribusi normal atau nilai simpangan baku yang lebih kecil dari nilai rata-rata. Metode kurva probabilitas digunakan dalam penentuan harga ambang suatu unsur dengan cara membuat kurva probabilitas. Harga ambang yang didapat digunakan untuk memisahkan data menjadi populasi anomali dan populasi latar belakang. Metode ini dapat digunakan ketika populasi suatu data berjumlah lebih dari dua.



Gambar 5. Analisis Mineralogi Butir Contoh Konsentrat Dulang

Tabel 1. Ringkasan Statistik Geokimia Contoh Endapan Sungai Aktif

| Unsur | Rata-Rata (ppm) | Jumlah Contoh | Maks (ppm) | Min (ppm) | Kadar Rata-rata Unsur | | Anomali (ppm) |
|-------|-----------------|---------------|------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| | | | | | Kerak Bumi ¹ (ppm) | Halmahera Tengah ² (ppm) | |
| Cu | 25 | 106 | 47 | 4 | 70 | 31 | 30 |
| Pb | 15 | 106 | 90 | 0 | 16 | 45 | 27 |
| Zn | 76 | 106 | 142 | 7 | 132 | 115 | 127 |
| Co | 141 | 106 | 793 | 22 | 23 | 95 | 407 |
| Ni | 1.531 | 106 | 7.254 | 127 | 80 | 1.289 | 3.388 |
| Mn | 1.415 | 106 | 4.471 | 70 | 1.000 | 1.651 | 3.249 |
| Ag | 1,7 | 106 | 3,5 | 0,1 | 0,1 | 3,1 | 2,8 |
| Fe | 88.600 | 106 | 236.800 | 1.900 | 50.000 | 102.300 | 183.200 |
| Cr | 1.920 | 106 | 4.663 | 114 | 200 | 746 | 3.851 |
| Au* | 9 | 106 | 35 | 0 | 5 | 2 | 26 |

Keterangan: ¹Mason, 1982; ²Fadhly dkk., 2017; *Unsur Au dalam ppb

Tabel 2. Ringkasan Kelas Interval Contoh Endapan Sungai Aktif

| Unsur | Kelas Interval | | |
|-------|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| | 1 (Anomali – Maks) | 2 (Rerata – Anomali) | 3 (Min – Rerata) |
| Cu | 30 – 47 | 25 – 30 | <25 |
| Pb | 27 – 90 | 15 – 27 | <15 |
| Zn | 127 – 142 | 76 – 127 | <76 |
| Co | 407 – 793 | 141 – 407 | <141 |
| Ni | 3.388 – 7.254 | 1.531 – 3.388 | <1.531 |
| Mn | 3.249 – 4.471 | 1.415 – 3.249 | <1.415 |
| Ag | 2,8 – 3,5 | 1,7 – 2,8 | <1,7 |
| Fe | 183.200 – 236.800 | 88.600 – 183.200 | <88.600 |
| Cr | 3.851 – 4.663 | 1.920 – 3.851 | <1.920 |
| Au* | 26 – 35 | 9 – 26 | <9 |

ANALISIS UNIVARIAT

Hasil analisis univariat atas sepuluh unsur terpilih dapat dijelaskan sebagai berikut:

Tembaga (Cu). Unsur Cu memiliki nilai kandungan dengan rentang 4 ppm sampai dengan 47 ppm, didapati bahwa sebaran unsur Cu memiliki populasi unsur tertinggi di daerah penelitian dengan harga ambang bernilai 30 ppm (Gambar 6). Terdapat dua titik lokasi dengan kandungan unsur Cu tertinggi sebesar 47 ppm yaitu titik MAB18552SS di cabang Sungai Ake Sangaji dan MAB18561SS di cabang Sungai Balipopo sehingga anomali Cu di wilayah penelitian kurang berkembang. Populasi sebaran unsur Cu tersebar pada Komplek Batuan Ultrabasa, Formasi Weda, dan Formasi Tingteng. Litologi yang dapat ditemukan di sekitar anomali unsur Cu yaitu berupa serpentinit, konglomerat, batupasir, dan batugamping. Sebaran unsur Cu diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi epitermal dan/atau porfiri yang dikontrol oleh struktur berumur Pliosen hingga Pleistosen Tengah.

Timbal (Pb). Unsur Pb memiliki nilai kandungan dengan rentang 1 ppm sampai dengan 90 ppm, didapatkan unsur Pb memiliki populasi anomali dengan harga ambang bernilai 27 ppm. Kandungan unsur Pb tertinggi terdapat pada titik lokasi MAB18583SS di cabang Sungai Ake Mlop (Gambar 7). Populasi anomali unsur Pb tersebar pada Komplek Batuan Ultrabasa,

Formasi Weda, dan Formasi Tingteng. Litologi yang ditemukan di sekitar anomali unsur Pb yaitu batuan serpentinit, konglomerat, batupasir, dan batugamping. Anomali unsur Pb diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi epitermal dan/atau porfiri yang dikontrol oleh struktur berumur Pliosen hingga Pleistosen Tengah.

Seng (Zn). Unsur Zn memiliki nilai kandungan dengan rentang 7 ppm sampai dengan 142 ppm, didapatkan sebaran unsur Zn memiliki populasi unsur tertinggi di daerah penelitian dengan harga ambang bernilai 93 ppm dan 127 ppm. Terdapat dua titik lokasi dengan kandungan unsur Zn tertinggi sebesar 137 ppm dan 142 ppm yaitu titik MAB18564SS di cabang Sungai Ake Po dan MAB18597SS di cabang Sungai Ake Genyam (Gambar 8).

Populasi anomali unsur Zn tersebar pada Komplek Batuan Ultrabasa dan Formasi Tingteng. Litologi yang dapat ditemukan di sekitar anomali unsur Zn yaitu berupa serpentinit, konglomerat, batupasir, dan batugamping. Anomali unsur Zn diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi epitermal dan/atau porfiri yang dikontrol oleh struktur berumur Pliosen hingga Pleistosen Tengah.

Kobalt (Co). Unsur Co memiliki nilai kandungan dengan rentang 22 ppm sampai dengan 793 ppm dan rata-rata sebesar 141 ppm, didapatkan unsur Co memiliki

populasi anomali dengan harga ambang bernilai 324 ppm dan 407 ppm (Gambar 9). Terdapat lima titik lokasi dengan kandungan unsur Co melampaui 600 ppm yaitu MAB18508SS, MAB18531SS, MAB18510SS, MAB18509SS, dan MAB18511SS.

Titik-titik lokasi dengan kandungan Co yang besar diketahui terletak di sekitar cabang-cabang Sungai Ake Fai dan Sungai Ake Sangaji. Populasi anomali unsur Co tersebar pada Komplek Batuan Ultrabasa yang didominasi oleh serpentinit di bagian barat daerah penelitian, tepatnya di sekitar hulu Sungai Ake Sangaji dan Sungai Ake Fai. Anomali unsur Co diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi pengayaan supergen Ni-laterit yang terjadi pada Komplek Batuan Ultrabasa. Mineralisasi tersebut terjadi akibat pelapukan batuan serpentinit di daerah penelitian.

Nikel (Ni). Unsur Ni memiliki nilai kandungan dengan rentang 127 ppm sampai dengan 7.254 ppm, didapatkan unsur Ni memiliki populasi anomali dengan harga ambang bernilai 3.388 ppm (Gambar 10). Terdapat lima titik lokasi dengan kandungan unsur Ni tinggi yang melampaui 5.000 ppm yaitu MAB18526SS, MAB18528SS, MAB18522SS, MAB18508SS, dan MAB18531SS. Titik-titik lokasi dengan kandungan Ni yang besar diketahui terletak di sekitar cabang-cabang Sungai Ake Fai, Sungai Ake Besi, dan Sungai Ake Sangaji. Populasi anomali unsur Ni tersebar pada Komplek Batuan Ultrabasa yang didominasi oleh serpentinit di bagian barat daerah penelitian. Anomali unsur Ni diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi pengayaan supergen Ni-laterit yang terjadi akibat pelapukan serpentinit.

Mangan (Mn). Unsur Mn memiliki nilai kandungan dengan rentang 70 ppm sampai dengan 4.471 ppm, didapati unsur Mn memiliki populasi anomali dengan harga ambang bernilai 2.042 ppm dan 3.249 ppm (Gambar 11). Terdapat lima titik lokasi dengan kandungan unsur Mn tinggi yang melampaui 4.000 ppm yaitu MAB18531SS, MAB18509SS, MAB18511SS,

MAB18510SS, dan MAB18508SS. Titik-titik lokasi dengan kandungan Mn yang besar diketahui terletak di sekitar cabang-cabang Sungai Ake Fai dan Sungai Ake Sangaji. Populasi anomali unsur Mn tersebar pada Komplek Batuan Ultrabasa yang didominasi oleh serpentinit di bagian barat daerah penelitian. Anomali unsur Co diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi pengayaan supergen Ni-laterit. Mineralisasi tersebut terjadi akibat pelapukan serpentinit.

Perak (Ag). Unsur Ag memiliki nilai kandungan dengan rentang 0,1 ppm sampai dengan 3,5 ppm, didapatkan unsur Ag memiliki populasi anomali dengan harga ambang bernilai 2,2 ppm dan 2,8 ppm (Gambar 12). Terdapat dua titik lokasi dengan kandungan unsur Ag yang tinggi sebesar 2,9 ppm dan 3,5 ppm, yaitu titik MAB18504SS dan MAB18501SS di cabang Sungai Ake Nov. Populasi anomali unsur Ag tersebar pada Komplek Batuan Ultrabasa dan Formasi Tingteng. Litologi yang dapat ditemukan di sekitar anomali unsur Ag yaitu berupa serpentinit, konglomerat, batupasir, dan batugamping.

Besi (Fe). Unsur Fe memiliki nilai kandungan dengan rentang 1.900 ppm sampai dengan 236.800 ppm. Berdasarkan analisis univariat, didapati unsur Fe memiliki populasi anomali dengan harga ambang bernilai 144.500 ppm dan 183.200 ppm (Gambar 13). Terdapat dua titik lokasi dengan kandungan unsur Fe yang tinggi sebesar 224.500 ppm dan 236.800 ppm yaitu titik MAB18511SS dan MAB18508SS di cabang Sungai Ake Fai. Populasi anomali unsur Fe tersebar pada Komplek Batuan Ultrabasa yang didominasi oleh serpentinit di bagian barat daerah penelitian. Anomali unsur Fe diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi residual. Mineralisasi tersebut terjadi akibat pelapukan batuan ultrabasa berupa serpentinit.

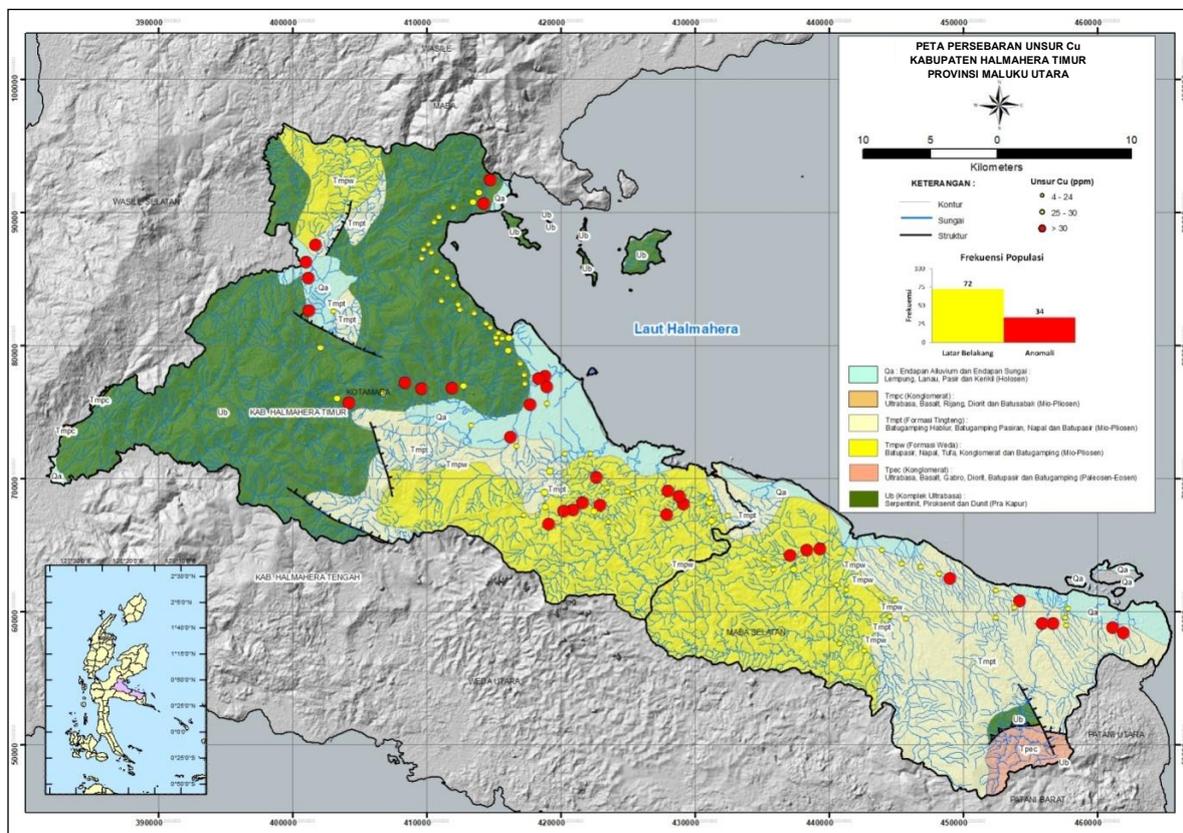
Krom (Cr). Unsur Cr memiliki nilai kandungan dengan rentang 114 ppm sampai dengan 4.663 ppm, didapatkan unsur Cr memiliki populasi anomali dengan

harga ambang bernilai 2.692 ppm dan 3.851 ppm (Gambar 14). Terdapat empat titik lokasi dengan kandungan unsur Cr tinggi yang melampaui 4.000 ppm, yaitu MAB18551SS, MAB18597SS, MAB18589SS, dan MAB18610SS. Titik-titik lokasi dengan kandungan Cr yang besar diketahui terletak di sekitar cabang-cabang Sungai Tewil, Sungai Genyam, Sungai Oi, dan Sungai Ake Sigaulo. Populasi anomali unsur Cr tersebar pada Komplek Batuan Ultrabasa, Formasi Weda, dan Formasi Tingteng.

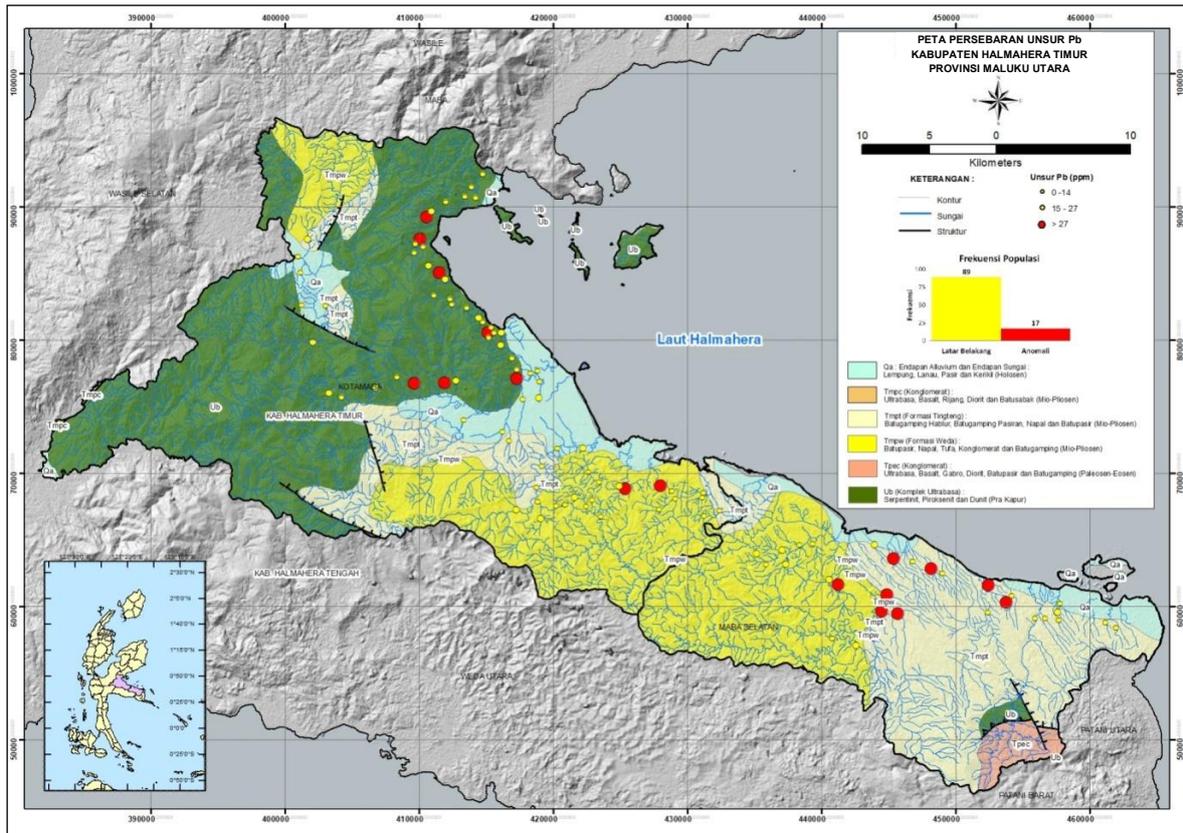
Anomali unsur Cr diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi pengayaan supergen dan tidak memiliki hubungan dengan pembentukan asosiasi unsurnya. Mineralisasi tersebut terjadi akibat pelapukan batuan ultrabasa di daerah penelitian. Meskipun berasal dari mineralisasi yang serupa, namun lokasi anomali Cr berbeda dengan unsur Ni, Co, dan Mn. Bila dilihat dari penyebarannya anomali Cr umumnya tersebar pada daerah

yang cenderung datar, sedangkan anomali unsur Ni, Co, dan Mn umumnya tersebar pada daerah dengan morfologi yang relatif lebih curam.

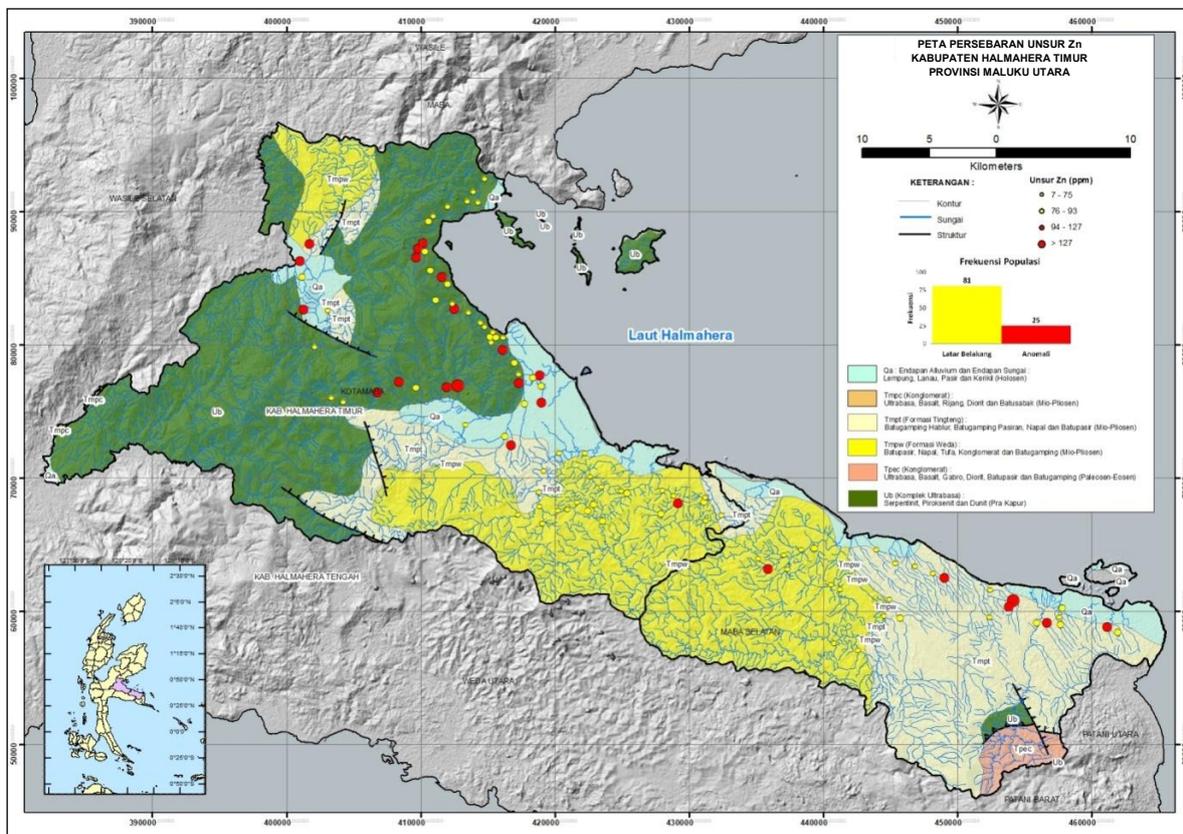
Emas (Au). Unsur Au memiliki nilai kandungan dengan rentang 1 ppb sampai dengan 35 ppb, didapatkan unsur Au memiliki populasi anomali dengan harga ambang bernilai 26 ppb (Gambar 15). Terdapat dua titik lokasi dengan kandungan unsur Au yang tinggi sebesar 35 ppb, yaitu titik MAB18509SS di cabang Sungai Ake Fai dan MAB18506SS di cabang Sungai Ake Volosop. Populasi anomali unsur Au tersebar pada Komplek Batuan Ultrabasa, Formasi Tingteng, serta Aluvium dan Endapan Pantai. Litologi yang dapat ditemukan di sekitar anomali unsur Au yaitu berupa serpentinit, konglomerat, batupasir, dan batugamping.



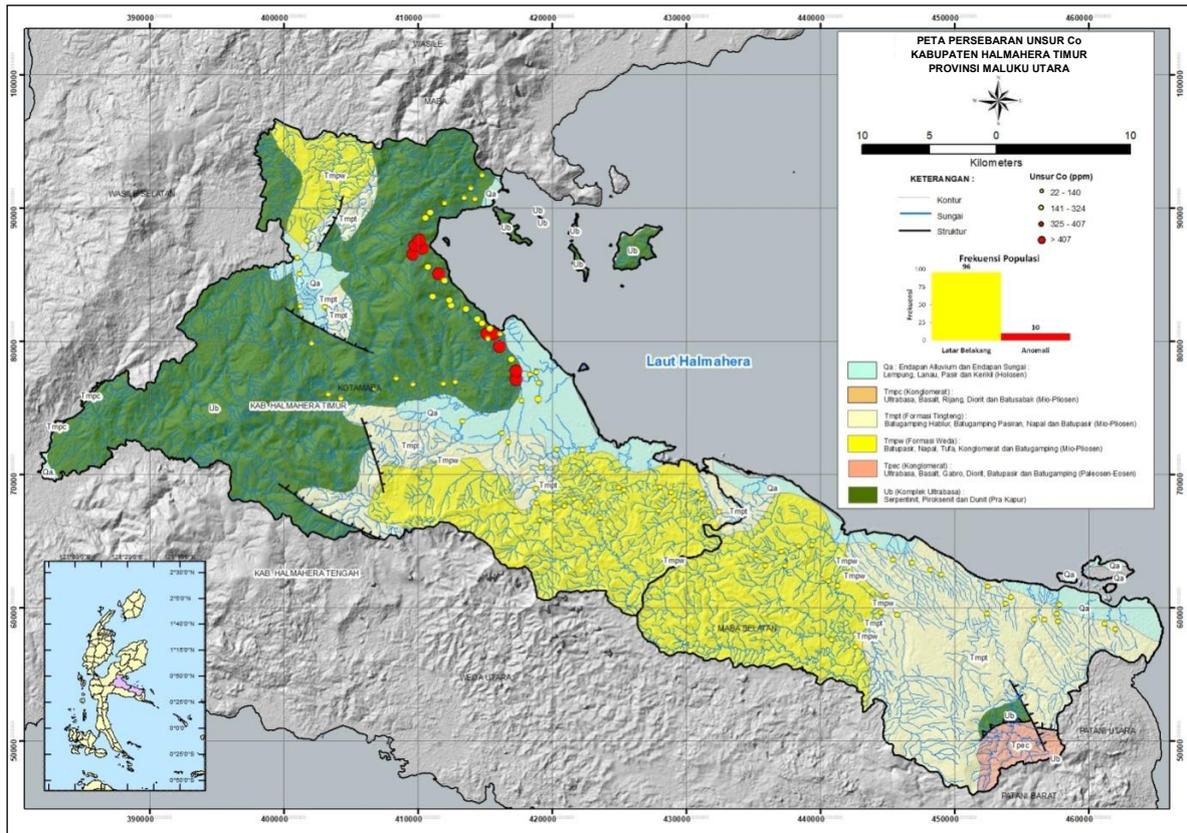
Gambar 6. Peta Persebaran Unsur Cu dalam Contoh Endapan Sungai Aktif



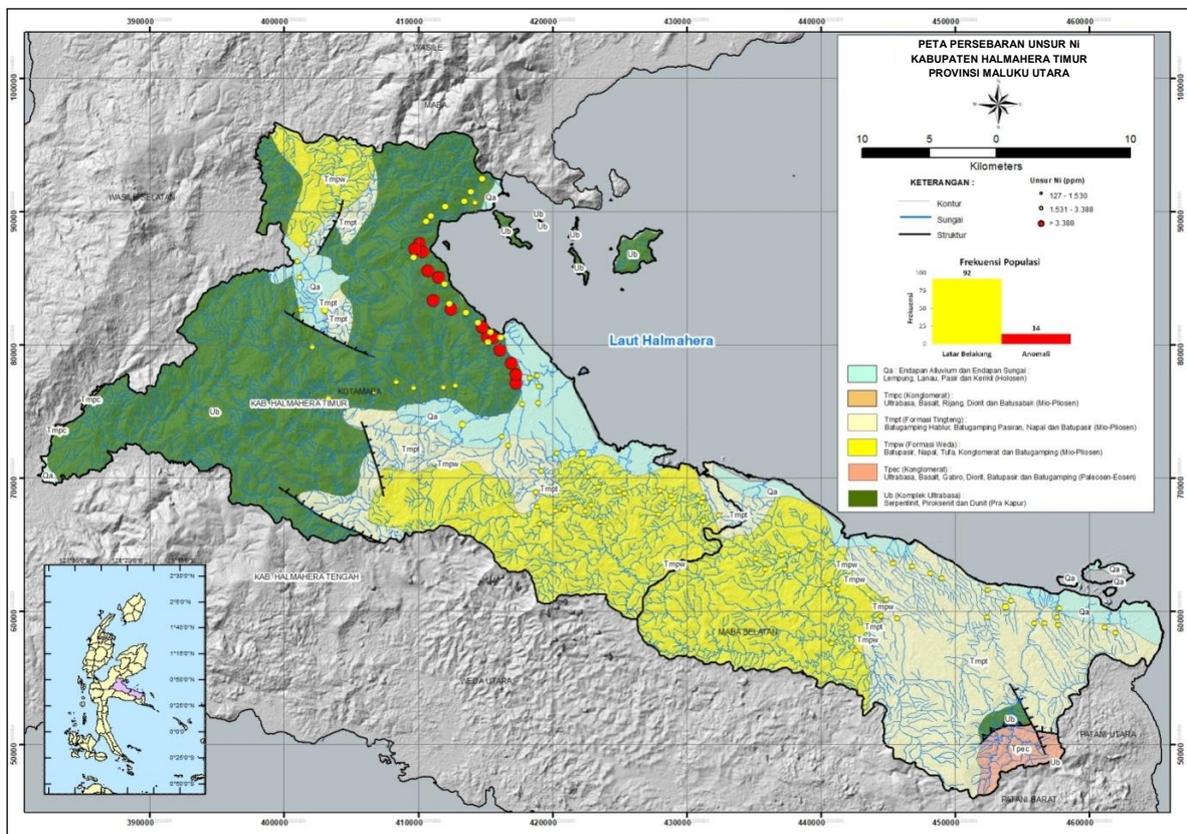
Gambar 7. Peta Persebaran Unsur Pb dalam Contoh Endapan Sungai Aktif



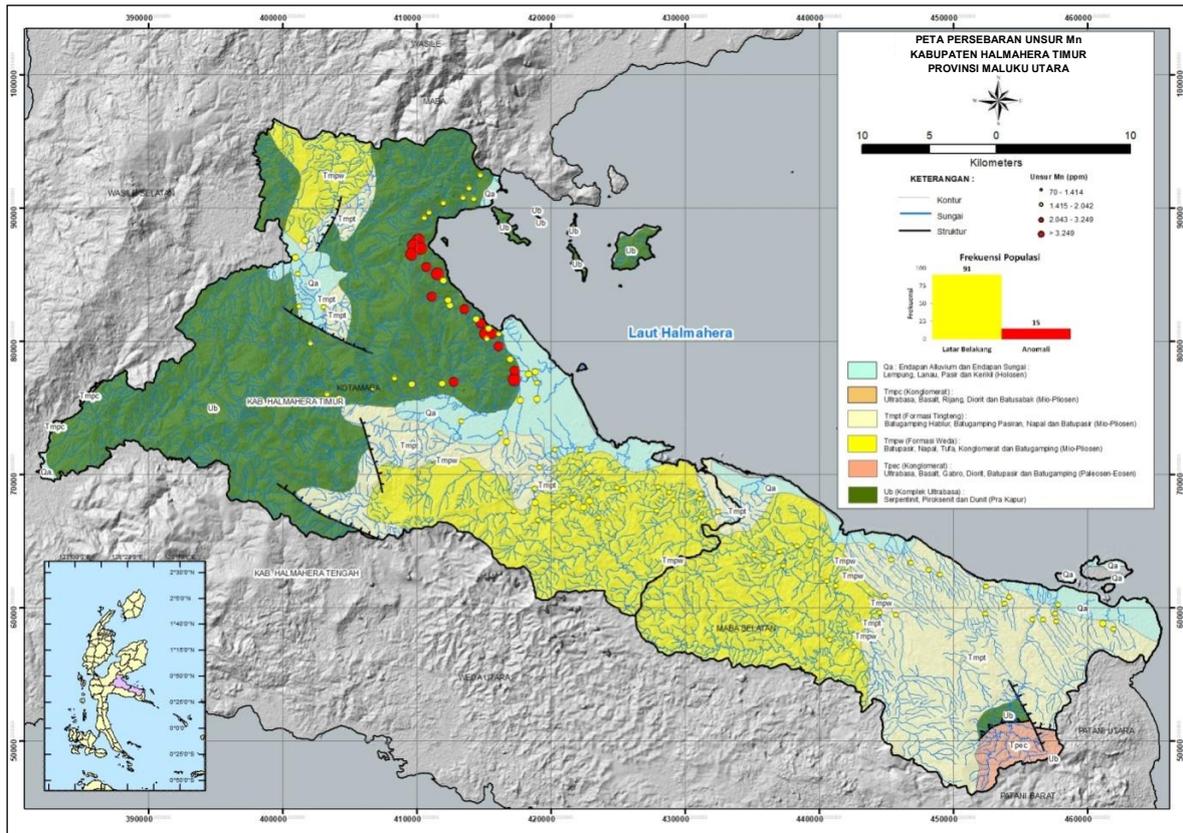
Gambar 8. Peta Persebaran Unsur Zn dalam Contoh Endapan Sungai Aktif



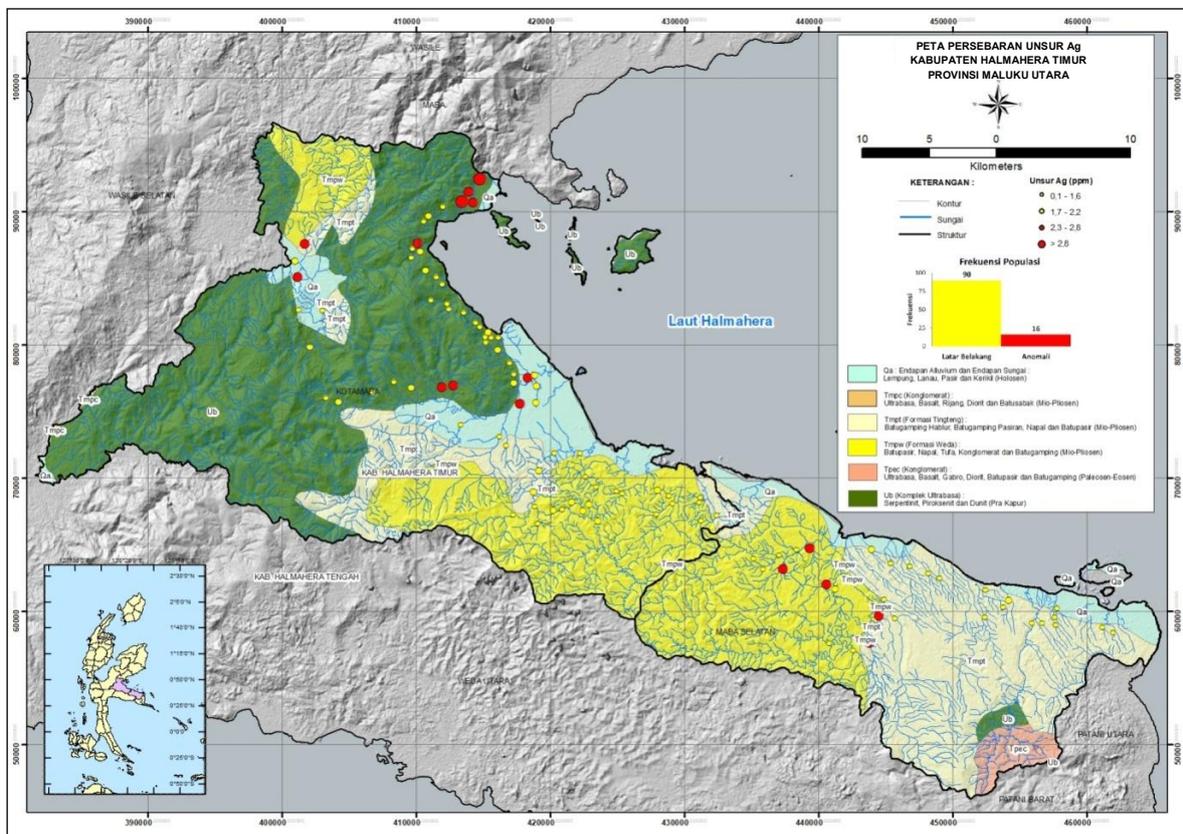
Gambar 9. Peta Persebaran Unsur Co dalam Contoh Endapan Sungai Aktif



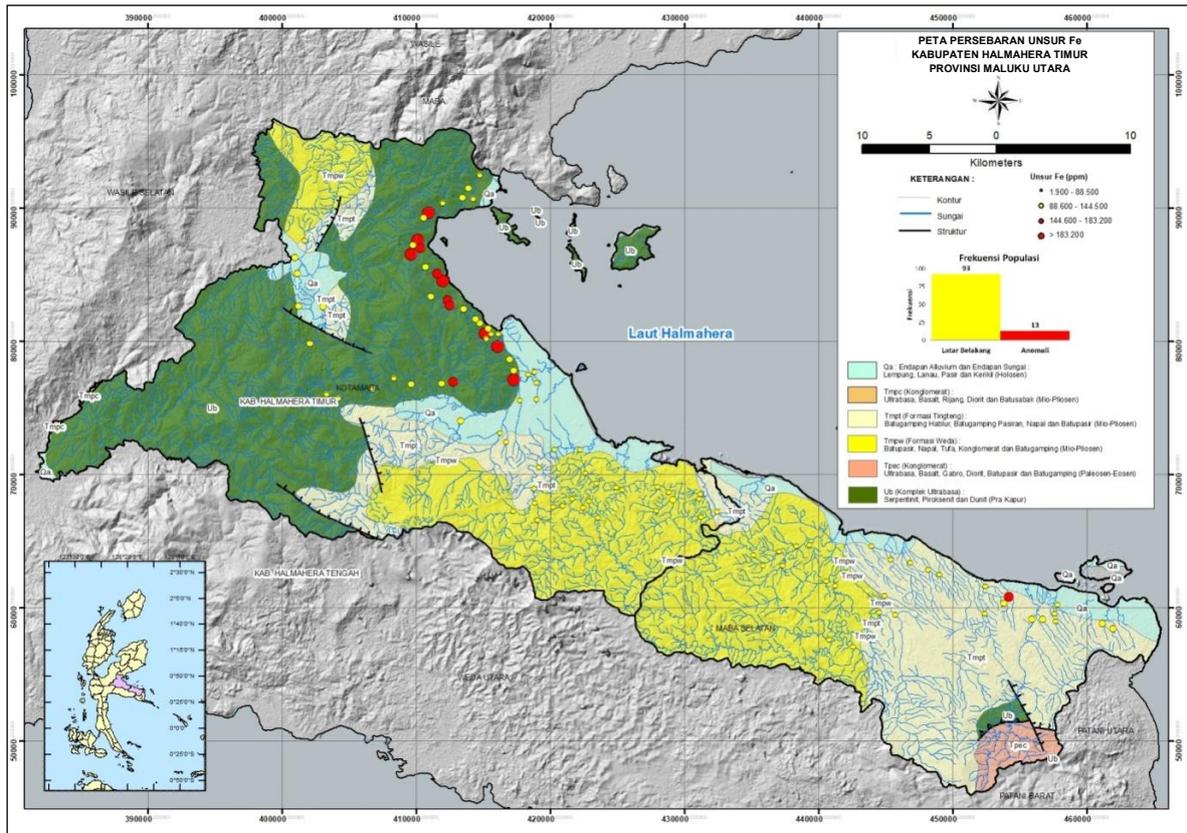
Gambar 10. Peta Persebaran Unsur Ni dalam Contoh Endapan Sungai Aktif



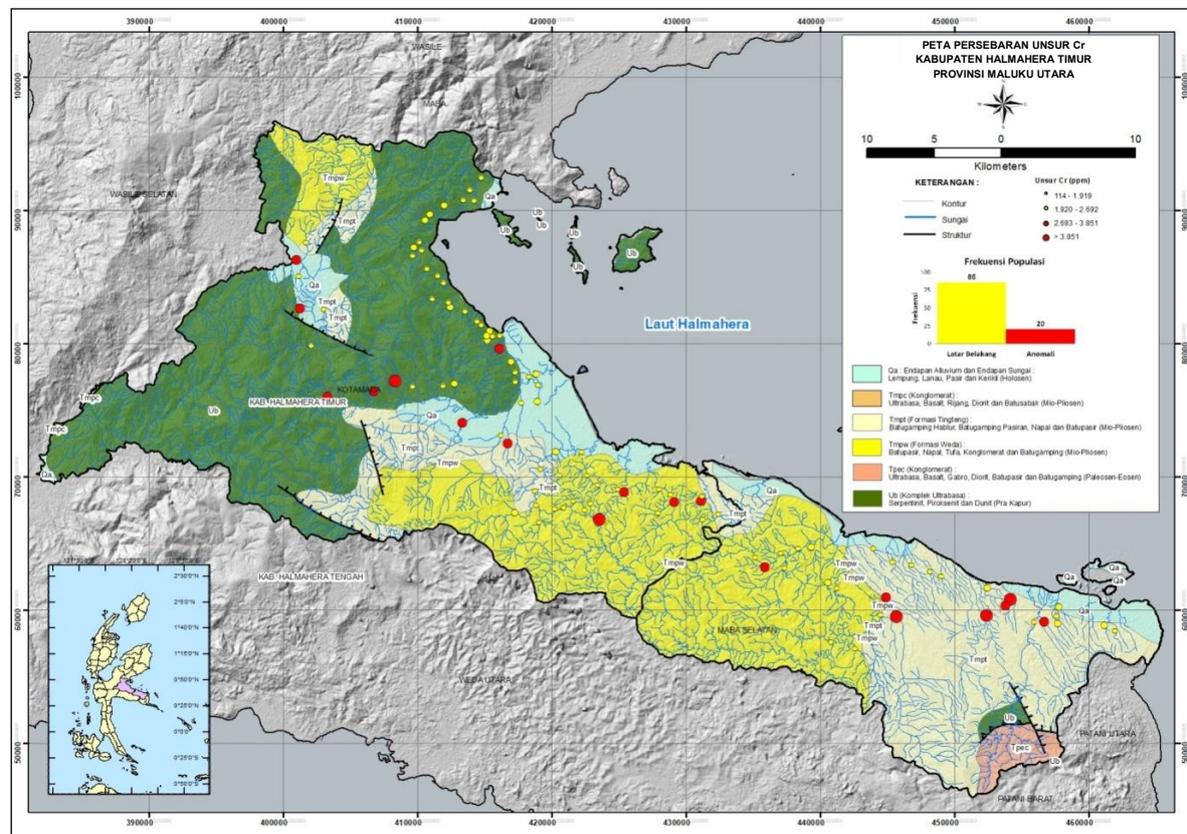
Gambar 11. Peta Persebaran Unsur Mn dalam Conto Endapan Sungai Aktif



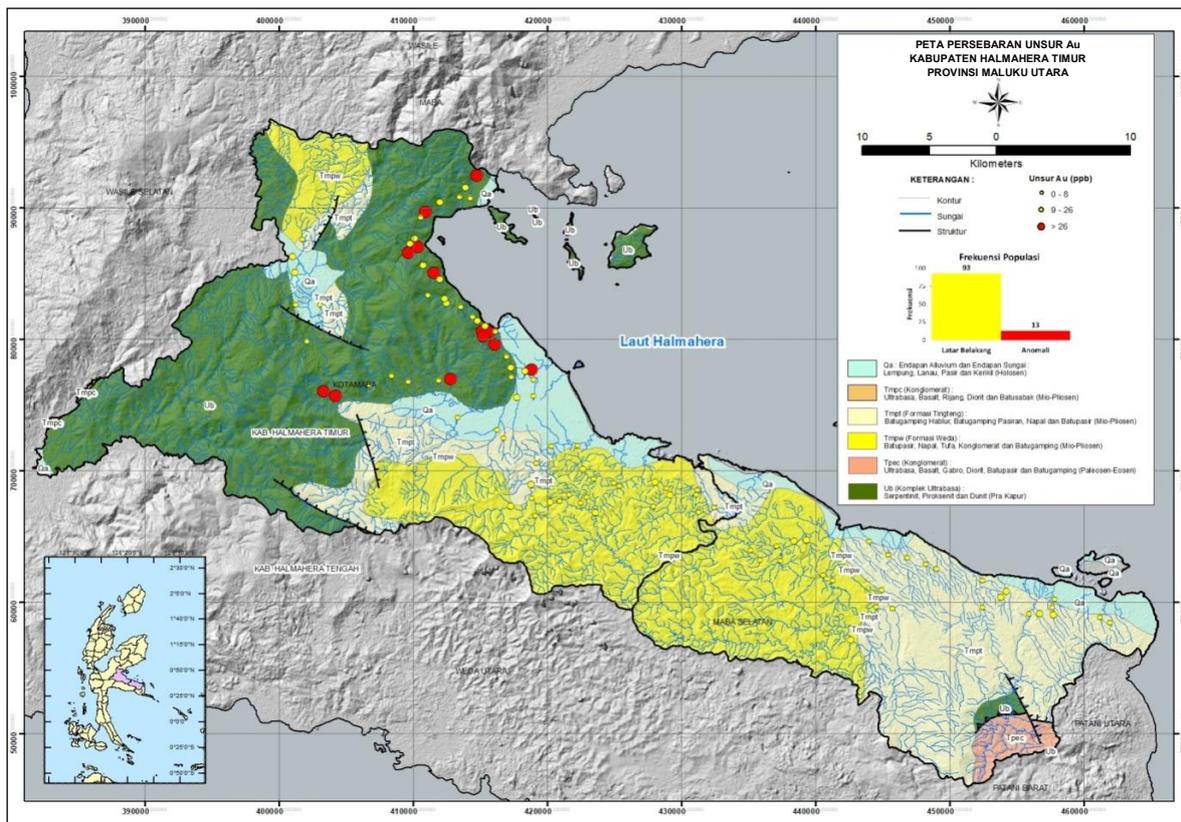
Gambar 12. Peta Persebaran Unsur Ag dalam Conto Endapan Sungai Aktif



Gambar 13. Peta Persebaran Unsur Fe dalam Conto Endapan Sungai Aktif



Gambar 14. Peta Persebaran Unsur Cr dalam Conto Endapan Sungai Aktif



Gambar 15. Peta Persebaran Unsur Au dalam Conto Endapan Sungai Aktif (WFH 15-4)

ANALISIS MULTIVARIAT

Pengolahan statistik multivariat dilakukan untuk menentukan kelompok asosiasi unsur pada daerah penelitian dengan menggunakan metode koefisien Pearson, Persentil, dan pengelompokan hierarki. Analisis multivariat dilakukan pada 106 conto sedimen sungai aktif yang terdiri dari unsur Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Mn, Ag, Fe, Cr, dan Au. Penentuan kelompok asosiasi unsur dilakukan dengan cara melihat hubungan dan kekerabatan antar unsur.

Menurut Ghazali dkk. (1986), metode koefisien Pearson bertujuan untuk menilai tingkat kekerabatan dari dua unsur atau lebih yang dinyatakan ke dalam koefisien Pearson (Tabel 3). Nilai koefisien berkisar dari -1 (korelasi negatif) hingga +1 (korelasi positif). Koefisien korelasi yang bernilai positif memiliki arti bahwa peningkatan nilai suatu unsur akan diikuti pula oleh peningkatan nilai unsur lain, begitu pula sebaliknya. Koefisien korelasi dengan kisaran nilai 0,5 sampai dengan 0,7 menunjukkan sifat asosiasi sedang dan

koefisien dengan nilai lebih dari 0,7 menunjukkan asosiasi yang bersifat kuat (Swan dan Sandilands, 1995). Hasil di daerah penyelidikan menunjukkan adanya unsur-unsur yang berasosiasi pada persentil 80 ke atas berupa Ni-Co-Mn-Fe-Au dan Zn-Cu-Fe-Cr (Tabel 4).

Pengelompokan hierarki merupakan metode kluster yang mengelompokkan data secara berurutan berdasarkan kemiripan atau korelasinya (Karypis dkk., 1999). Pada metode ini setiap unsur dianggap sebagai satu variabel yang terpisah. Variabel-variabel tersebut kemudian digabungkan berdasarkan kemiripan secara berurutan hingga menjadi satu kelompok atau kluster yang besar. Penghitungan kemiripan atau jarak antar kluster dilakukan dengan metode *Ward Linkage*. Jarak antar kluster dihitung berdasarkan nilai *error sum of square*, sehingga tidak ada nilai yang saling menghilangkan. Hasil dari analisis digambarkan dengan *dendrogram* atau diagram pohon (Gambar 16).

Hasil metode pengelompokan hierarki menunjukkan terdapat adanya dua kelompok asosiasi unsur yaitu; Co-Mn-Ni-Fe-Au dan Cu-Ag-Pb-Zn-Cr. Tingkat asosiasi antar unsur digambarkan oleh letak garis penghubung, semakin ke bawah garis penghubung antar unsur berarti semakin kuat asosiasi antara kedua unsur tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah penelitian termasuk ke dalam Mandala Halmahera Timur, yang ditempati oleh batuan beku. Pada daerah penelitian terdapat struktur sesar normal dan sesar naik dengan orientasi umum berarah utara-selatan dan baratlaut-tenggara serta struktur sinklin dan antiklin dengan sumbu lipatan berarah utara-selatan, timurlaut-baratdaya, dan baratlaut-tenggara.

Berdasarkan penggabungan data hasil analisis univariat dengan hasil analisis multivariat diinterpretasikan bahwa terdapat potensi mineralisasi unsur Co-Ni-Mn-Fe. Mineralisasi tersebut memiliki hubungan dengan batuan serpentinit Komplek Batuan Ultrabasa yang mengalami pengayaan supergen akibat proses pelapukan.

Dari pengolahan data yang telah dilakukan, didapatkan daerah potensi mineralisasi yang dibatasi oleh daerah tangkapan (*catchment area*). Daerah potensi yang didapati berjumlah sebanyak lima lokasi, yaitu potensi Co-Ni-Mn-Fe, potensi Au, potensi Cu-Pb-Zn, potensi Ag, dan potensi Cr (Gambar 17).

Berdasarkan penggabungan data anomali unsur univariat dengan multivariat didapatkan potensi mineralisasi dari asosiasi Co-Ni-Mn-Fe. Asosiasi unsur tersebut memiliki hubungan yang erat dengan batuan serpentinit berumur Pra-Kapur (Komplek Batuan Ultrabasa) yang mengalami proses pengayaan supergen. Diperoleh sebanyak tiga lokasi *catchment area* dari potensi Co-Ni-Mn-Fe. Potensi tersebut tersebar pada titik MAB18522SS di cabang Sungai Ake Besi dengan anomali Co tertinggi 476 ppm, Ni 5.859 ppm, Mn

3.627 ppm, Fe 191.900 ppm, titik kedua MAB18508SS di cabang Sungai Ake Fai dengan anomali tertinggi Co 642 ppm, Ni 6.944 ppm, Mn 4.471 ppm, Fe 236.800 ppm, dan titik ketiga yaitu MAB18531SS di cabang Sungai Ake Sangaji dengan anomali tertinggi Co 658 ppm, Ni 7.254 ppm, Mn 4.098 ppm, Fe 186.200 ppm. Ketiga daerah potensi tersebut dikontrol oleh serpentinit dan pelapukannya, Potensi mineralisasi unsur Au di wilayah penelitian berdasarkan penggabungan data anomali unsur univariat dengan analisis multivariat, diinterpretasikan bahwa anomali unsur Au bersifat sekunder serta tidak memiliki hubungan yang kuat dengan litologi batuan pada daerah penelitian. Diperoleh sebanyak tiga lokasi *catchment area* dari potensi unsur Au. Potensi tersebut tersebar pada titik-titik berikut; titik pertama MAB18559SS di cabang Sungai Leublu dengan anomali tertinggi 30 ppb dikontrol oleh struktur berarah baratlaut-tenggara daerah Kotamaba, titik kedua yaitu MAB18522SS di cabang Sungai Ake Besi dengan anomali tertinggi 31 ppb diperkirakan bersifat sekunder akibat transportasi. Titik ketiga yaitu MAB18509SS di cabang Sungai Ake Fai dengan anomali tertinggi 35 ppb yang juga dikontrol oleh erosi dan transportasi. Dengan menelusuri hulu sungai pada titik dengan anomali tinggi unsur Au diharapkan dapat ditemukan mineralisasi yang menjadi sumber dari anomali unsur Au.

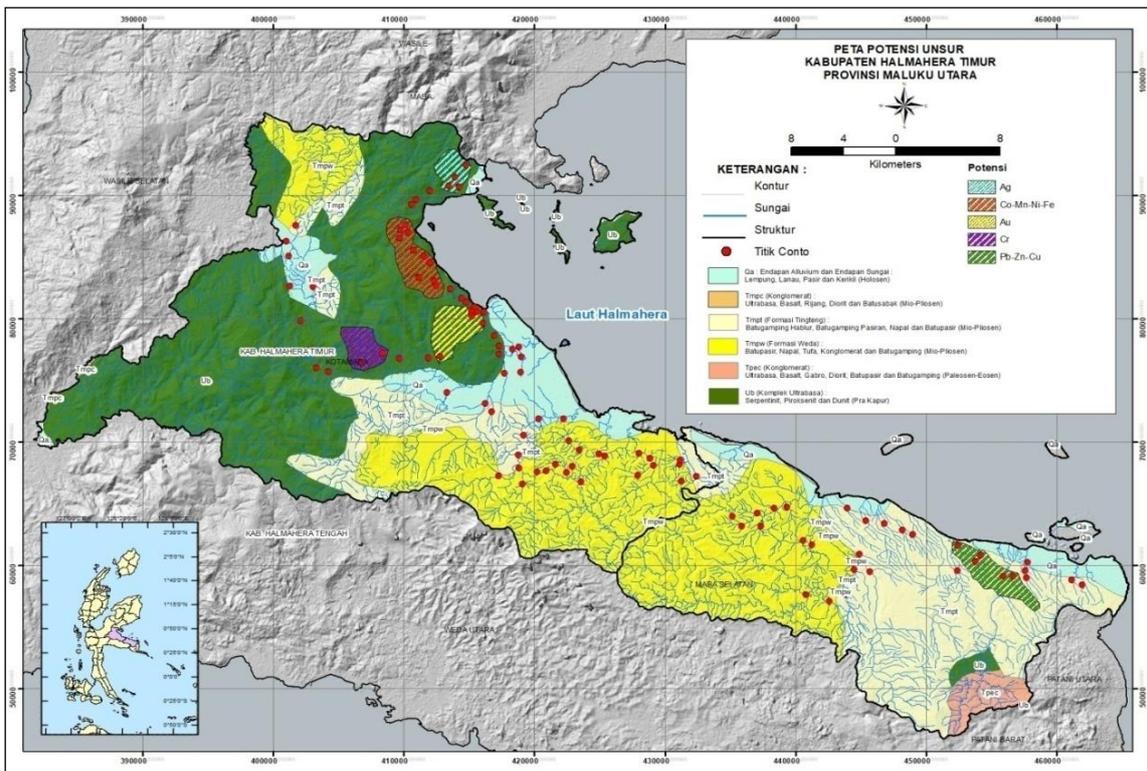
Berdasarkan penggabungan data anomali unsur univariat dengan data asosiasi unsur analisis multivariat didapatkan potensi mineralisasi dari asosiasi Cu-Pb-Zn. Asosiasi unsur tersebut memiliki hubungan dengan litologi batugamping berumur Miosen-Pliosen Formasi Tingteng dan litologi batupasir berumur Miosen-Pliosen Formasi Weda. Diperoleh sebanyak dua lokasi *catchment area* dari potensi Co-Ni-Mn-Fe. Potensi tersebut tersebar pada titik MAB18605SS di cabang Sungai Pagah dengan anomali tertinggi Cu 45 ppm, Pb 14 ppm, Zn 103 ppm, dan titik kedua MAB18563SS di cabang Sungai Piyoy dengan anomali tertinggi Cu 33 ppm, Pb 40 ppm, Zn 111 ppm. Kedua daerah potensi

tersebut ditemukan pada lokasi dengan litologi berupa batuan sedimen, diperkirakan bahwa sumber anomali unsur asosiasi Cu-Pb-Zn berasal dari mineralisasi yang berada di hulu sungai.

Potensi mineralisasi unsur Ag di wilayah penelitian berdasarkan penggabungan data anomali unsur univariat dengan analisis multivariat, diinterpretasikan bahwa anomali unsur Ag tidak memiliki hubungan yang kuat dengan litologi daerah penelitian. Diperoleh sebanyak empat lokasi *catchment area* dari potensi unsur Ag. Potensi tersebut tersebar pada titik-titik berikut; titik pertama MAB18579SS di cabang Sungai Ake Won dengan anomali tertinggi 2,5 ppm dikontrol oleh erosi dan transportasi, titik kedua yaitu MAB18564SS di cabang Sungai Ake Po dengan anomali tertinggi 2,5 ppm, titik ketiga yaitu MAB18552SS di cabang Sungai Ake Polno dengan anomali tertinggi 2,8 ppm dikontrol oleh struktur berarah baratlaut-tenggara daerah Kotamaba, titik keempat yaitu MAB18501SS di cabang Sungai Ake Nov dengan anomali tertinggi 3,5 ppm dikontrol

oleh erosi dan transportasi. Dengan menelusuri hulu sungai pada titik dengan anomali tinggi unsur Ag diharapkan dapat ditemukan mineralisasi yang menjadi sumber dari anomali unsur Ag.

Potensi mineralisasi unsur Cr di wilayah penelitian berdasarkan penggabungan data anomali unsur univariat dengan analisis multivariat, diinterpretasikan bahwa anomali unsur Cr memiliki hubungan yang kuat dengan batuan serpentinit berumur Pra-Kapur Komplek Batuan Ultrabasa pada daerah penelitian. Diperoleh sebanyak tiga lokasi *catchment area* dari potensi unsur Cr. Potensi tersebut tersebar pada titik-titik berikut; titik pertama MAB18551SS di cabang Sungai Tewil dengan anomali tertinggi 4.163 ppm, titik kedua yaitu MAB18597SS di cabang Sungai Ake Genyam dengan anomali tertinggi 4.279 ppm, titik ketiga yaitu MAB18561SS di cabang Sungai Balipopo dengan anomali tertinggi 4.663 ppm. Anomali unsur Cr dikontrol oleh pelapukan batuan dasar serpentinit yang memicu proses pengayaan supergen.



Gambar 17. Peta Persebaran Daerah Potensi Co-Ni-Mn-Fe, potensi Au, potensi Cu-Pb-Zn, potensi Ag, dan potensi Cr dalam Contoh Endapan Sungai Aktif

KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis anomali geokimia sedimen sungai di Halmahera Bagian Timur terhadap unsur Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Mn, Ag, Fe, Cr, dan Au diperoleh data indikasi mineral logam berdasarkan hasil analisis data sebagai berikut:

Analisis Univariat

Dari integrasi data diperoleh indikasi potensi mineralisasi di 15 lokasi, yaitu: Potensi asosiasi unsur Co-Ni-Mn-Fe (Co 324 sampai dengan 793 ppm, Ni 3.388 sampai dengan 7.254 ppm, Mn 2.042 sampai dengan 4.471 ppm, Fe 144.500 sampai dengan 236.800 ppm) diperoleh tiga daerah potensi yaitu Ake Besi, Ake Fai, dan Ake Sangaji. Potensi unsur Au (26 sampai dengan 35 ppb) diperoleh tiga daerah potensi yaitu Leublu, Ake Besi, dan Ake Fai. Potensi Cu-Pb-Zn (Cu 30 sampai dengan 47 ppm, Pb 27 sampai dengan 90 ppm, Zn 93 sampai dengan 142 ppm) diperoleh dua daerah potensi yaitu Pagah dan Piyoy. Potensi Ag (2,2 sampai dengan 3,5 ppm) diperoleh empat daerah potensi yaitu Ake Won, Ake Po, Ake Polno, dan Ake Nov. Potensi Cr (2.692 sampai dengan 4.663 ppm) diperoleh tiga daerah potensi, yaitu Tewil, Ake Genyam, dan Balipopo.

Analisis Multivariat

Dari integrasi data hasil analisis anomali geokimia dan pola sebaran anomali unsur Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Mn, Ag, Fe, Cr, dan Au yang dihubungkan dengan kekerabatan atau hubungan antar unsur dari unsur-unsur tersebut, diperoleh dua kelompok unsur yaitu ikatan unsur Cu-Pb-Zn-Ag-Cr dan Co-Ni-Mn-Fe-Au, akan tetapi tidak semua kelompok asosiasi unsur dapat dihubungkan dengan litologi daerah penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada anggota tim lapangan, teknisi, dan penganalisis laboratorium yang membantu kelancaran kerja hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Apandi, T. dan Sudana, D., 1980, Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara Skala 1 : 250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, Direktorat Jendral Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Fadhly, A., Syafri, I., dan Abdurrokhim, 2017, Zonasi anomali unsur geokimia di Weda, Kabupaten Halmahera Tengah, Maluku Utara berdasarkan data univariat dan multivariat, *Bulletin of Scientific Contribution*, Volume 15, Nomor 3, hlm. 243-254.
- Faisal, R., Soepriadi, Rosana, M., dan Yuningsih, E., 2015, Analisis Faktor dan Univariat Dalam Penentuan Potensi Mineralisasi Cu, Pb, Zn di Halmahera Bagian Barat, Maluku Utara, Buletin Sumber Daya Geologi, Volume 10 Nomor 3, halaman 167-183.
- Faisal, R., dan Mauritz, J., 2018, Survei Geokimia Regional Bersistem Lembar Ternate A-5, Pulau Halmahera, Provinsi Maluku Utara. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Ghazali, S. A., Muchjidin, dan Hariwidjaja, 1986, Penyelidikan Geokimia Endapan Sungai: Metode dan Teknik. Direktorat Sumber Daya Mineral, Bandung.

Karypis, G., Han, E., dan Kumar, V., 1999, *Chameleon: hierarchical clustering using dynamic modeling*. *IEEE Computer*, Vol. 32, Issue 8, Aug 1999.

Levinson, A. A., 1980, *Introduction to Exploration Geochemistry*. Edisi Kedua. *Applied Publishing, Illinois*.

Rose, A. W., Hawkes, H. E., dan Webb, J. S., 1979, *Geochemistry in Mineral Exploration*. Edisi Kedua. Academic Press, London.

Surjadi, P. A., 1976, *Pendahuluan Teori Kemungkinan dan Statistika*. Penerbit ITB, Bandung.

Swan, A. R. H. and Sandilands, M., 1995, *Introduction to Geological Data Analysis*, *Blackwell Science Ltd., Oxford*.

| | |
|-----------|-------------------|
| Diterima | : 13 Agustus 2019 |
| Direvisi | : 3 Desember 2019 |
| Disetujui | : 6 Mei 2020 |

MODEL GAYABERAT 2D UNTUK MENGUNGKAP STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH PANAS BUMI NATAR**2D CONCEPTUAL MODEL ON NATAR GEOTHERMAL SYSTEM
BASED ON GRAVITY DATA****Bella Restu Juliarka dan Mochamad Iqbal**Kelompok Keahlian Geologi, Teknik Geologi, Institut Teknologi Sumatera
mochamad.iqbal@gl.itera.ac.id**ABSTRAK**

Daerah panas bumi Natar terletak di Kecamatan Natar yang berjarak kurang lebih 10 km utara Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Lapangan panas bumi ini terbilang cukup unik karena manifestasi mata air panas yang muncul ke permukaan berada pada daerah yang relatif datar. Pengamatan geologi pada singkapan untuk mengetahui struktur geologi yang mengontrol keluarnya air panas tersebut sulit dilakukan karena terbatasnya singkapan batuan sehingga diperlukan metode geofisika untuk menginterpretasi kondisi bawah permukaan seperti metode gayaberat. Geologi daerah penelitian ditutupi oleh Formasi Lampung yang terdiri dari batuan piroklastik-vulkanoklastik dengan tebal mencapai 200 m. Hasil pemrosesan data gayaberat menunjukkan nilai anomali Bouguer yang berkisar antara 51,0-62,6 mGal. Hasil interpretasi peta anomali Bouguer memperlihatkan keberadaan lima struktur sesar, yang menjadi jalur keluarnya air panas, yang dominan berarah baratlaut-tenggara dan utara-selatan. Arah tersebut menandakan bahwa struktur geologi yang terdapat pada daerah penelitian masih berkaitan dengan Sesar Besar Sumatera yang juga berarah baratlaut-tenggara. Pemodelan 2D bawah permukaan yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak 'Oasis Montaj 8.4', menghasilkan tiga lapisan densitas batuan yaitu densitas yang berasosiasi dengan Formasi Lampung dengan densitas $1,9 \text{ g/cm}^3$, dan yang berasosiasi dengan dua struktur *basement* dengan densitas masing-masing $2,54 \text{ g/cm}^3$ dan $2,76 \text{ g/cm}^3$, yang membentuk struktur seperti *horst* dan *graben*. Pengeboran eksplorasi untuk penelitian selanjutnya disarankan dilakukan pada sebelah barat mata air panas untuk mengonfirmasi model bawah permukaan.

Kata kunci: gayaberat, geotermal, Lampung, Natar, struktur geologi**ABSTRACT**

The Natar geothermal field is located in Natar District, which is approximately 10 km north of Bandar Lampung, Lampung Province. This geothermal area is unique because the manifestation of hot springs that appear on the surface is in a relatively flat area. Geological observations on outcrops to determine the geological structure that control the hot springs are difficult to carry out due to limited rock outcrops, so geophysical methods are needed to interpret subsurface conditions such as gravity methods. The geology of the study area is covered by Lampung Formation consists of pyroclastic - volcanoclastic rocks with thickness reaching 200 m. The result of gravity data processing shows the value of Bouguer anomaly which ranges from 51.0 to 62.6 mGal. The interpretation of Bouguer's anomaly data shows five fault structures predominate northwest-southeast and north-south trend, which act as the water path discharge. This trend indicates that the geological structure in the study area is still related to the Great Sumatran Fault, which is also trending northwest-southeast. The 2D subsurface modeling is conducted by using Oasis Montaj software 8.4 produces three layers of rock density, namely a layer associated to the Lampung Formation with density of 1.9 g/cm^3 , and two layer basements with densities of 2.54 g/cm^3 and 2.76 g/cm^3 respectively,

forming horst and graben like structures in the study area. Exploration drilling for further research is recommended to the west of the hot springs to confirm the subsurface model.

Keywords: *gravity, geothermal, geological structure, Lampung, Natar*

PENDAHULUAN

Lapangan panas bumi Natar terletak di Kabupaten Lampung Selatan, sekitar 10 km utara Kota Bandar Lampung. Pada lapangan ini terdapat dua kelompok mata air panas, yaitu mata air panas Natar (MAP Natar) dan mata air panas Cisarua (MAP Cisarua) dengan potensi spekulatif 25 MWe (Ditjen EBTKE, 2017).

Penelitian tentang geokimia air yang dilakukan oleh Iqbal dkk. (2019) menunjukkan bahwa MAP Natar dan MAP Cisarua memiliki temperatur 45-54°C dengan pH netral, bertipe bikarbonat-*steam heated water* (kondensasi uap geotermal ke air tanah dangkal), dan berasal dari air meteorik. Perhitungan geotermometer menunjukkan bahwa lapangan panas bumi di Natar tergolong ke sistem temperatur sedang yaitu 120-140°C dengan kedalaman reservoir diperkirakan sekitar 285-400m (Iqbal dkk., 2019b). Sistem dengan entalpi sedang juga dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dengan menggunakan teknologi *binary cycle* ataupun dapat digunakan sebagai pemanfaatan langsung seperti pengering kopi, tomat, pisang maupun pendingin ruangan tergantung kebutuhan yang ada di daerah sekitar (Saptadji, 2018). Selain itu, data isotop stabil menunjukkan bahwa MAP Natar dan MAP Cisarua merupakan air tanah modern (yang meresap kurang dari 10 tyl) dan mengalami interaksi dengan batuan metamorf-karbonat di bawah permukaan (Iqbal dkk., 2019b).

Berdasarkan analisis dari morfologi dan cekungan air tanah, sistem panas bumi Natar termasuk ke dalam Cekungan Air Tanah (CAT) Metro-Kotabumi, dengan wilayah daerah resapan yaitu berada pada bagian barat di sekitar kaki perbukitan barisan dan pada bagian selatan di sekitar kaki Gunung Betung dan Pesawaran (Iqbal dkk., 2019a).

Kemunculan MAP Natar dan MAP Cisarua ini tergolong cukup unik dibandingkan mata air panas di daerah yang biasanya muncul di sekitar gunung api. MAP Natar dan MAP Cisarua muncul pada daerah yang relatif datar dan jauh dari gunung api sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui penyebab keluarnya MAP Natar dan MAP Cisarua ini.

Penelitian ini menggunakan metode gayaberat (*gravity*) dengan tujuan untuk mengungkap keberadaan struktur geologi bawah permukaan yang mengontrol keluarnya MAP Natar dan MAP Cisarua. Pengukuran gayaberat di dalam investigasi dan aplikasi pada bidang kebumihan telah dilakukan sejak tahun 1940an (Rymer, 2016). Pada sektor geotermal, pengukuran gayaberat dapat dilakukan untuk melakukan pemodelan 2D, 3D, dan mengetahui struktur geologi bawah permukaan (Guglielmetti dkk., 2013; Maithya dkk., 2020; Pocasangre dkk., 2020; Soengkono dkk., 2013; Uwiduhaye dkk., 2018).

Metode geofisika gayaberat dipilih karena topografi daerah penelitian yang relatif datar sehingga analisis struktur geologi dari singkapan di permukaan sulit untuk dilakukan. Metode gayaberat dilakukan dengan cara mengukur medan gravitasi bumi dan menggunakan variasi gaya gravitasi tersebut untuk menginterpretasi geologi bawah permukaan berdasarkan kontras densitas batuan (Uwiduhaye dkk., 2018). Penelitian ini diharapkan dapat membantu pengembangan potensi panas bumi yang ada di daerah penelitian.

GEOLOGI

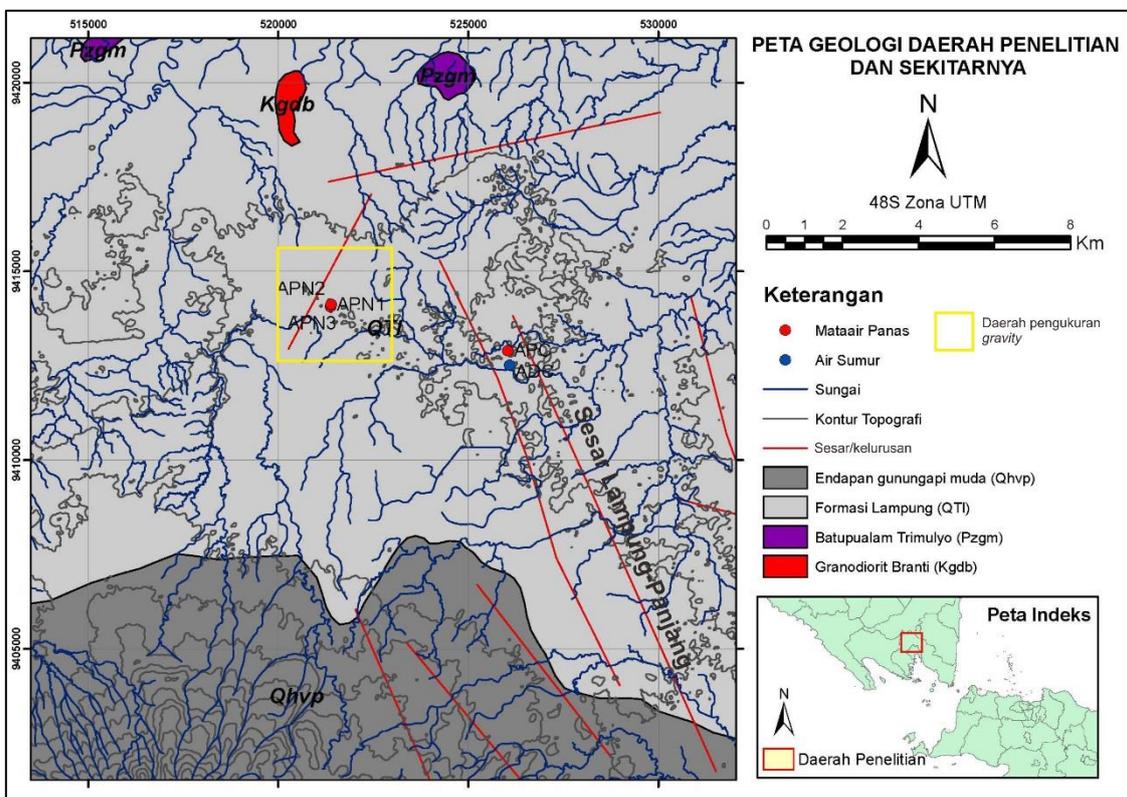
Secara umum, geologi daerah penelitian tercakup dalam peta geologi regional lembar Tanjungkarang (Gambar 1). Daerah penelitian disusun oleh beberapa satuan/formasi batuan dari tua ke muda sebagai berikut (Mangga dkk., 1993):

- Batupualam Trimulyo (Pzgm) terdiri dari batupualam/marmer dan sekis yang berumur Paleozoikum. Formasi ini merupakan batuan dasar di daerah penelitian. Tersingkap sedikit pada bagian utara daerah penelitian.
- Granodiorit Branti (Kgdb) merupakan granodiorit berbutir sedang yang tersusun atas biotit subhedral. Satuan ini muncul pada bagian utara daerah penelitian yang berumur 87 ± 3 jtl (Kapur).
- Formasi Lampung (QTI) yang tersusun dari tuf, tuf pumisan, dan batupasir tufan. Tuf berwarna putih sampai kecoklatan berkomporsi riolit, dan terkekarkan di beberapa tempat. Tuf pumisan berwarna kelabu dengan butir sedang-kasar, terpilah buruk, dan tersusun atas pumis dan fragmen batuan. Batupasir tufan berwarna putih kekuningan dengan butir halus-sedang, terpilah buruk, membundar tanggung, terdapat fragmen pumis dan tidak kompak, di beberapa tempat memperlihatkan struktur silang siur.

Formasi ini memiliki tebal sekitar 200 m, diendapkan pada lingkungan darat-fluvial, air payau.

- Satuan Endapan Gunungapi Muda (Qhvp) merupakan satuan termuda di daerah penelitian yang menindih secara tidak selaras Formasi Lampung. Di daerah penelitian, satuan ini merupakan hasil endapan gunungapi Betung yang berumur Kuartar yang tersusun atas lava (andesit-basalt), breksi, dan tuf.

Daerah penelitian didominasi oleh kelurusan yang berarah barat-laut-tenggara dan searah dengan arah dari Sesar Besar Sumatera (*Great Sumatran Fault*). Sesar Lampung-Panjang yang berada di dekat daerah penelitian diperkirakan masih dipengaruhi oleh sesar tersebut. Di dalam daerah pengukuran gayaberasat, terdapat satu kelurusan yang berarah timurlaut-baratdaya yang diduga menjadi pengontrol keluarnya mata air panas Natar. Hasil dari penelitian gayaberasat ini diharapkan dapat mempertegas kelurusan tersebut.



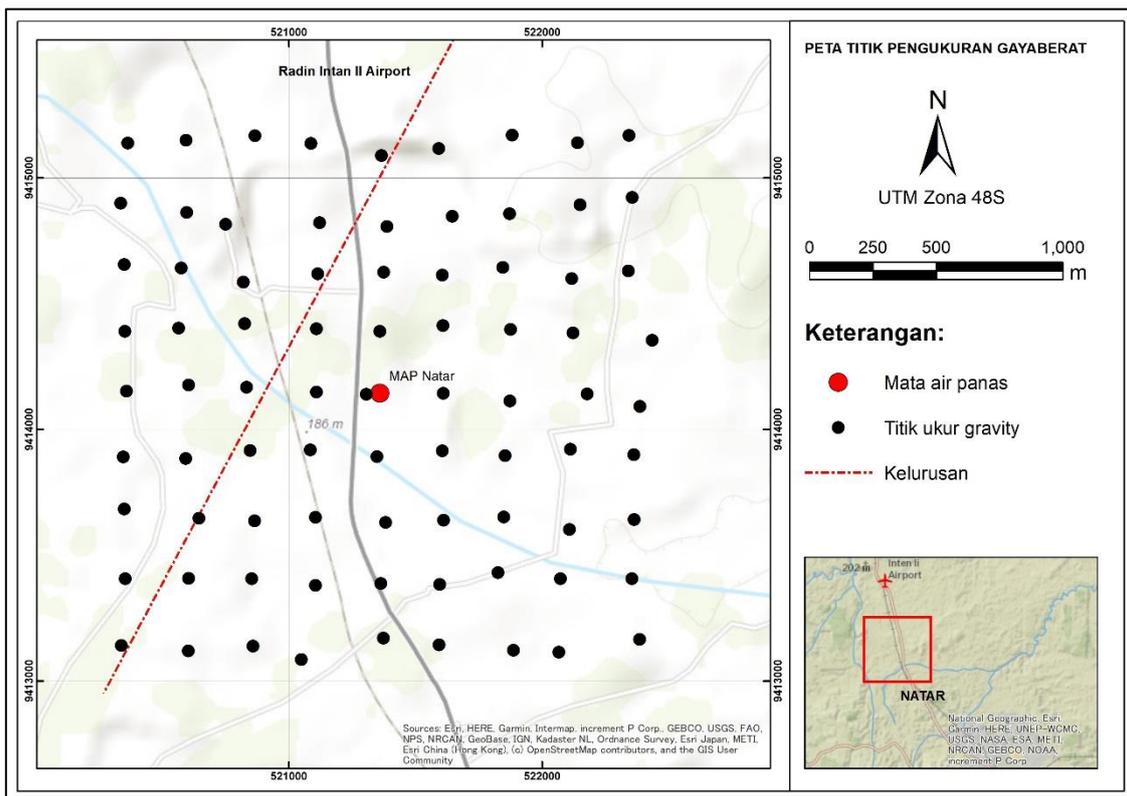
Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian, lembar Tanjung Karang (modifikasi dari Mangga dkk., 1993)

METODOLOGI

Lokasi daerah penelitian terletak di sekitar mata air panas Natar di Jalan Lintas Sumatra/Jalan Raya Natar dan secara administratif masuk ke dalam Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Akuisisi data menggunakan metode geofisika yaitu metode gayaberat untuk mengetahui gambaran struktur geologi di bawah permukaan yang menyebabkan munculnya mata air panas Natar. Objek penelitian pada penelitian ini adalah lokasi sekitar mata air panas Natar seluas 2,5 km x 2,5 km dan sebanyak 81 titik yang mencakup daerah penelitian (Gambar 2).

Akuisisi data gayaberat dilakukan dengan menggunakan gravimeter tipe CG-6 yang

disewa dari Laboratorium Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera, sedangkan pemodelan bawah permukaan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Geosoft Oasis Montaj 8.4. Pengukuran menggunakan sistem *looping* yang bertujuan untuk memperoleh nilai koreksi apung alat (*drift*) yang disebabkan oleh guncangan alat selama berjalan sehingga terjadi perubahan pembacaan nilai gravimeter dengan cara membandingkan dengan nilai Gayaberat absolut pada suatu titik ikat (*base station*). Pengukuran nilai gayaberat yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *base station* yang ada di Universitas Lampung dengan nilai yang tertera pada Tabel 1.

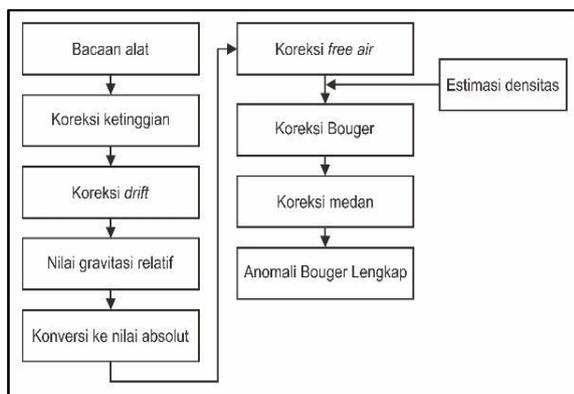


Gambar 2. Titik pengukuran gayaberat

Tabel 1. Nilai gayaberat absolut pada titik ikat (*base station*)

| Lintang | Koordinat | | Nilai Gayaberat absolut (mGal) | Waktu pengukuran |
|--------------|---------------|-------------|--------------------------------|------------------|
| | Bujur | Elevasi (m) | | |
| 05° 22,02' S | 105° 14,43' E | 143,6 | 978101,21 | Juli 2003 |

Data gayaberat mentah dikoreksi untuk menghasilkan anomali Bouguer dengan menerapkan koreksi standar di setiap stasiun. Gambar 3 memperlihatkan diagram alir pemrosesan data gayaberat yang dilakukan pada penelitian ini. Estimasi densitas untuk koreksi data penelitian ini yaitu $2,47 \text{ g/cm}^3$ dengan menggunakan metode Parasnis (Parasnis dan Cook, 1952). Densitas ini digunakan dalam koreksi Bouguer dan koreksi medan terhadap data gayaberat yang diamati (Uwiduhaye dkk., 2018).



Gambar 3. Diagram alir pemrosesan data gayaberat

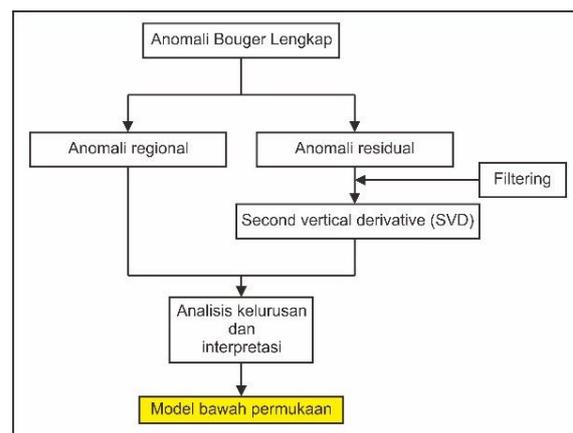
Tujuan akhir dari koreksi gayaberat adalah untuk menghitung anomali Bouguer. Dari prosedur di atas, anomali Bouguer dapat dihitung dari persamaan berikut (Maithya dkk., 2020; Uwiduhaye dkk., 2018):

$$\Delta g = g_{obs} - \gamma + \beta h - 2\pi G\rho h - \rho T$$

dengan Δg adalah anomali Bouguer (mGal), g_{obs} nilai gayaberat teramati, γ nilai gayaberat normal (mGal), βh nilai koreksi bebas (mGal), h adalah elevasi (m), G nilai gayaberat konstan, ρ nilai estimasi densitas (g/cm^3), $2\pi G\rho h$ merupakan nilai koreksi bouguer (mGal), dan ρT merupakan nilai koreksi medan (mGal).

Anomali Bouguer disebabkan oleh heterogenitas dari distribusi densitas batuan di bawah permukaan (Uwiduhaye dkk., 2018). Setelah diperoleh anomali Bouguer, langkah selanjutnya yaitu melakukan *gridding* data agar menghasilkan peta dengan beragam penerapan filter sebelum interpretasi dilakukan. Pada penelitian ini, salah satu filter yang digunakan untuk melihat struktur bawah permukaan yaitu filter *secondary vertical derivative* (SVD).

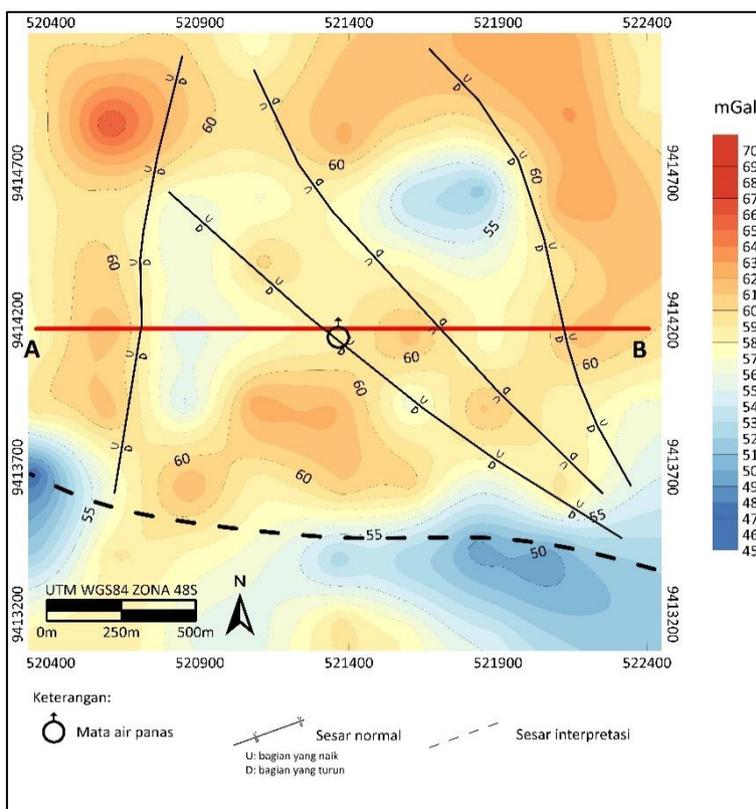
Setelah *gridding* data gayaberat dilakukan, langkah berikutnya adalah memisahkan anomali Bouguer menjadi komponen-komponen regional dan residual. Pemisahan residual dan regional dilakukan sebelum analisis dan interpretasi data lebih lanjut. Gambar 4 memperlihatkan diagram alir dalam analisis data gayaberat.



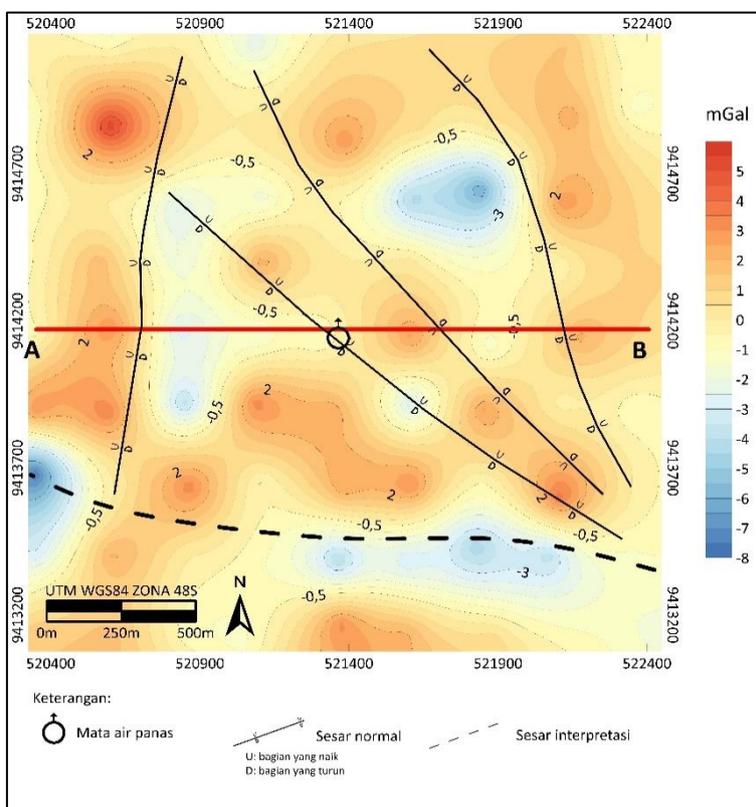
Gambar 4. Diagram alir analisis data gayaberat

HASIL

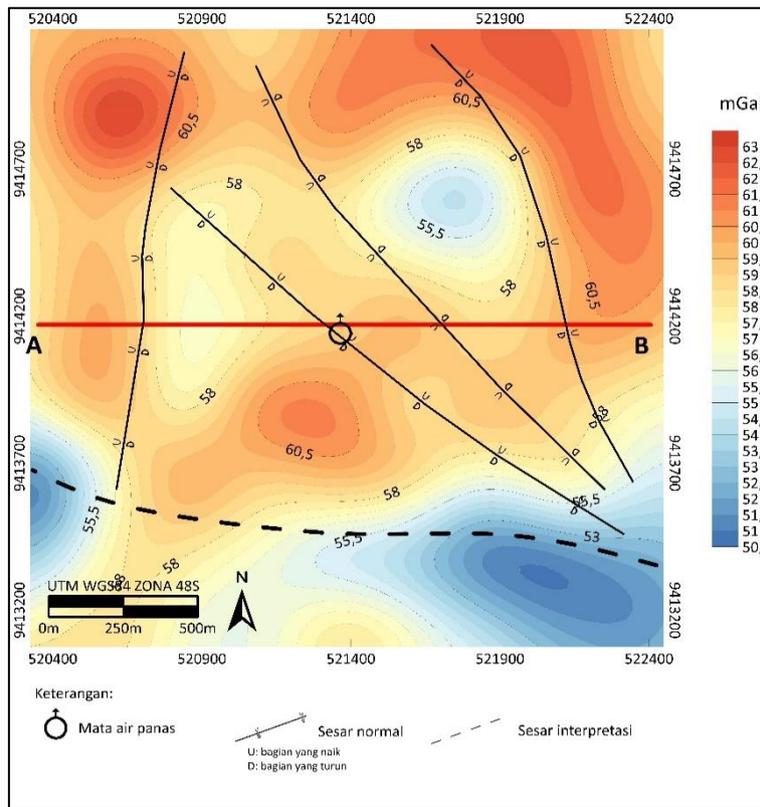
Dari hasil *gridding* data gayaberat, penulis menghasilkan empat peta anomali gayaberat yang digunakan untuk interpretasi struktur bawah permukaan yaitu peta anomali Bouguer, peta anomali regional, peta anomali residual, dan peta SVD (Gambar 5).



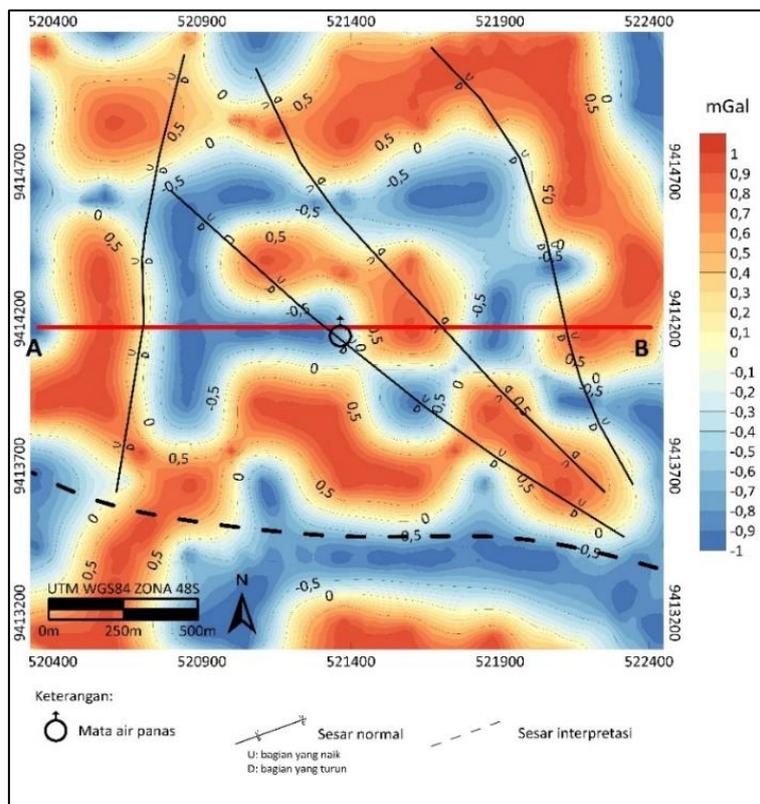
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5. Peta anomali gayaberat daerah Natar. (a) anomali Bouguer lengkap, (b) anomali regional, (c) anomali residual, (d) SVD

Peta yang dihasilkan dari pengolahan data gayabarat (Gambar 5) menunjukkan beberapa wilayah yang memiliki kontras densitas yang signifikan. Dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 5 (a-c) pada bagian tenggara memiliki nilai relatif yang rendah, sedangkan pada bagian timurlaut memperlihatkan nilai tinggi. Peta SVD (Gambar 5.d) juga memperlihatkan bagian selatan memiliki nilai yang rendah dan menerus ke sampai ke sisi timur. Selain itu, peta anomali Bouguer dan anomali regional juga menunjukkan bahwa bagian tengah daerah penelitian, yang merupakan tempat keluarnya mata air panas Natar, merupakan daerah rendah (menyerupai cekungan).

PEMBAHASAN

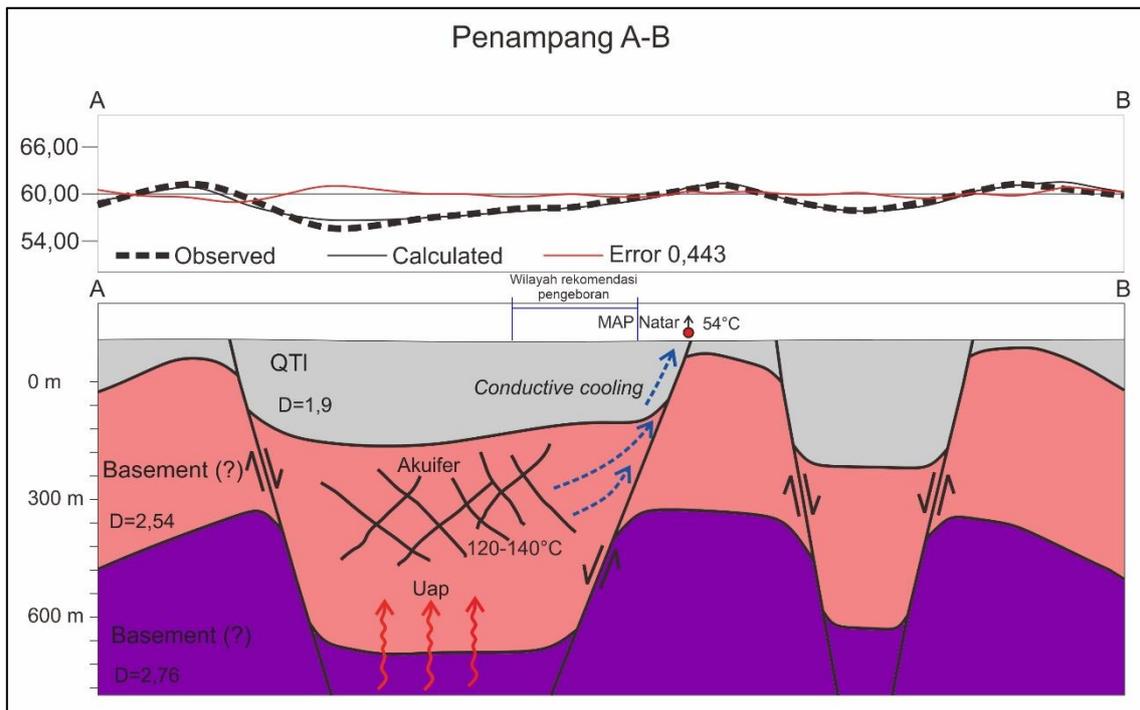
Dari beberapa peta yang dihasilkan, penulis menginterpretasi bahwa daerah penelitian memiliki beberapa struktur geologi berupa sesar normal (Gambar 5) yang berarah dominan baratlaut-tenggara (tiga sesar yang berada di tengah hingga ke timur daerah penelitian) dan utara-selatan (paling barat) dan satu sesar interpretasi berarah barat-timur pada bagian selatan daerah penelitian yang ditarik berdasarkan kelurusan yang dibentuk oleh nilai kontras densitas dari peta yang telah diperoleh.

Selanjutnya, pemodelan 2D dilakukan terhadap penampang A-B untuk melihat distribusi batuan dan struktur bawah permukaan dengan menggunakan perangkat lunak Geosoft Oasis Montaj 8.4. Pemodelan 2D dilakukan dengan menggunakan asumsi dari data geologi regional (Mangga dkk., 1993) bahwa daerah penelitian memiliki tiga lapisan batuan yang terdiri dari dua lapisan batuan dasar (*basement*) yang merupakan batuan beku dan batuan metamorf dengan umur Paleozoikum-Kapur dengan densitas masing-masing $2,54 \text{ g/cm}^3$ dan $2,76 \text{ g/cm}^3$,

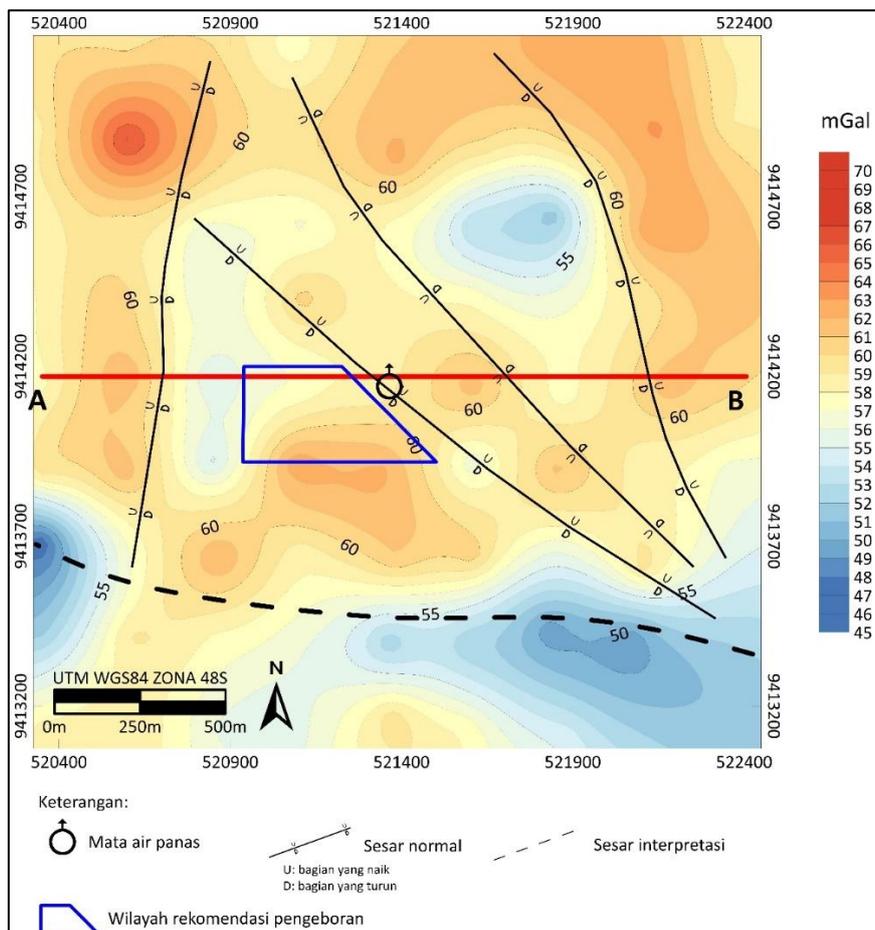
dan lapisan batuan piroklastik berumur Kuartar berupa tuf-vulkanoklastik.

Pemodelan dilakukan dengan cara melakukan *trial and error* dengan mempertimbangkan densitas batuan serta struktur geologi yang ada di bawah permukaan sehingga nilai gayabarat terobservasi (*observed*) mendekati nilai terhitung (*calculated*) dan menghasilkan nilai *error* yang kecil (Gambar 6). Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa daerah penelitian memiliki struktur *horst* dan *graben* yang terbentuk akibat *regime extensional* pada masa Kuartar dan diperkirakan masih berkaitan dengan sistem Sesar Besar Sumatra. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Iqbal dkk. (2019b) tentang hidrogeokimia fluida air panas Natar menunjukkan bahwa reservoir Natar memiliki temperatur $120-140^\circ\text{C}$ dengan kedalaman sekitar 300 m, sehingga struktur *horst* dan *graben* tersebut diperkirakan menjadi jalur keluarnya mata air panas Natar ke permukaan.

Dari perhitungan geotermometer, reservoir panas bumi di Natar tergolong ke dalam sistem dengan temperatur sedang sehingga kurang optimal jika digunakan untuk pembangkit listrik tenaga panas bumi. Pengembangan lebih lanjut lapangan panas bumi di Natar ini dapat digunakan sebagai pemandian air panas atau pengering tanaman seperti kopi, pisang, tomat, (Saptadji, 2018). Namun untuk mendapatkan temperatur yang diinginkan, diperlukan pengeboran air panas hingga mencapai reservoir yang ditargetkan. Titik pengeboran direkomendasikan dilakukan pada daerah graben/depresi (turunan) di sebelah barat dari mata air panas yang ada pada saat ini karena berdasarkan pemodelan geologi daerah tersebut diduga merupakan daerah reservoir panas bumi (Gambar 6 dan 7).



Gambar 6. Model struktur geologi lapangan panas bumi Natar berdasarkan pemodelan bawah permukaan data gayaberat



Gambar 7. Rekomendasi wilayah pengeboran daerah panas bumi Natar

KESIMPULAN DAN SARAN

Kemunculan mata air panas Natar ke permukaan dipengaruhi oleh struktur geologi yang berupa sesar normal berarah utara-selatan dan baratlaut-tenggara yang membentuk struktur *horst* dan *graben*. Pemodelan bawah permukaan menunjukkan adanya tiga lapisan batuan yang menyusun daerah penelitian yaitu batuan piroklastik ($\rho=1,9 \text{ g/cm}^3$, batuan beku $\rho=2,54 \text{ g/cm}^3$, dan batuan metamorf $\rho=2,76 \text{ g/cm}^3$. Pengeboran eksplorasi untuk penelitian selanjutnya disarankan dilakukan pada sebelah barat mata air panas untuk mengonfirmasi model bawah permukaan yang telah dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti yang telah mendanai penelitian ini sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Kemudian penulis juga berterima kasih kepada Hikmahdan Gultaf dan Alviyanda yang telah memberikan saran dan masukan terhadap tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ditjen EBTKE, 2017. Potensi Panas Bumi Indonesia. Direktorat Panas Bumi, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.

Guglielmetti, L., Comina, C., Abdelfettah, Y., Schill, E., Mandrone, G., 2013. Integration of 3D geological modeling and gravity surveys for geothermal prospection in an Alpine region. *Tectonophysics* 608, 1025–1036. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.012>

Iqbal, M., Ashuri, W., Juliarka, B.R., Farishi, B.A., Harbowo, D.G., 2019a. Delineation of Recharge and Discharge Area for Geothermal Energy in Natar. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 258, 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/258/1/012036>

Iqbal, M., Juliarka, B.R., Ashuri, W., Farishi, B.A., 2019b. Hydrogeochemistry of Natar and Cisarua Hot springs in South Lampung, Indonesia. *J. Geosci. Eng. Environ. Technol.* 4, 178–185. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2019.4.3.2959>

Maithya, J., Fujimitsu, Y., Nishijima, J., 2020. Analysis of gravity data to delineate structural features controlling the Eburru geothermal system in Kenya. *Geothermics* 85, 101795. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101795>

Mangga, S.A., Amirudin, Suwanti, T., Gafoer, S., Sidarto, 1993. Peta Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatera skala 1:250.000.

Parasnis, D.S., Cook, A.H., 1952. A Study of Rock Densities in the English Midlands. *Geophys. J. Int.* 6, 252–271. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1952.tb03013.x>

Pocasangre, C., Fujimitsu, Y., Nishijima, J., 2020. Interpretation of gravity data to delineate the geothermal reservoir extent and assess the geothermal resource from low-temperature fluids in the Municipality of Isa, Southern Kyushu, Japan. *Geothermics* 83, 101735. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101735>

Rymer, H., 2016. Gravity measurements on chips. *Nature* 531, 585–586. <https://doi.org/10.1038/531585a>

Saptadji, N., 2018. Teknik Geotermal, 1st ed. ITB Press, Bandung.

Soengkono, S., Bromley, C., Reeves, R., Bennie, S., Graham, D., 2013. Geophysical techniques for low enthalpy geothermal exploration in New Zealand. *Explor. Geophys.* 44, 215–227.
<https://doi.org/10.1071/EG13036>

Uwiduhaye, J. d'Amour, Mizunaga, H., Saibi, H., 2018. Geophysical investigation using gravity data in Kinigi geothermal field, northwest Rwanda. *J. Afr. Earth Sci.* 139, 184–192.
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.12.016>

| | |
|-----------|--------------------|
| Diterima | : 10 Desember 2019 |
| Direvisi | : 9 Januari 2020 |
| Disetujui | : 14 Mei 2020 |

**PENENTUAN UMUR ABSOLUT BATUAN KUBAH LAVA ANDESIT
DAERAH PANAS BUMI LEJJA-KABUPATEN SOPPENG,
PROVINSI SULAWESI SELATAN MENGGUNAKAN
METODE THERMOLUMINESCENCE (TL)**

**DETERMINATION OF ABSOLUTE AGE LAVA DOME ANDESITE ROCK
AT GEOTHERMAL LEJJA AREA, SOPPENG DISTRICT,
SOUTH SULAWESI PROVINCE BY THERMOLUMINESCENCE (TL) METHOD**

**Dikdik Risdianto¹, Sukaesih¹, Nizar Muhamad Nurdin¹,
Stephen Simamora², dan Agus Didit Haryanto²**

¹Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

²Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

dikdik.risdianto@esdm.go.id

ABSTRAK

Saat ini metode *Thermoluminescence* (TL) sudah diaplikasikan sebagai salah satu metode pentarikan (*dating*) umur batuan. Dalam eksplorasi panas bumi informasi tentang umur batuan/material vulkanik sangat penting untuk merekonstruksi sejarah geologi yang berkaitan dengan aktivitas termal. Penentuan umur batuan yang diperkirakan sebagai sumber panas di prospek Panas Bumi Lejja Kabupaten Soppeng, Provinsi Sulawesi Selatan dilakukan menggunakan metode TL. Prosedur pengukuran dilakukan dengan dosis aditif pada butiran kristal kuarsa, Pengukuran dosis dengan iradiasi dilakukan dua kali yaitu pada dosis 10 Gray (Gy) dan 30 Gy sedangkan untuk *annual dose* ditentukan dengan menganalisis konsentrasi uranium, thorium, dan kalium menggunakan metode *X-ray Fluorescence* (XRF). Garis *trendline* dibuat untuk menentukan persamaan linear hubungan antara intensitas TL alami dengan dosis yang diberikan pada proses iradiasi, dan menunjukkan bahwa bahwa intensitas TL alami setara dengan 304,05-315,96 Gy, sedangkan hasil perhitungan *annual dose* menunjukkan 0,5408 Gy/ka. Dengan kalkulasi menggunakan formula dalam metode ini diketahui bahwa usia absolut tubuh batuan yang diperkirakan sebagai sumber panas di prospek panas bumi Lejja, Kabupaten Soppeng adalah 573 ± 11 kilo tahun.

Kata kunci: *Thermoluminescence*, TL, penanggalan geologi, sejarah termal, panas bumi

ABSTRACT

Thermoluminescence (TL) has now been applied as a dating method for rock age. In geothermal exploration information about the age of rocks / volcanic material is very important to reconstruct the geological history related to thermal activity. Determination of the estimated age of rocks as a source of heat in the Lejja Geothermal prospect in Soppeng Regency, South Sulawesi Province used the TL method. The measurement procedure used with additive doses on quartz crystal grains. Measurement of dose by irradiation is done twice, at doses of 10 Gray (Gy) and 30 Gy while for annual dose is determined by analyzing the concentration of Uranium, Thorium, and Potassium using the X-ray fluorescence of method XRF. Two trend line is made to determine both minimum and maximum linear equation. Natural TL intensity shows 14380 arbitrary unit (a.u) and 14430 a.u as the minimum and maximum peak. Irradiated sample with 10 Gy dose shows peak at 1883–1947 a.u, and 30 Gy dose shows peak at 2733-2763 a.u. Regression trend line made by artificial dose show that natural TL intensity equivalent with 304.05-315.96 Gy. Calculation of uranium, thorium, potassium, water content, and beta factor produce annual dose in the amount of 0.5408 Gy. Through TL method, it is known that the absolute age of heat source at soppeng is 573 ± 11 kilo age years old.

Keywords: *Thermoluminescence*, TL, geological dating, thermal history, geothermal

PENDAHULUAN

Thermoluminescence (TL) dapat didefinisikan menjadi dua perspektif mikroskopis dan makroskopis. Secara mikroskopis, fenomena TL dimulai ketika suatu bahan berubah dari keadaan kesetimbangan termodinamika menjadi keadaan metastabil, yang disebabkan oleh penyerapan energi eksternal yang dihasilkan oleh radiasi ion. Kemudian ketika material dipanaskan, radiasi ion akan dilepaskan dan menyebabkan emisi cahaya. Seiring berjalannya waktu material kembali ke kondisi setimbang. Secara umum, fenomena yang terjadi dalam metode ini adalah fosforisensi yang diamati pada kondisi suhu yang terus meningkat (Furetta, 2010) dan berlaku untuk bahan dengan struktur kristal atau dengan konten kristal semu. Bahan harus berupa bahan isolasi atau bahan semikonduktor. Bahan logam tidak dapat digunakan untuk analisis dengan metode ini.

Secara alami, mineral yang stabil menerima paparan radiasi dari sekitarnya. Penyebab fenomena ini disebabkan adanya jejak unsur radioaktif yang terkandung dalam batuan. Menurut Aitken (1985), unsur radioaktif yang digunakan untuk menentukan umur absolut adalah uranium, thorium, dan kalium. Terdapat hubungan antara intensitas TL dan dosis radiasi yang tersimpan pada mineral terutama kuarsa (Daniels et al., 1953).

Fenomena TL terjadi akibat stimulasi oleh temperatur, radiasi akan dilepaskan setelah peristiwa pemanasan dan menyebabkan proses yang berulang seiring berjalannya waktu. Ketika proses pendinginan terjadi, mineral yang stabil akan mulai menyerap radiasi. Penentuan besaran umurnya tidak selalu mewakili umur batu, akan tetapi umur yang mewakili umur peristiwa pemanasan terakhir yang terjadi pada mineral (*thermal history*). Aktivitas termal dapat berupa proses hidrotermal, aktivitas tektonik, letusan gunung berapi, intrusi magma, dan fenomena lain yang melibatkan proses pemanasan.

Metode ini umumnya diterapkan dalam penelitian arkeologi dan geologi. Dalam arkeologi terutama digunakan untuk penentuan umur gerabah tua dan *flint stone* untuk menentukan waktu peradaban manusia. Dalam aplikasinya di bidang geologi, telah digunakan untuk menentukan umur vulkanik batu dan alterasi hidrotermal (Takashima, 2005), memperkirakan umur letusan gunung berapi (Schmidt, 2017; Rufer, 2012; Preusser, 2011).

Pentarikhan umur batuan Kubah Lava Latorang di daerah panas bumi Lejja dengan menggunakan metode *Thermoluminescence* bertujuan untuk mengetahui peristiwa pemanasan (*thermal history*) terakhir yang terjadi pada batuan tersebut.

METODOLOGI

Sampel berupa batuan andesitik mewakili peristiwa pemanasan terakhir yang diperkirakan sebagai sumber panas aktivitas panas bumi. Berat sampel yang dianalisis sekitar 500 gram segera dibungkus menggunakan aluminium foil setelah *sampling* untuk menjaga kelembaban.

Sampel dipreparasi dan dianalisis di Laboratorium Fisika Mineral, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi untuk dilakukan pengukuran dosis radiasi alami (*natural dose*). Langkah pertama adalah pemecahan batuan menjadi fragmen berukuran 0.1-1.0mm dengan *jaw crusher*. Fragmen-fragmen dipisahkan menjadi dua kelompok. Setiap kelompok masing-masing 100 gram untuk analisis dosis tahunan atau *Annual Dose* (AD) dan 300 gram untuk analisis dosis ekuivalen atau *Equivalent Dose* (ED). Butiran-butiran batuan untuk AD ditimbang dan kemudian dikeringkan dalam *oven*. Sampel yang sudah kering kemudian ditimbang lagi, sehingga kadar airnya bisa dihitung. Sampel yang sudah kering kemudian dihaluskan menjadi serbuk menggunakan *pulverizer*. Serbuk kemudian dianalisis dengan menggunakan metode XRF untuk

memperoleh konsentrasi uranium, thorium dan kalium.

Fragmen sampel ED dihancurkan dengan lumpang secara manual menjadi ukuran yang lebih kecil. Air ditambahkan ke mortar manual untuk menjaga fragmen tetap dingin, karena gesekan antara mortar dan fragmen batuan dapat menimbulkan panas. Sampel kemudian dihaluskan dengan mesin penghancur batuan menjadi butiran yang lebih halus berukuran < 1 mm. Air masih ditambahkan ke mesin penghancur batuan untuk menghindari panas yang disebabkan oleh gesekan. Sampel untuk ED diayak menggunakan empat jenis ukuran saringan: 10 *mesh*, 18 *mesh*, 35 *mesh*, dan 60 *mesh*, ukuran butiran mineral 0,5 mm hingga 1 mm yang diperoleh dari proses pengayakan ini digunakan untuk keperluan pengukuran. Sampel ED kemudian dimasukkan ke dalam oven dan dikeringkan pada suhu 60°C. Setelah sampel dikeringkan, mineral magnetik dipisahkan menggunakan magnet tangan. Mineral warna terang (non magnetik) kemudian diperoleh setelah pemisahan secara magnetik. Plagioklas dan kuarsa kemudian dipisahkan menggunakan mikroskop binokuler, butiran mineral terpilih berukuran 0,5 - 1 milimeter. Untuk membersihkan butiran mineral dari pengotor, kemudian dituangkan larutan asam HF 24% ke dalam wadah kaca. Reaksi ini memakan waktu lebih dari 15 - 30 menit. Setelah butiran mineral dikeluarkan dari larutan HF, kemudian ditampahkan HCl 1 : 1 ke wadah plastik selama 15 - 30 menit untuk menghilangkan pengotor di permukaan mineral. Setelah itu, butiran mineral dibersihkan dengan menggunakan aquades.

Butiran kristal kuarsa (*aliquots*), sebanyak tujuh butir (5 mg) kemudian diambil (*picking*) menggunakan mikroskop binokular untuk pengukuran *thermoluminescence* alami (NTL). Sisa mineral kemudian dikemas dalam plastik kunci zip untuk diiradiasi. Proses iradiasi berlangsung di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Isotop radioaktif Cobalt-60 digunakan sebagai sumber

(*sources*) untuk meradiasi butiran kristal mineral kuarsa. Sampel iradiasi dibagi menjadi 2 dosis yaitu dosis 10 Gray dan 30 Gray. Nilai intensitas TL dihasilkan dari hasil radiasi dengan alat *irradiator* disebut radiasi buatan (ATL). Tujuh butir kuarsa diambil dari masing-masing sampel iradiasi dari masing-masing dosis. Kuarsa yang diambil memiliki ukuran butiran yang sama, berdiameter sekitar 5 mm. Nilai faktor-beta yang diperoleh dengan memasukkan ukuran mineral ke Formula Mejdahl (1979).

$$B = e^{-0.445D}$$

- B = faktor beta
- e = Nomor Euler, kira-kira sama dengan 2,718
- D = diameter butiran mineral

Semua kuarsa yang diambil memakai wadah logam mini untuk masing-masing sampel natural atau NTL, sampel hasil radiasi atau ATL dosis 10 Gy, dan dosis 30 Gy. Setiap sampel kemudian diukur dengan alat TL-2000 dengan tingkat pemanasan TL-2000 diatur dengan kecepatan pemanasan 2°C / detik. Pemanasan mulai dari 50°C hingga 400°C. Temperatur ruangan diatur hingga 20°C untuk menjaga instrumen tetap dingin, karena suhu lingkungan mempengaruhi kinerja instrumen. Setelah data intensitas radiasi alami dan buatan diperoleh, grafik NTL dan ATL dapat digambar. Grafik NTL dan ATL terdiri dari parameter suhu sebagai sumbu x dan intensitas TL sebagai sumbu y. Kemudian, nilai puncak dari setiap grafik diperoleh dan direkam. Nilai puncak tersebut kemudian digambarkan ke dalam grafik dosis terhadap intensitas. Melalui *trendline*, formula diperoleh untuk menentukan dosis yang setara dengan NTL.

Untuk menentukan dosis ekuivalen (ED) atau paleodose, ada dua metode yaitu regresi dan aditif. Metode regresi dilakukan dengan memanaskan mineral sampai semua radiasi alami dalam mineral dilepaskan, sehingga sinyal *thermoluminescence* kembali ke intensitas nol. Sampel mineral kemudian diiradiasi

menggunakan radiasi buatan untuk memperoleh hubungan antara dosis dan intensitas TL. Sedangkan, metode aditif tidak memerlukan radiasi alami untuk diatur ulang. Jadi, radiasi di dalam mineral adalah paleodose plus dosis buatan. Penelitian ini menggunakan metode aditif untuk menentukan dosis ekuivalen (ED).

Proses penentuan umur diperoleh dengan membagi dosis ekuivalen (ED) atau paleodose dengan dosis tahunan (AD). Dosis tahunan (*annual dose*) diperoleh dengan menghitung konsentrasi uranium, konsentrasi kalium, konsentrasi thorium, kadar air, dan faktor beta pada formula (Aitken, 1985).

Berikut adalah formula yang digunakan untuk kalkulasi dosis tahunan (AD):

$$AD (mGy/yrs) = \frac{(0.1148 U + 0.0514 T + 0.2609 K)}{(1 + 1.14 W)} + \frac{(0.1462 U + 0.0286 T + 0.6893 K) B}{(1 + 1.25 W)}$$

- U = konten uranium (ppm)
- T = konten thorium (ppm)
- K = konten kalium ($K_2O\%$)
- W = rasio air ($H_2O\% / 100$)
- B = faktor beta (Mejdahl, 1979)

Sedangkan hubungan antara umur (ribu tahun), dosis ekuivalen (ED) dan dosis tahunan (AD) adalah sebagai berikut :

$$Age (kiloyears) = ED_{(Grey)} / AD_{(mGray/yrs)}$$

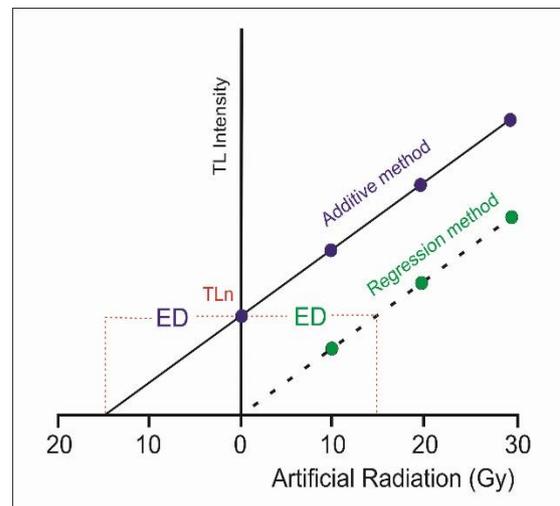
- ED = dosis ekuivalen/ *equivalent dose*
- AD = dosis tahunan/ *annual dose*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam tulisan ini pengukuran umur absolut dilakukan pada batuan andesit dari daerah Panas Bumi Lejja, Kabupaten Soppeng, Provinsi Sulawesi Selatan (Gambar 2). Berdasarkan peta geologi daerah ini terdiri atas 14 satuan batuan, dari yang tertua ke muda adalah Breksi Vulkanik (Tmbv), Lava Andesit Tampaning (Tmat), Lava Andesit Manredareda (Tmam), Lava Andesit Corawali (Tmac), Lava Andesit Bukuere

(Tmab), Lava Basalt Soloang (Tmbs), Lava Andesit-Basalt Lajellu (Tmal), Lava Andesit Ladange (Tmad), Batugamping (Tmbg), Intrusi Diorit (Tpd), Lava Riolit Padali (Tprp), Kubah Lava Latorang (Qpll), Sedimen Danau (Qd), dan Sedimen Permukaan (Qa).

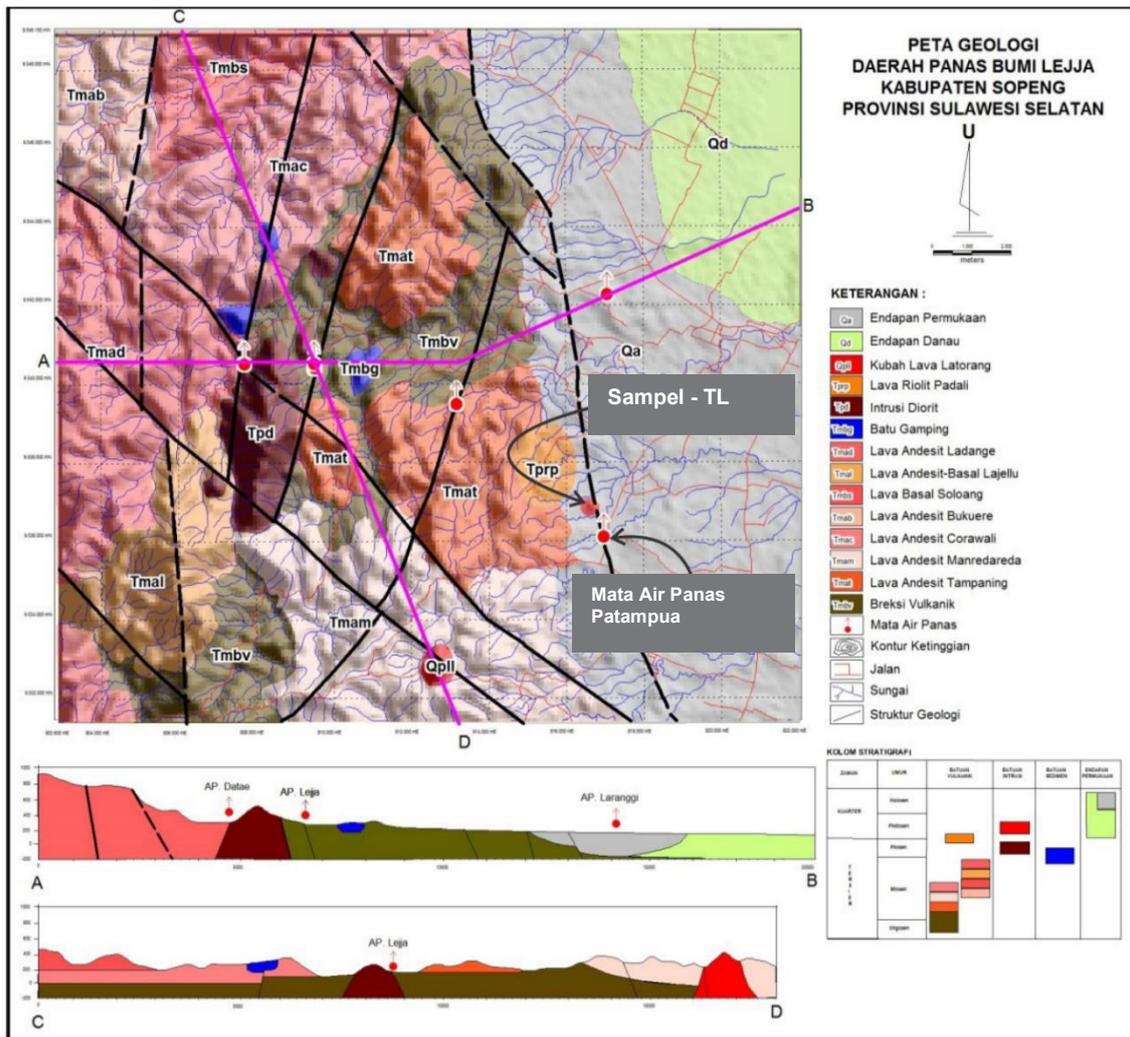
Sampel batuan yang digunakan untuk pengukuran umur metode ini diambil dari satuan batuan Kubah Lava Latorang, yang merupakan produk vulkanik termuda di Lejja. Oleh karena itu, dapat diasumsikan bahwa umur sumber panas sistem panas bumi di daerah ini diperkirakan setara dengan umur kubah lava Latorang (Qpll) (Gambar 1).



Gambar 1. Skema penentuan dosis ekuivalen (ED) (Aitken, 1985)

Sembilan manifestasi mata air panas ditemukan di daerah Panas Bumi Lejja. Salah satu manifestasi yang terdekat adalah Mata Air Panas Patampua, berlokasi sekitar satu kilometer dari lokasi pengambilan sampel-TL. Suhu air panas adalah $46^{\circ}C$. dengan suhu udara tercatat $29,42^{\circ}C$.

Namun, suhu udara di tempat pengambilan sampel terukur $28^{\circ}C$. Jadi dapat diasumsikan bahwa proses *thermoluminescence* Kubah Lava Latorang alami atau tidak dipengaruhi oleh sumber air panas Patampua dan masih mempertahankan radiasi alami yang diperoleh dari sekitarnya.



Gambar 2. Peta Geologi Lejja, Kab.Soppeng, Prov. Sulawesi Selatan (Dimodifikasi dari Nurdin , 2018)

Struktur geologi di Daerah Panas Bumi Lejja, teramati sebagai dua pola patahan, yaitu berarah Utara-Selatan dan arah Baratlaut-Tenggara. Berdasarkan geokimia fluida, daerah penelitian memiliki suhu reservoir 110°C (Nurdin, 2018).

Penentuan ED (Equivalent Dose)

Dosis TL alami (NTL)

Dari hasil pengukuran diperoleh dua puncak (*peak*) nilai yaitu sebagai NTL minimum dan NTL maksimum. Nilai NTL minimum memiliki nilai 14.380 a.u atau *arbitrary unit* dan muncul pada temperatur 310°C. Sedangkan maksimum NTL memiliki nilai intensitas radiasi 14.430 a.u.

(*arbitrary unit*), dan jatuh pada temperatur 320°C (Gambar 3).

Dosis TL Hasil Radiasi (ATL)

Proses radiasi dilakukan dua kali yaitu pada dosis 10 Gray dan 30 Gray digunakan untuk mendapatkan grafik ATL. Sampel 10 Gray memiliki nilai puncak minimum 1883 a.u dan nilai puncak maksimum 1947 a.u. Sampel dengan radiasi 30 Gray memiliki nilai puncak minimum 2733 a.u dan nilai maksimum 2763 a.u. Nilai puncak tersebut muncul pada kisaran temperatur 250 - 265°C. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa grafik sampel radiasi 30 Gy mirip dengan grafik sampel radiasi 10 Gy (Gambar 4).

Dosis Ekuivalen (ED)

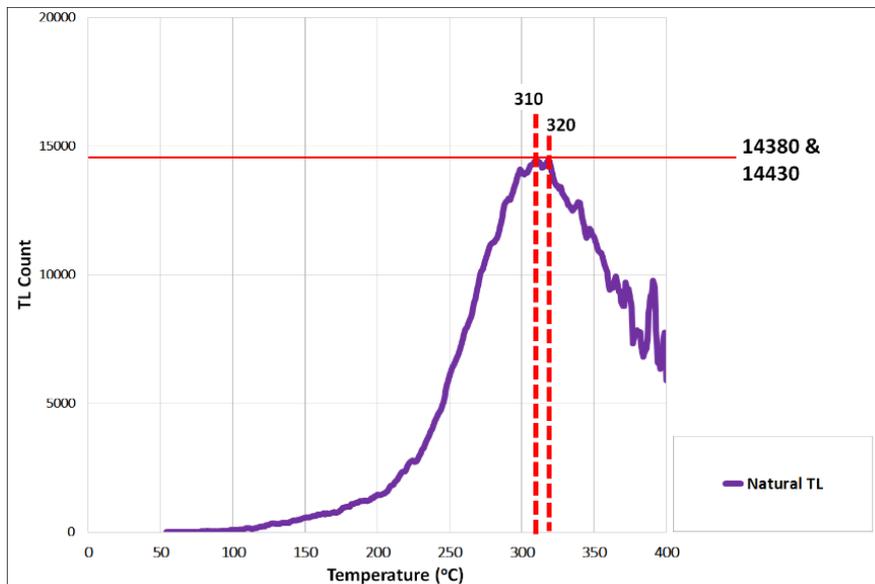
Puncak minimum dan maksimum dari setiap sampel yang diradiasi diplot ke dalam grafik. Rumus persamaan linear hubungan antara ED dengan dosis minimum dan maksimum didapat.

Formula dosis ekuivalen (ED) minimum dan maksimum yang berurutan ditulis di bawah:

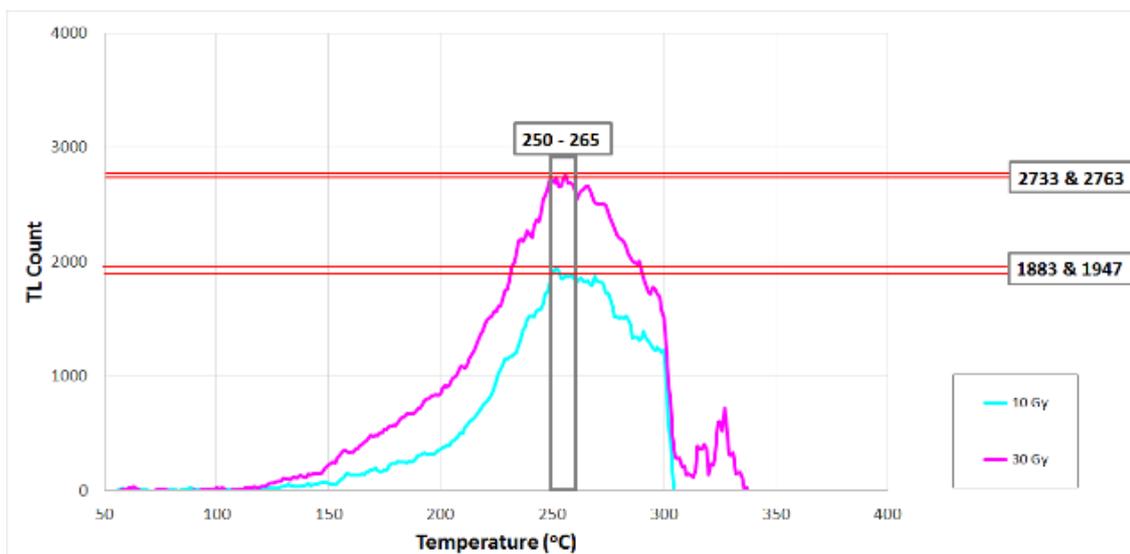
$$y = 42.5x + 1458$$

$$y = 40.8x + 1539$$

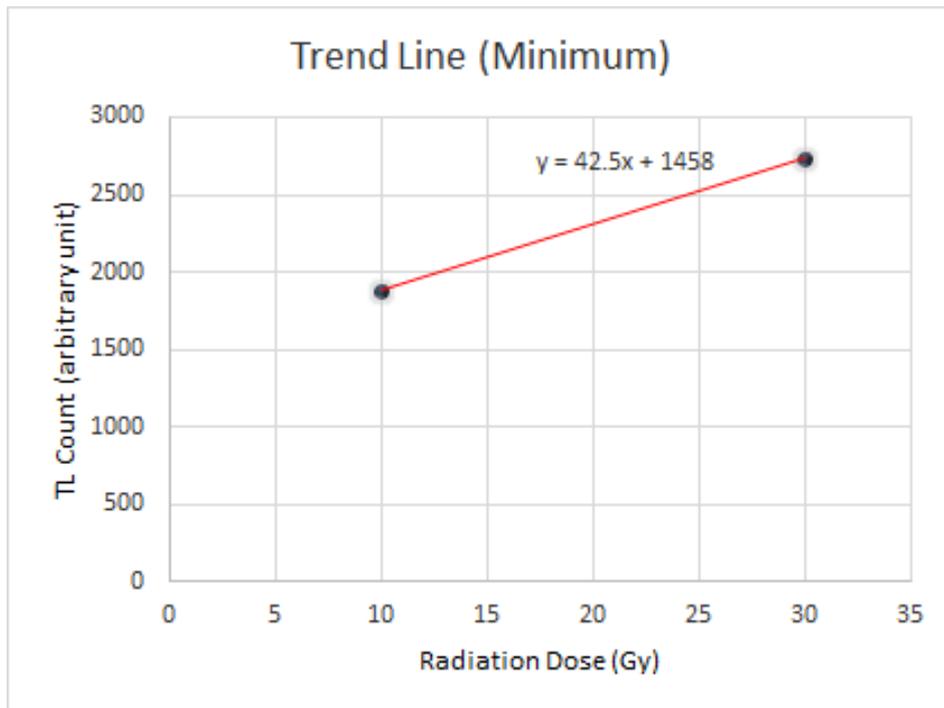
y adalah nilai intensitas radiasi dalam satuan a.u (*arbitrary unit*), sedangkan x adalah nilai dosis radiasi dalam Gray. Jika garis *trend* diperpanjang, maka akan memotong sumbu y. Ini mengkonfirmasi bahwa metode aditif diterapkan dengan baik. Nilai puncak minimum dan maksimum NTL kemudian dimasukkan ke nilai x masing-masing formula, sehingga dosis setara dapat diperoleh. Dosis minimum ekuivalen minimum adalah 304,05 Gray, sedangkan dosis ekuivalen maksimum adalah 315,96 Gray, (Gambar 5 dan 6).



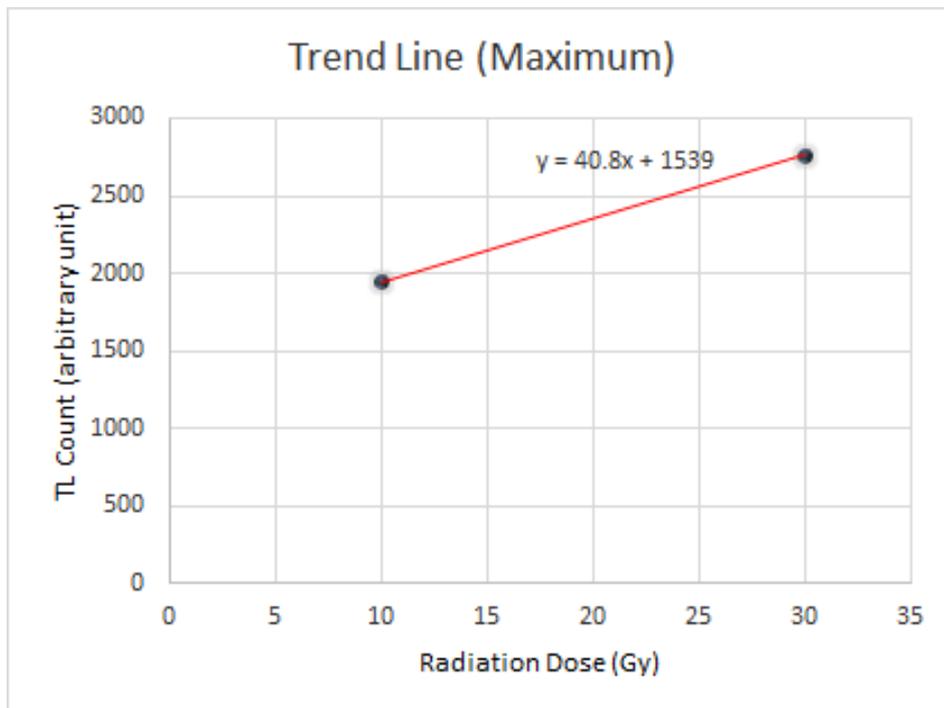
Gambar 3. Grafik *thermoluminescence* alami (NTL), jumlah TL dalam satuan a.u (*arbitrary unit*)



Gambar 4. Grafik *thermoluminescence* (TL) hasil radiasi (ATL) dosis 10 Gy dan 30 Gy dengan nilai TL dalam satuan a.u (*arbitrary unit*)



Gambar 5. Trendline dosis Minimum



Gambar 6. Trendline dosis Maksimum

Penentuan Nilai Dosis Tahunan (AD)

Kandungan Radiasi

Kandungan unsur radioaktif uranium, thorium, dan kalium diperoleh dengan

metode analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*). Kandungan uranium dalam sampel berada di bawah batas deteksi. Sedangkan thorium 34 ppm, dan kalium sebesar 0,38% (Tabel 1).

Kandungan Air

Sampel basah memiliki massa 110,91 gram. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama kurang lebih sehari. Setelah sampel dikeringkan, massa menjadi 106,91 gram, sehingga kadar air sekitar 3,6%.

Faktor Beta

Diameter butir kuarsa sekitar 0,5 mm. Faktor beta diperoleh dengan menggunakan rumus Mejdahl (1979), adalah 0,801. Dengan menggunakan rumus dosis tahunan atau AD dari Aitken (1985), diketahui bahwa dalam seribu tahun jumlah radiasi yang diserap oleh sampel sejumlah 0,540793 gray atau (mGy/tahun).

Setelah data ini dimasukkan ke formula dari Aitken (1985), hasil kalkulasi umur dengan metode ini diperoleh **573 ± 11 kiloannum (ka)**. Satuan kiloannum sama dengan seribu tahun (Tabel 2).

DISKUSI

Proses pengerjaan penentuan umur TL ini dilakukan dengan menggunakan metode aditif, dimana pada saat nilai dosis hasil radiasi dimasukkan ke dalam grafik hubungan antara dosis terhadap Intensitas TL, maka dosis ekivalen (ED) minimum dan maksimum dapat diperoleh, pada kasus ini yaitu berkisar antara 304,047 hingga 315,956 Gy.

Untuk dosis tahunan (AD) diperoleh dengan analisis laboratorium dengan metode XRF, dengan menggunakan formula dari Aitken (1985) diperoleh nilai 0,5408 mGy/tahun artinya dalam satu tahun sampel menyerap radiasi dari partikel radioaktif yang berasal dari unsur uranium, thorium, dan kalium di sekitar sampel berada. Selain itu parameter kadar air juga mempengaruhi jumlah dosis radiasi yang diserap, karena kadar air yang tinggi akan menyebabkan pengurangan penyerapan radiasi.

Setelah diperoleh nilai dosis ekuivalen (ED) dan nilai dosis tahunan (AD) maka proses selanjutnya tinggal mengkalkulasikan dua nilai tersebut dan didapat umur absolut adalah 573 ± 11 ribu tahun. Ini berarti bahwa satuan batuan Kubah Lava Latorang mengalami peristiwa pemanasan (*thermal event*) terakhir pada 573 ± 11 ribu tahun yang lalu.

Aktivitas radiasi alami pada satuan batuan Kubah Lava Latorang diperkirakan tidak dipengaruhi oleh sumber air panas yang berlokasi sekitar 1 kilometer dari lokasi sampel, sehingga proses pemanasan terakhir hanya berasal dari tubuh kubah lava itu sendiri. Satuan kubah lava Latorang adalah produk vulkanik termuda di daerah Panas Bumi Lejja, hal ini dapat diasumsikan bahwa hasil aktivitas panas bumi di lokasi ini berkaitan dengan pembentukan satuan kubah lava ini sebagai sumber panas.

Tabel 1. Data untuk perhitungan dosis tahunan (AD)

| Massa basah (gram) | Massa kering (gram) | U (ppm) | Th (ppm) | K (%) | W (%) | B |
|--------------------|---------------------|---------|----------|-------|--------|-------|
| 110,91 | 106,91 | 0 | 34 | 0,38 | 3,6065 | 0,801 |

Tabel 2. Data untuk perhitungan umur absolut metode thermoluminescence (TL)

| Dosis Setara (Gy) | | Dosis Tahunan (mGy/tahun) | TL Umur (ka) | |
|-------------------|----------|---------------------------|--------------|----------|
| Minimum | Maksimum | | Minimum | Maksimum |
| 304,047 | 315,955 | 0,540793 | 562.224 | 584.244 |

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran terhadap sampel dari satuan kubah lava Latorang menghasilkan umur sekitar 573 ± 11 ribu tahun, artinya aktivitas vulkanik terakhir di lokasi penyelidikan adalah sekitar 573 ± 11 ribu tahun yang lalu, karena berdasarkan data litologi dari peta geologi menunjukkan bahwa satuan Kubah Lava Latorang merupakan satuan vulkanik termuda di lokasi penyelidikan.

Bila dikaitkan dengan aktifitas sistem panas bumi umur batuan ini relatif sudah tua, Menurut Sterling (2016) potensi panas bumi yang baik adalah yang berumur kurang dari 500.000 tahun. Beberapa sistem panas bumi yang memiliki temperatur tinggi (lebih dari 225°C) memiliki umur antara 250.000 hingga 350.000 tahun.

Kaitannya dengan sistem panas bumi daerah penyelidikan, menunjukkan bahwa sistem panas bumi di Lejja diperkirakan sudah *overmature* (terlalu tua). Pada fase/tahap ini umumnya merupakan sistem panas bumi dengan temperatur rendah hingga sedang, hal selaras dari hasil perhitungan geotermometer yang menunjukkan temperatur 110°C atau termasuk dalam temperatur rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aitken, M.J., 1985. Thermoluminescence Dating. Academic Press, New York, h. 359
- Daniels, F., Boyd, C. A. and Saunders, D. F. (1953), "Thermoluminescence as a Research Tool", *Department of Chemistry, University of Wisconsin, Madison*.
- Furetta, C., 2010. Handbook of Thermoluminescence, 2nd Edition, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore.
- JICA (2016), "Thermoluminescence Dating of Quartz in Rocks", *Internal Manual Book*.
- McCalpin, J. and Forman, S. L. (1991), "Late Quaternary Faulting and Thermoluminescence Dating of the East Cache Fault zone, North-Central Utah", *Bulletin of the Seismological Society of America, vol 81, no 1, pp. 139-161*.
- Mejdahl, V., (1979), "Thermoluminescence Dating: Beta-Dose Attenuation in Quartz Grains", *Archaeometry 21, page 61-72*, Great Britain.
- Nuridin, N., Kusnadi, D., Taqodama, I., 2018. Survei Rinci Panas Bumi dengan Metode Geologi, Geokimia, dan Geofisika Daerah Lejja, Kabupaten Soppeng, Provinsi Sulawesi Selatan. Pusat Sumber Daya Mineral Batuarua dan Panas Bumi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Bandung.
- Preusser, F., Daniel, R., Guido, S. (2011), "Direct dating of Quaternary phreatic maar eruptions by luminescence methods", *GSA Data Repository 2011337*.
- Rufer, D (2012), "Proposing New Approaches for Dating Young Volcanic Eruptions by Luminescence Methods", *Geochronometria 39, page 48-56*.
- Schmidt, C., Tchouankoue, J.P., Nkouamen Nemzoue, P.N., 2017. New thermoluminescence age estimates for the Nyos maar eruption (Cameroon Volcanic Line. PLoS ONE, 12(5), e0178545.
- Stelling, P., L. Shevenell, N., Hinz., Coolbaugh, G. Melosh, W. Cumming, 2016. Geothermal systems in volcanic arcs: Volcanic characteristics and surface manifestations as indicators of geothermal potential and favorability worldwide. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 324, h. 57-72*.

Takashima, I., A.A., Nazri, L.P Siong, T Koseki, Y Mouri, A., Nasution, 2005. Precise Thermoluminescence Dating for Heat Source Volcanic Rocks and Alteration Products at the Tawau Geothermal Area, Sabah, Malaysia. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya.

Tsuchiya, N., 2000. Thermoluminescence as a new research tool for the evaluation of geothermal activity of the Kakkonda geothermal system, northeast Japan. *Geothermic*, 29, h. 27-50.

Yincan, Y., 2017. Active Faults of Sea Area, Marine Geo-Harzards in China, Elsevier, Amsterdam h. 89–128.

| | |
|-----------|-------------------|
| Diterima | : 9 Januari 2020 |
| Direvisi | : 21 Januari 2020 |
| Disetujui | : 28 Mei 2020 |

**PEMODELAN INVERSI 2-D MENGGUNAKAN DATA MAGNETOTELLURIK
DAERAH PANAS BUMI WAY SELABUNG,
KABUPATEN OGAN KOMERING ULU SELATAN, PROVINSI SUMATERA SELATAN**

**2-D INVERSION MODELING USING MAGNETOTELLURIC DATA
AT WAY SELABUNG GEOTHERMAL AREA,
SOUTH OGAN KOMERING ULU REGENCY, SOUTH SUMATERA PROVINCE**

Irpan Ilmi¹, Ildrem Syafri¹, Agus Didit Haryanto¹, dan Ahmad Zarkasyi²

¹Program Pascasarjana, Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran

²Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

Irpan18002@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Salah satu sifat fisika batuan yang dapat digunakan untuk menganalisis suatu sistem panas bumi adalah tahanan jenis batuan. Metode magnetotellurik merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai tahanan jenis batuan. Pengukuran MT dilakukan pada 30 titik ukur dengan lintasan berarah utara-selatan dan jarak antar titik ukur sekitar 2000 meter. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan inversi 2-D dalam menentukan letak, deliniasi, dan kedalaman sistem panas bumi Way Selabung. Berdasarkan hasil analisis data MT dan pemodelan 2-D inversi, sistem panas bumi Way Selabung berada pada zona struktur graben. Munculnya beberapa manifestasi air panas Way Selabung, Lubuk Suban dan Selabung Damping, terbentuk akibat perpotongan Sesar Way Selabung, Sesar Kotadalam dan Sesar Akarjangkang dalam suatu pola hidrogeologi di zona *outflow*. Hasil pemodelan 2-D memperlihatkan bagian atas terdapat kelompok nilai tahanan jenis rendah <10 Ohm.m dengan ketebalan sekitar 1500 meter dari permukaan yang diinterpretasikan sebagai batuan penutup. Di bagian bawahnya terdapat kelompok nilai tahanan jenis sekitar 30-100 Ohm.m dengan kedalaman 1500 meter hingga 1750 meter yang diinterpretasikan sebagai zona *reservoir*.

Kata kunci: Panas Bumi, Way Selabung, Sumatera, Magnetotellurik, inversi 2-D

ABSTRACT

One of the physical properties of rocks that can be used to analyze a geothermal system is the resistivity of rock. Magnetotelluric method is one method that can be used to determine the resistivity of rock. MT measurements are carried out at 30 measuring points with north-south directed paths and the distance between measuring points is around 2000 meters. This research aims to do 2-D inversion modeling in determining location, delineation, and depth of the geothermal potential of Way Selabung. Based on the results of MT data analysis and 2-D inversion modeling, the Way Selabung geothermal system is in the graben structure zone. The manifestation of Way Selabung, Lubuk Suban and Selabung Damping hot water manifestations is formed due to intersection of Way Selabung, Kotadalam and Akarjangkang faults in a hydrogeological pattern in the outflow zone. 2-D modeling results show the top there is a group of low resistivity value <10 Ohm.m with a thickness of about 1500 meters from the surface which is interpreted as caprock. At the bottom there is a group of resistivity values of around 30-100 Ohm.m with a depth of 1500 meters to 1750 meters which is interpreted as a reservoir zone.

Keywords: Geothermal, Way Selabung, Sumatra, Magnetotelluric, 2-D inversion

PENDAHULUAN

Secara administratif daerah panas bumi Way Selabung berada di Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan, Provinsi Sumatera Selatan (Gambar 1). Sistem panas bumi Way Selabung berada di sebelah utara Danau Ranau dan Gunung Seminung yang di bagian baratnya didominasi oleh batuan vulkanik (andesit-basalt) yang membentuk kaldera dan kawah serta di bagian tengahnya terdapat depresi Kepayang (Simarmata dan Munandar, 2014). Indikasi panas bumi dicirikan dengan munculnya beberapa air panas dengan temperatur antara 40°C hingga 93°C (Rahadinata dkk., 2014).

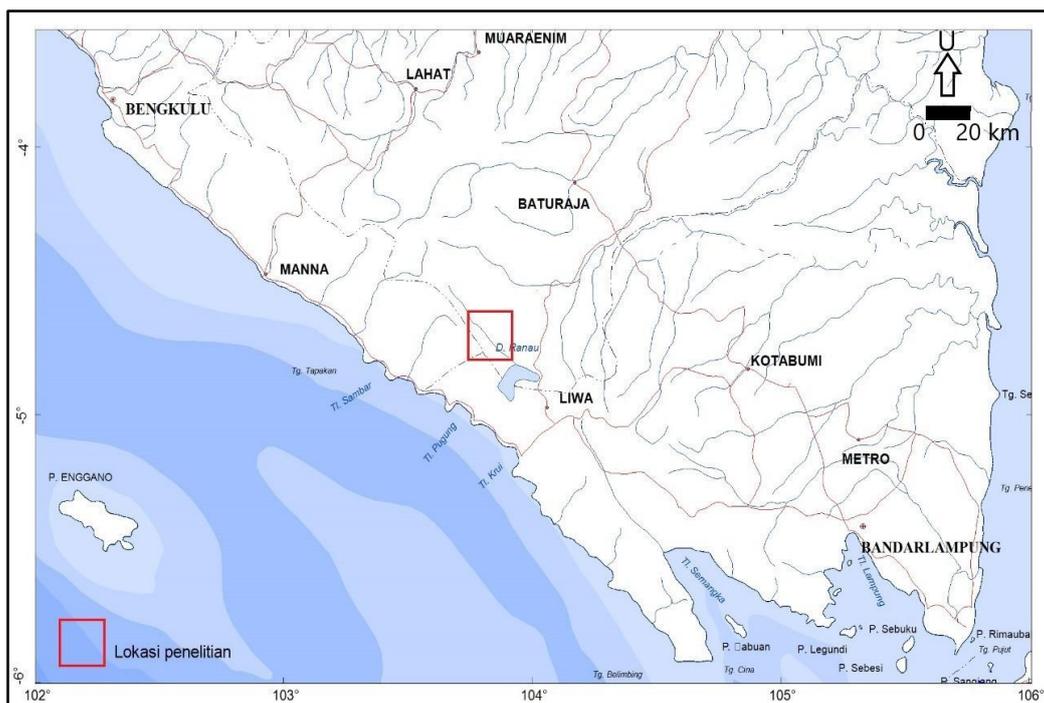
Beberapa manifestasi air panas di daerah Way Selabung seperti mata air panas Way Selabung, Lubuk Suban dan Selabung Damping dikontrol oleh struktur Sesar Way Selabung, Sesar Akarjjangkang dan Sesar Kotadalam, yang menjadikan daerah tersebut sebagai zona permeabel yang meloloskan aliran air panas dari kedalaman (Simarmata dan Munandar, 2014). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan resistivitas 2-D menggunakan data MT serta menegaskan keprospekan

potensi panas bumi (letak, delineasi, dan kedalaman) di Way Selabung.

METODOLOGI

Metode Magnetotellurik (MT)

Metode magnetotellurik (MT) adalah metode elektromagnetik (EM) pasif yang mengukur fluktuasi medan listrik dan medan magnet alam dengan arah orthogonal di permukaan bumi sebagai cara untuk menghitung konduktivitas struktur bumi dalam rentang kedalaman beberapa puluh meter sampai ratusan kilometer (Simpson dan Bahr, 2005). Sumber medan EM frekuensi tinggi (>1 Hz) berasal dari kegiatan Guntur dan kilat yang terjadi dalam lapisan atmosfer bumi secara menyeluruh. Sumber medan EM frekuensi rendah (<1 Hz) berasal dari gelombang *micro (micropulsation)* karena interaksi antara partikel matahari (*solar wind*) dengan medan magnet bumi (Grandis, 2010). Tahanan jenis atau resistivitas diperoleh dari perbandingan besarnya medan listrik dan medan magnet yang dikenal dengan persamaan Cagniard (Cagniard, 1953). Persamaan ini dihasilkan dari persamaan Maxwell dengan asumsi gelombang bidang.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

$$\rho_{\alpha} = \frac{1}{5} f x \left| \frac{E}{H} \right|^2 \dots\dots\dots(1)$$

dengan ρ_{α} merupakan tahanan jenis semu (Ohm-m), f adalah frekuensi (Hz), E adalah besarnya medan listrik (mV/km), dan H adalah besarnya medan magnet (nT).

Amplitudo gelombang EM mengalami atenuasi secara eksponensial terhadap kedalaman ketika melewati lapisan konduktif. Untuk dapat memperkirakan kedalaman penetrasi atau kedalaman investigasi gelombang EM dapat digunakan besaran skin depth yang didefinisikan sebagai kedalaman pada suatu medium homogen dimana amplitude gelombang EM telah tereduksi menjadi 1/e dari amplitudonya di permukaan bumi (Grandis, 2013). Nilai skin depth dipengaruhi oleh tahanan jenis batuan dan frekuensi yang digunakan dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho_{\alpha}}{f}} \dots\dots\dots(2)$$

dengan f merupakan frekuensi gelombang elektromagnetik (Hz), δ adalah skin depth (m) dan ρ_{α} adalah tahanan jenis medium homogen (Ohm m). Besaran skin depth digunakan untuk memperkirakan kedalaman penetrasi atau kedalaman investigasi gelombang EM. Semakin tinggi frekuensi alat yang digunakan maka akan semakin dangkal penetrasinya. Sebaliknya, semakin rendah frekuensi alat yang digunakan, maka semakin dalam pula penetrasi yang didapatkan.

Inversi 2-D

Proses pemodelan inversi data MT diperlukan dalam rangka menggambarkan distribusi nilai tahanan jenis bawah permukaan. Pemodelan inversi ini sering pula disebut sebagai data fitting karena dalam prosesnya dicari parameter model yang menghasilkan respons yang fit dengan data pengamatan (Takodama dkk., 2018). Model yang dihasilkan dari proses

pemodelan inversi bersifat tidak unik. Ketidak-unikan (nonuniqueness) solusi pemodelan geofisika adalah akibat dari paling tidak tiga hal utama, yaitu: sifat fisika fenomena yang ditinjau, adanya kesalahan atau bising (noise) pada data dan kekurangan data dalam membatasi atau mendefinisikan (menjadi constrain) solusi (Grandis, 2009).

Pemodelan inversi 2-D merupakan salah satu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk memperoleh distribusi sifat fisis batuan di bawah permukaan (Qahhar dkk., 2015). Pemodelan 2-D menggunakan perangkat lunak WinGLink versi 2.21.03. Pemodelan ini menggunakan algoritma NLCG (Nonlinear Conjugate Gradients) yang dapat secara langsung meminimalisasi problem yang bukan kuadratik, membebaskan kerangka iterasi dan inversi linear (Rodi dan Mackie, 2001). Metode ini mengevaluasi fungsi forward untuk setiap model terbaru. Oleh karena itu, setiap satu kali iterasi pada inversi untuk setiap lintasan menyelesaikan dua atau tiga problem forward (Siripunvaraporn, 2012).

Akuisisi Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data yang dimiliki oleh Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP). Tahap pengambilan data primer di daerah panas bumi Way Selabung dilakukan oleh Tim Penyelidikan Pusat Sumber Daya Geologi TA 2011 yang melakukan pengukuran MT sebanyak 30 titik ukur. Data magnetotellurik yang terukur merupakan data dalam domain waktu (*time series*). Lokasi survei magnetotellurik berada di kawasan Way Selabung, Kecamatan Mekakau Ilir, Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan, Provinsi Sumatera Selatan. Pengukuran data MT menggunakan alat MTU-5A produk dari Phoenix Geophysics, Kanada (Gambar 2).



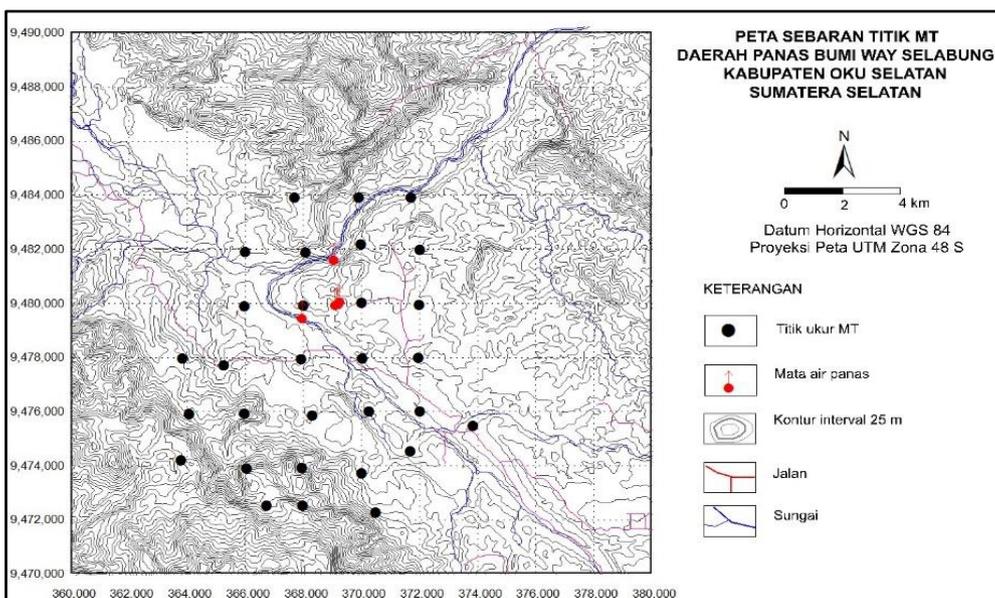
Gambar 2. Alat-alat yang digunakan dalam pengukuran MT (Phoenix Geophysics, 2007)

Pengukuran MT di daerah ini membentuk lintasan berarah utara-selatan dengan jarak antar titik ukur sekitar 2000 meter (Gambar 3). Sebaran titik ukur ini dirancang sedemikian rupa agar dapat melingkupi seluruh daerah prospek. Pengukuran MT ini dilakukan dari siang/sore hari hingga pagi hari dengan selang waktu antara 13 jam sampai dengan 17 jam, dengan harapan pada waktu tersebut gangguan selama pengukuran akan lebih kecil. Walaupun sebaran titik ukur cenderung membentuk lintasan berarah utara-selatan, tetapi pada saat melakukan pemodelan lintasan (penampang model 2-D) ditarik berarah baratdaya-timurlaut (N 45° E) supaya tegak lurus dengan struktur utama yang berarah baratlaut-tenggara.

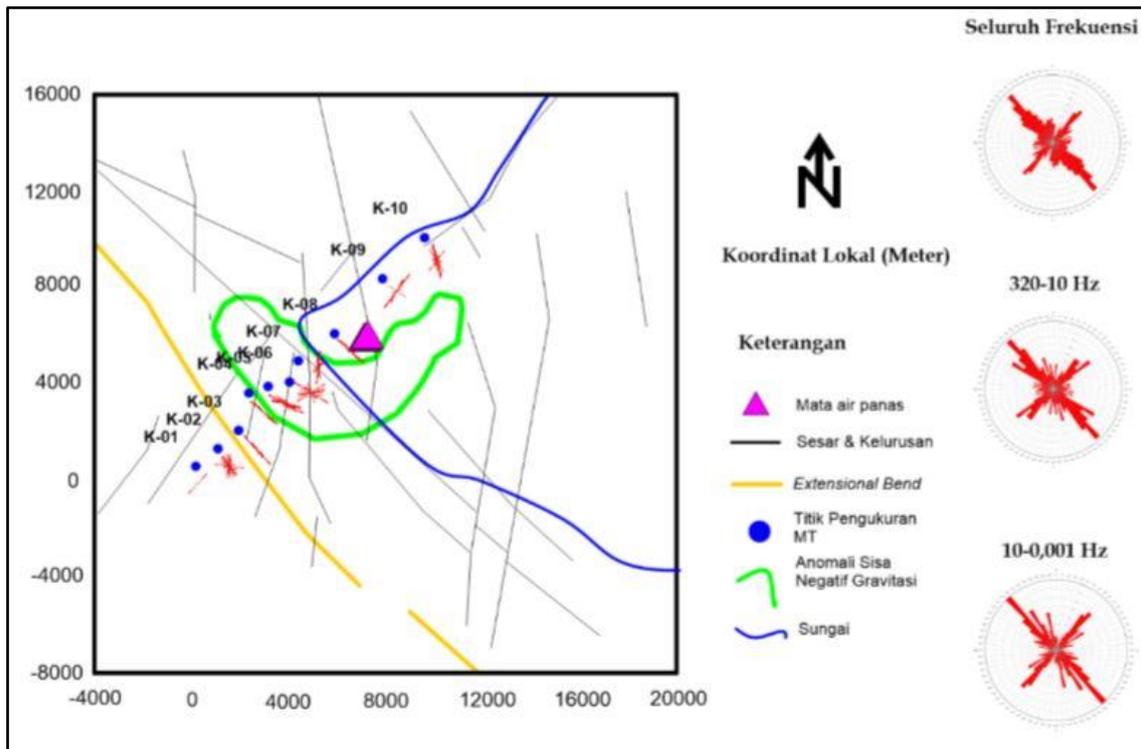
Pengolahan Data

Sebelum dilakukan pemodelan, data terlebih dahulu diproses melalui tahapan penyeleksian data time series. Proses pra pengolahan ini menggunakan program Synchro Time Series Viewer. Data time series MT yang diperoleh pada masing-masing stasiun, diproses menggunakan *statistically robust algorithms* (Jones dkk., 1989), dan dilanjutkan pada MT Editor untuk penyeleksian crosspower. Pada proses ini rentang frekuensi data magnetotelurik yang diambil mulai dari 320 Hz hingga 0,01 Hz.

Pada saat melakukan pemodelan, data MT dirotasi terlebih dahulu. Penentuan arah rotasi berdasarkan analisis data *tipper strike* (Gambar 4) dan sebaran nilai tahanan jenis ataupun Anomali Bouguer, struktur utama yang berkembang di daerah ini cenderung berarah hampir baratlaut-tenggara. Hasil analisis, data MT dirotasi terlebih dahulu ke arah 45° karena itu agar data TE maupun TM lebih menggambarkan keadaan bawah permukaan yang sebenarnya. Setelah melalui editing data rotasi dan koreksi statik, kemudian dilanjutkan dengan pemodelan melalui teknik Inversi data 2-Dimensi menggunakan software WinGlink (Zarkasyi dan Wahyuningsih, 2018).



Gambar 3. Peta sebaran titik magnetotelurik daerah panas bumi Way Selabung (Sugianto, 2011)



Gambar 4. Peta hasil plot rose diagram tipper strike (Baskoro, 2016)

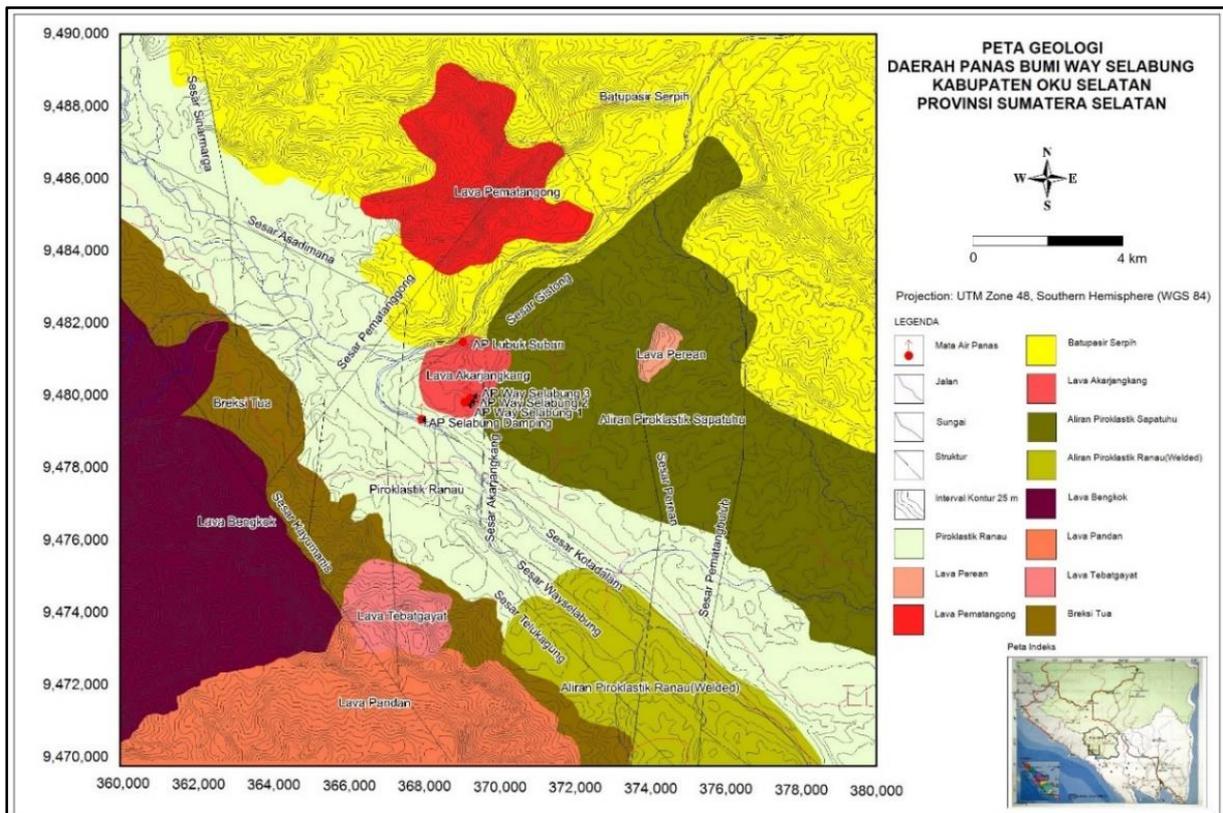
GEOLOGI

Secara umum struktur Pulau Sumatera di bagi menjadi tiga bagian yaitu: zona busur depan, jalur pegunungan barisan dan Sesar Semangko, serta cekungan belakang busur (Barber dkk., 2005). Berdasarkan posisi geografisnya daerah penelitian berada pada jalur pegunungan barisan dan sesar Semangko. Jalur Pegunungan Barisan tersusun oleh batuan dasar Paleozoikum Akhir dan batuan sedimen Mesozoikum, batuan gunungapi, batuan metamorf, deformasi batuan dan intrusi granit, kemudian di atasnya terdapat batuan sedimen dan produk vulkanik Kenozoikum termasuk juga sistem subduksi resen yang membentuk jajaran gunungapi aktif.

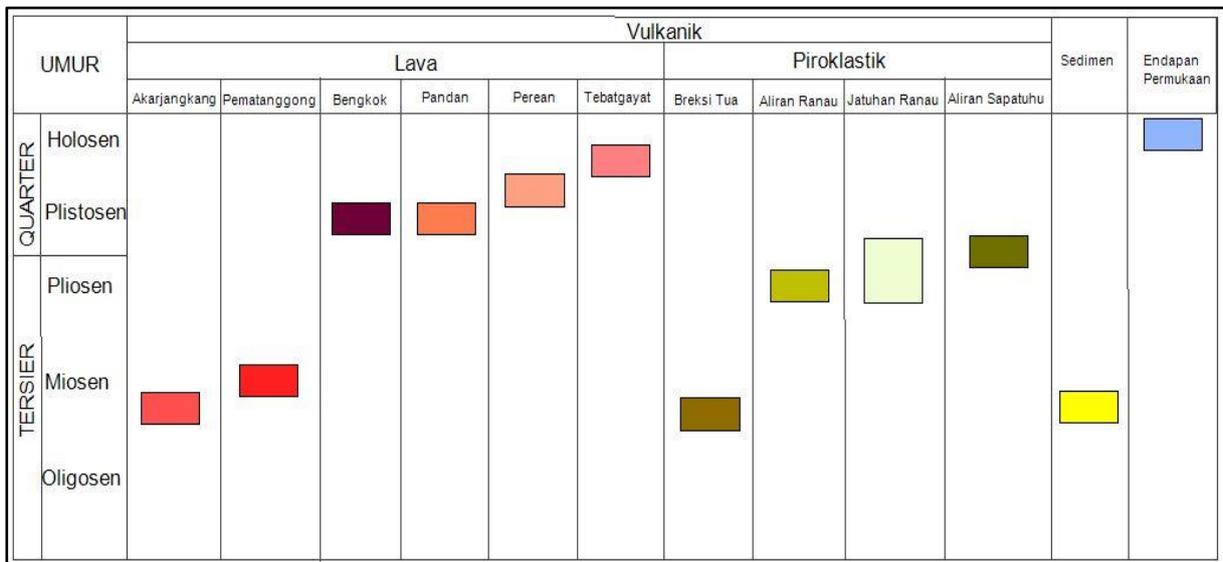
Sesar Semangko memiliki pergerakan mendatar menganan yang bekerja sepanjang Pulau Sumatera dan melalui Jalur Pegunungan Barisan berarah baratlaut-tenggara menghasilkan zona kompresi dan ekstensi yang membentuk area pengangkatan dan pull apart basin yang membentuk graben sepanjang garis sistem sesar.

Area penelitian berada di sebelah utara Danau Ranau yang didominasi oleh batuan vulkanik dan batuan sedimen klastik yang berumur Tersier hingga Kuartar. Batuan termuda yang diperoleh dari analisis umur batuan dengan metode jejak belah adalah lava basalt produk Tebat Gayat diperoleh kisaran umur $0,4 \pm 0,2$ juta tahun yang lalu atau Kala Plistosen (Nurhadi dkk., 2011).

Batuan-batuan yang mendominasi daerah penelitian merupakan bagian dari Formasi Ranau (Qtr) yang terdiri dari tuf kristalin, tuf batuapung, tuf dengan sisipan batulempung karbonatan dan Satuan Batugunungapi (Qv) yang terdiri dari lava, tuf dan breksi gunungapi bersusunan andesit-basal dari batuan vulkanik Jambul dan Pandan (Kusnadi, 2011) (Gambar 5). Stratigrafi batuan terdiri dari Satuan Lava Akar Jangkang, Batupasir, Lava Asadimana, Lava Pematang Gong, Breksi Tua, Aliran Piroklastik Ranau, Aliran Piroklastik Sapatuhu, Jatuhan Piroklastik Ranau, Lava Laai, Lava Bengkok, Lava Pandan, Lava Gedang, Lava Perean, Lava Tebat Gayat, dan endapan Aluvium (Gambar 6).



Gambar 5. Peta Geologi daerah panas bumi Way Selabung (modifikasi dari Nurhadi dkk., 2011)



Gambar 6. Stratigrafi batuan area penelitian (Nurhadi dkk., 2011)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta sebaran tahanan jenis semu invarian merupakan kombinasi kurva data observasi dari pengukuran MT. Pada frekuensi tinggi (100 Hz dan 10 Hz) anomali - anomali nilai

tahanan jenis rendah <10 Ohm-m menempati di bagian barat area penelitian merupakan respon dari batuan *caprock* sedangkan tahanan jenis rendah di bagian timurlaut merupakan respon dari batuan sedimen (Gambar 7).

Pada peta tahanan jenis perkedalaman nilai tahanan jenis rendah <10 Ohm-m menempati di bagian barat area penelitian yang luas areanya semakin mengecil pada kedalaman 750 m. Lapisan batuan bertahanan jenis rendah tersebut diperkirakan merupakan respon dari batuan yang teralterasi akibat fluida hidrotermal dan berperan sebagai lapisan penudung (*caprock*) (Gambar 8).

Nilai tahanan jenis tinggi mulai terlihat pada kedalaman 1500 m dan makin meluas pada kedalaman 2000 m dengan arah liniasi kontur baratdaya-timurlaut yang merupakan respon dari struktur sekunder Sesar Semangko yang mengakibatkan munculnya mata air panas Way Selabung.

Berdasarkan hasil analisis data MT dan pemodelan 2-D inversi, area prospek panas bumi berada di bagian Baratdaya area penelitian. Terdapat 4 penampang lintasan 2-D yang memotong area prospek dapat dilihat pada Gambar 9. Pada penampang 3 terdapat nilai tahanan jenis rendah pada bagian baratdaya yang diperkirakan sebagai lapisan batuan *caprock* yang memiliki ketebalan 1250 meter dari permukaan. Sedangkan zona puncak *reservoir* diduga berkisar pada kedalaman 1250 meter hingga 1500 meter. Di bagian timurlaut terdapat nilai tahanan jenis tinggi yang menerus ke permukaan diperkirakan sebagai batuan Lava Akarjangkang, perpotongan Sesar Akarjangkang dengan Sesar Gistong sebagai jalan keluarnya mata air panas Lubuk Suban.

Pada penampang 4 di bagian Baratdaya terdapat nilai tahanan jenis tinggi yang diperkirakan sebagai batuan Lava Bengkok dan Sesar Kayumanis. Lapisan *caprock* memiliki ketebalan 1250 meter dari permukaan dan puncak *reservoir* pada kedalaman 1250 meter hingga 1500 meter. Di bagian timurlaut terdapat nilai tahanan jenis tinggi yang menerus ke permukaan

diperkirakan sebagai batuan Lava Akarjangkang yang menghasilkan Sesar Akarjangkang sebagai jalan keluarnya mata air panas Way Selabung.

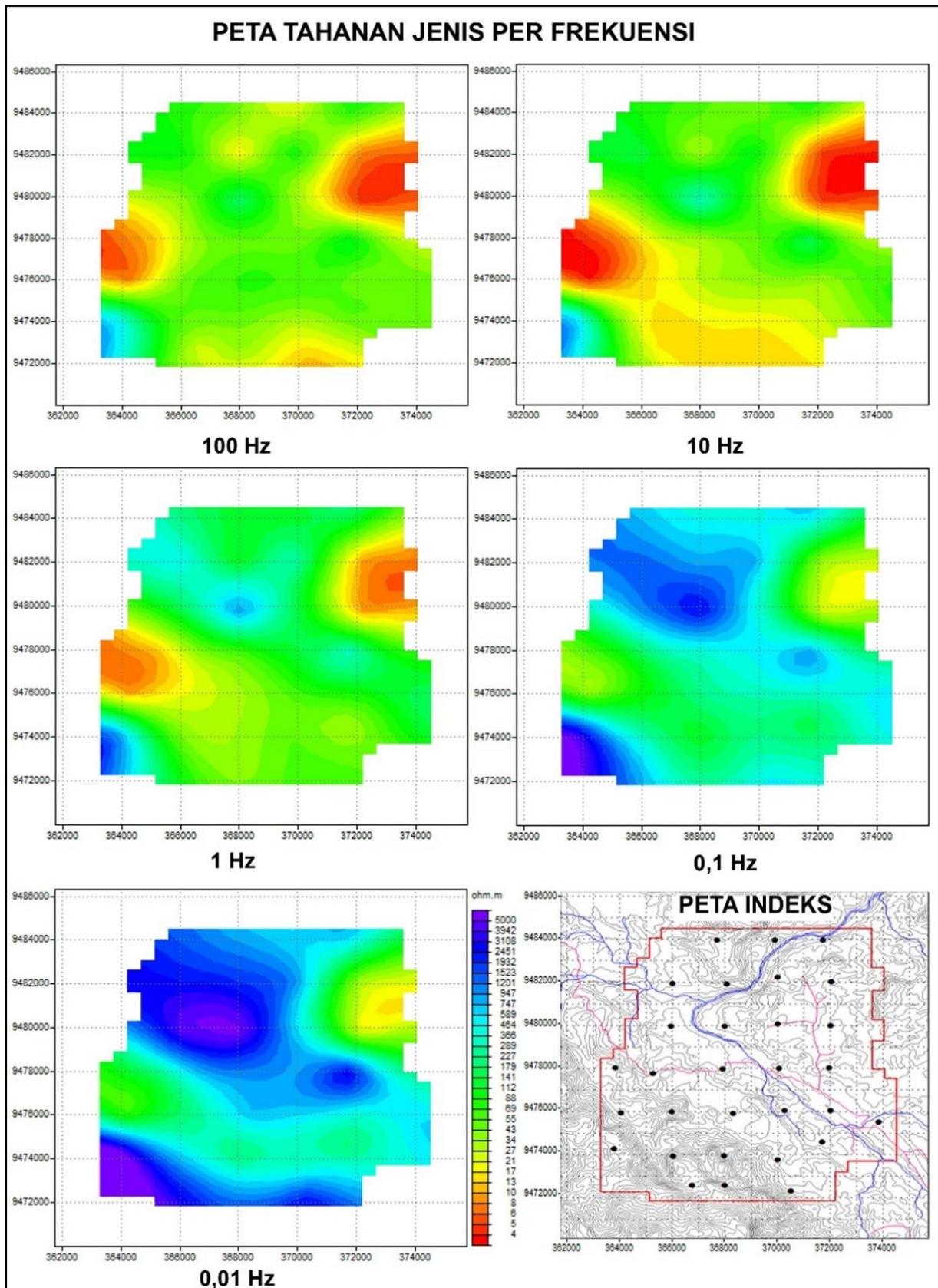
Pada penampang 5 lapisan *caprock* mengalami penebalan sampai kedalaman 1500 meter dan posisi puncak *reservoir* pada kedalaman 1500 meter hingga 1750 meter. Pada penampang ini nilai tahanan jenis tinggi mengapit nilai tahanan jenis sedang yang diinterpretasikan sebagai respon dari struktur graben dari Sesar Semangko.

Semakin ke arah tenggara area prospek lapisan *caprock* dan puncak *reservoir* semakin dalam. Terlihat pada penampang 6 lapisan *caprock* memiliki ketebalan 1750 meter dari permukaan. Sedangkan zona puncak *reservoir* berkisar pada kedalaman 1750 meter hingga 2000 meter. Pada penampang ini struktur graben semakin terlihat jelas di bagian baratdaya-timurlaut terjadi pengapitan nilai tahanan jenis sedang oleh tahanan jenis tinggi.

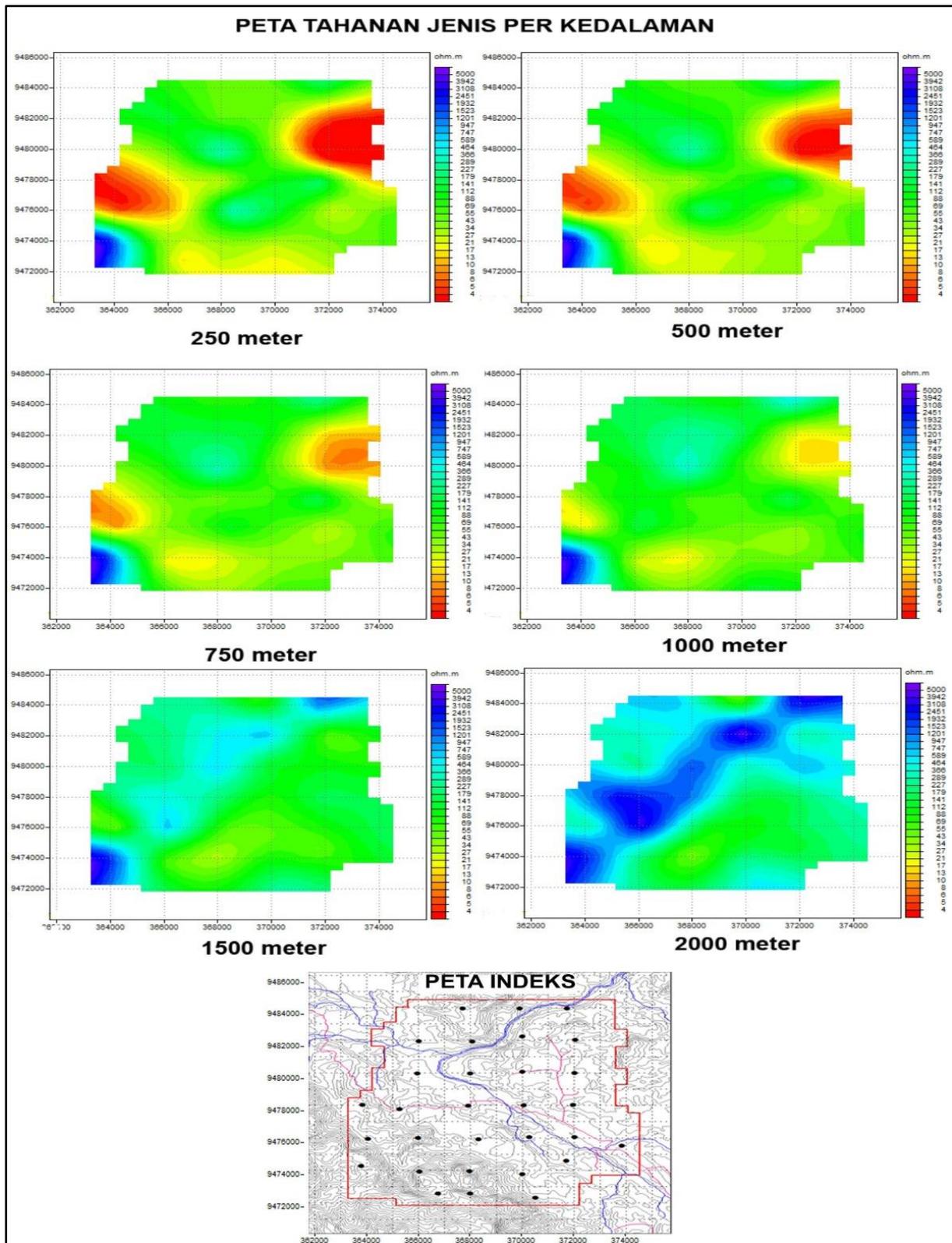
Pada Gambar 10 konseptual model panas bumi Way Selabung memperlihatkan bahwa area prospek berada pada zona struktur graben yang diapit oleh Sesar Kayumanis dan Sesar Akarjangkang.

Batuan Piroklastik Ranau yang mengalami alterasi akibat proses hidrotermal adalah lapisan *caprock* yang diperkirakan memiliki ketebalan ± 1500 meter dari permukaan. Sedangkan puncak *reservoir* diperkirakan berada pada kedalaman ± 1500 meter hingga ± 1750 meter.

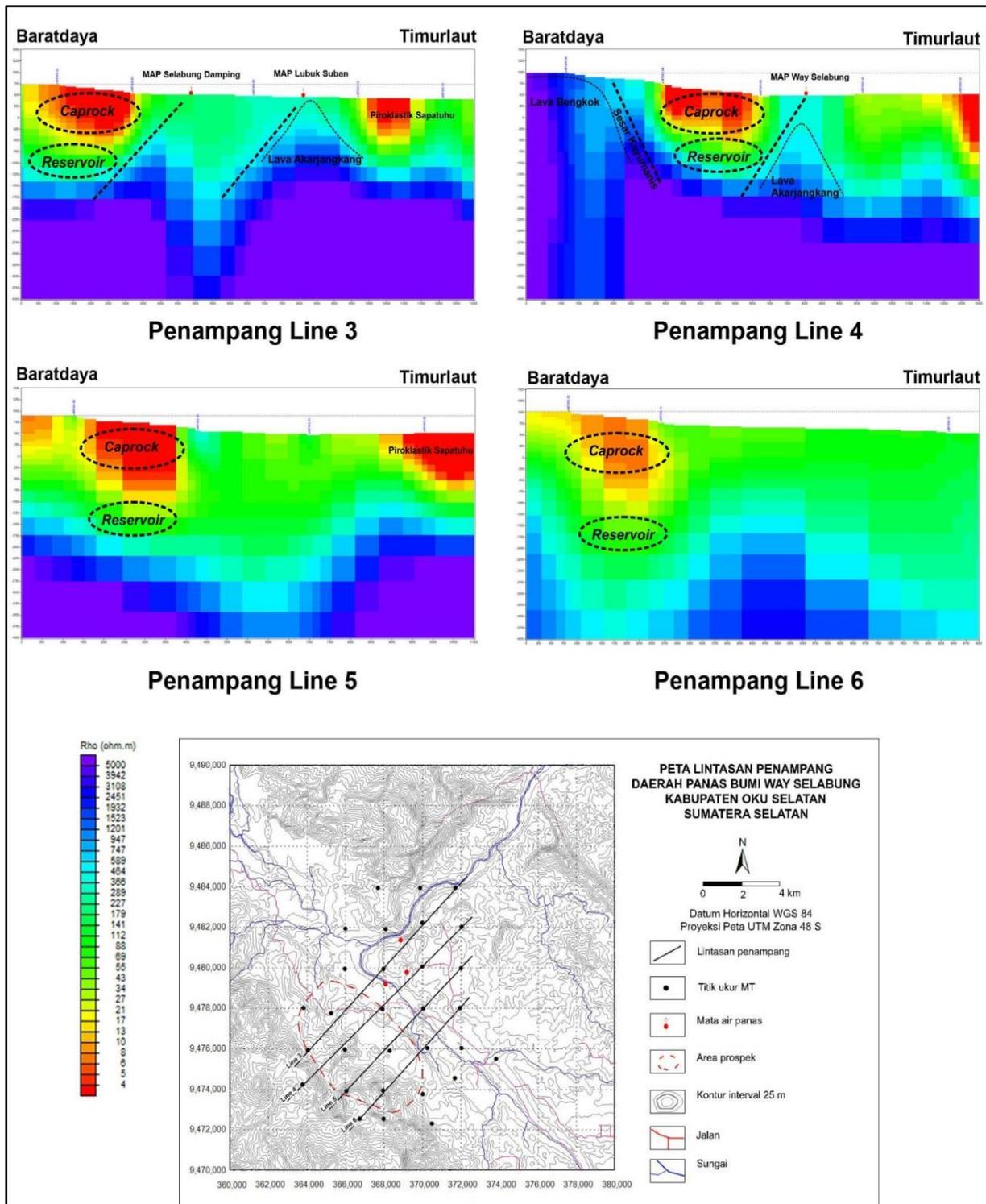
Keberadaan manifestasi air panas Way Selabung, Selabung Damping dan Lubuk Suban di sekitar batuan lava Akarjangkang berhubungan dengan keberadaan kelompok sesar di sekitar Lava Akarjangkang sebagai jalan keluarnya air panas.



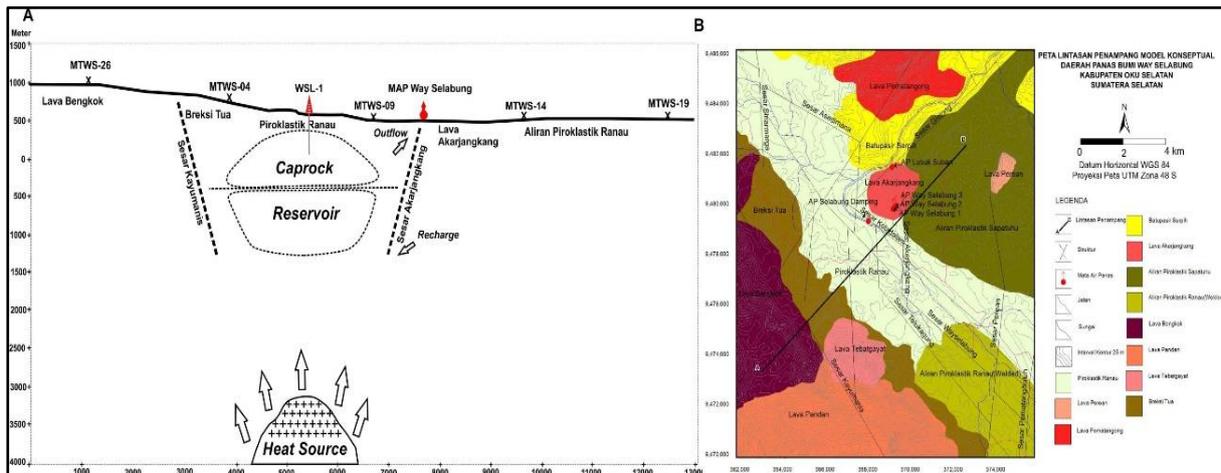
Gambar 7. Peta tahanan jenis per frekuensi (100 – 0,01 Hz)



Gambar 8. Peta tahanan jenis per kedalaman (250 – 2000 meter)



Gambar 9. Penampang tahanan jenis hasil pemodelan 2-D



Gambar 10. Model konseptual panas bumi Way Selabung menggunakan lintasan penampang 4

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data MT dan pemodelan 2-D inversi, sistem panas bumi di daerah Way Selabung berada pada zona struktur graben yang berhubungan dengan munculnya manifestasi air panas Way Selabung, Lubuk Suban dan Selabung Damping di sekitar Lava Akarjangkang dengan permeabilitas yang terbentuk akibat perpotongan Sesar Way Selabung, Sesar Kotadalam dan Sesar Akarjangkang dalam suatu pola hidrogeologi di zona *outflow*. Berdasarkan posisi sistem panas bumi Way Selabung berada pada zona struktur graben dan berdasarkan temperatur *reservoirnya* maka *reservoir* panas bumi Way Selabung merupakan *reservoir compressed liquid*. Puncak *reservoir* berada pada kedalaman ±1500 meter hingga ±1750 meter sedangkan ketebalan lapisan *caprock* diperkirakan ±1500 meter dari permukaan. Berdasarkan hasil korelasi dengan data geologi, lapisan *caprock* merupakan batuan vulkanik yang mengalami alterasi sedangkan *reservoir* merupakan batuan sedimen dan lava tua yang terkekarkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dikdik Risdianto, S.T., M.T. sebagai Kepala Subbidang Eksplorasi Panas Bumi (PSDMBP) yang telah memberikan izin dalam mengolah data MT ini. Penulis juga

mengucapkan terima kasih kepada Tony Rahadinata, S.Si., dan Wiwid Joni, S.Si atas diskusi dan pemberian pengalaman ilmunya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang mendukung, membantu, dan memberi kemudahan akses data dalam pembuatan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Barber, A.J., Crow, M.J., Milsom, J., 2005. Sumatra: Geology, resources and tectonic evolution. Geological Society of London.

Baskoro, Y., 2016. Pemodelan 2-D Magnetotellurik Pada Sistem Panas Bumi Area “Parkir”, Kabupaten Oku Selatan, Sumatera Selatan. ETD Universitas Gadjah Mada.

Cagniard, L., 1953. Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting. Geophysics 18, 605–635.

Grandis, H., 2013. Metoda Magnetotellurik (MT). Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Grandis, H., 2010. Studi efek statik pada data magnetotellurik (MT) menggunakan pemodelan inversi 2-D, in: Prosiding Seminar Nasional Energi.

Grandis, H., 2009. Pengantar pemodelan inversi geofisika. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).

- Jones, A.G., A. D. Chave, G. Egbert, D. Auld, K. Bahr, 1989. A comparison of techniques for magnetotelluric response function estimation. *J. Geophys. Res.*, 94, 14201-14213. <https://doi.org/doi:10.1029/jb094ib10p14201>.
- Kusnadi, D., 2011. Laporan Akhir Survei Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Way Selabung Kabupaten Ogan Kemiring Ulu Selatan, Provinsi Sumatera Selatan. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Nurhadi, M., Munandar, A., Kusnadi, D., Zarkasyi, A., Suryakusuma, D., Sugianto, A., 2011. Survei Terpadu Geologi, Geokimia, dan Geofisika Daerah Panas Bumi Way Selabung, Kabupaten Oku Selatan, Provinsi Sumatera Selatan. Pusat Sumber Daya Geologi.
- Phoenix Geophysics, 2007. V5 System 2000 MTU/MTU-A User Guide. Phoenix Geophysics. Phoenix Geophysics.
- Rahadinata, T., Sugianto, A., 2014. Survei Magnetotellurik dan TDEM Daerah Panas Bumi Way Selabung, Kabupaten Oku Selatan, Provinsi Sumatera Selatan. PSDG.
- Rodi, W., Mackie, R.L., 2001. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics Journal International* 66(1):174-187.
- Simarmata, R.S., Munandar, A., 2014. Survei Landaian Suhu Sumur WSL-2, in: *Prosiding Hasil Kegiatan Sumber Daya Geologi*.
- Simarmata, R.S.L., Munandar, A., 2014. Survei Landaian Suhu Sumur WSL-1, in: *Prosiding Hasil Kegiatan Sumber Daya Geologi*. p. 10.
- Simpson, F., Bahr, K., 2005. *Practical magnetotellurics*. Cambridge University Press.
- Siripunvaraporn, W., 2012. *Three Dimensional Magnetotelluric Inversion: An Introductory Guide for Developers and Users*. *SurvGeophys* 33:5-27.
- Sugianto, A., 2011. Laporan Akhir Survei Magnetotellurik Daerah Panas Bumi Way Selabung Kabupaten Oku Selatan, Sumatera Selatan. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Takodama, I., Zarkasyi, A., Nurhadi, M., Dewi, R., 2018. Identifikasi Sistem Panas Bumi Daerah Wapsalit Berdasarkan Struktur Tahanan Jenis Data Magnetotellurik. *Buletin Sumber daya Geologi*.
- Zarkasyi, A., Wahyuningsih, R., 2018. Pemodelan Reservoir Panas Bumi Daerah Dua Saudara, Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara, Dengan Menggunakan Inversi 2-D Data Magnetotellurik. *Buletin Sumber daya Geologi*.

| | |
|-----------|-----------------|
| Diterima | : 9 April 2020 |
| Direvisi | : 24 April 2020 |
| Disetujui | : 31 Mei 2020 |

UCAPAN TERIMA KASIH KEPADA MITRA BEBESTARI

Dengan hormat.

Sehubungan dengan telah terbitnya Buletin Sumber Daya Geologi volume 15 edisi ke 1 Tahun 2020, Kami segenap Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih atas bantuan bapak-bapak yang telah bersedia menjadi mitra bebestari yang telah menyampaikan sumbangan pemikiran dalam melakukan pembenahan dan penyempurnaan makalah yang masuk pada Dewan Redaksi. Terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kami sampaikan kepada:

1. Dr. Eng. Agus Didit Haryanto, Ir., M.T dari Universitas Padjadjaran Bandung.
2. Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc., dari Universitas Padjadjaran Bandung.
3. Ir. Sabtanto Joko Suprpto, M.T dari Politeknik Energi dan Pertambangan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
4. Edi Suhanto, S,Si, M.T., dari Sekretariat Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 15 Nomor 1 Tahun 2020

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

Ahmad Zarkasyi
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: zarkasyiahmad@gmail.com

Agus Didit Haryanto
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran
Email: agus.didit.haryanto@unpad.ac.id

Bambang Priadi
Program Sarjana, Prodi Teknik Geologi,
FITB-ITB
Email: bpriadi@gl.itb.ac.id

Bella Restu Juliarka
Kelompok Keahlian Geologi, Teknik
Geologi, Institut Teknologi Sumatera
Email: bella.juliarka@gl.itera.ac.id

Candra Widya Sastrawijaya
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: candra.sastrawijaya@gmail.com

Dikdik Risdianto
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: dikdik.risdianto@esdm.go.id

Dudi Hermawan
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: dudi.hermawan@esdm.go.id

Ildrem Syafri
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran
Email: ildrem@unpad.ac.id

Irfan Budiaji Nugroho
Program Sarjana, Prodi Teknik Geologi,
FITB-ITB
Email: irfan.budiaji.n@gmail.com

Irpan Ilmi
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran
Email: irpan18002@mail.unpad.ac.id

Lano Adhitya Permana
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: lano.adhitya@esdm.go.id

Mochamad Iqbal
Kelompok Keahlian Geologi, Teknik
Geologi, Institut Teknologi Sumatera
Email: mochamad.iqbal@gl.itera.ac.id

Nizar Muhamad Nurdin
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: nizar.nurdin@esdm.go.id

Reza Mochammad Faisal
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: reza.faisal@esdm.go.id

Stephen Simamora
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran
Email: stephen.situmorang@gmail.com

Sukaesih
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: s_esih@yahoo.co.id

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 15 Nomor 1 Tahun 2020

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS KATA KUNCI

- Derajat kristalinitas 1, 3, 14-16
 Gayaberat 39-43, 45-47, 49
 Geokimia 16, 19, 20, 25, 37, 40, 46, 55, 59, 72
 Geothermal 1, 17, 39, 40, 48, 49, 51, 59-61
 Gunung Lawu 1, 2, 4, 15-17
 Halmahera Timur 19-22, 28-33, 35
 Inversi 2-D 61, 63, 65, 67, 69, 71, 72
 Lampung 39-42, 48
 Lapisan penudung 1, 16, 67
 Magnetotellurik 16, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 69, 71, 72
 Metalogenik 19
 Mineralisasi 19, 20, 25-28, 35-37
 Mineral lempung 1-4, 6, 9, 12, 14, 16
 Multivariat 19-21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35-37
 Natar 39-42, 45-48
 Panas bumi 1-5, 16, 17, 19, 20, 37, 39, 40, 46-48, 51-55, 57-59, 61-67, 69, 71, 72
 Penanggalan geologi 51
 Sejarah termal 51
 Struktur Geologi 4, 39-43, 45-49, 55
 Sumatera 20, 39, 41, 42, 48, 61-63, 65, 71, 72
 Temperatur 1, 2, 4, 6, 10, 12, 14, 16, 40, 46, 48, 52, 55, 59, 62, 71
 Thermoluminescence 51-54, 56, 58-60
 TL 22, 35, 36, 38, 39, 41, 46, 48, 51-56, 58, 64, 65
 Univariat 19-21, 23, 25-27, 29, 31, 33, 35-37
 Way Selabung 61-67, 69, 71, 72
 XRD 1-3 6, 10-16

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : Mei 2020

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

DDC:

Lano Adhitya Permana, Candra Widya Sastrawijaya, dan Dudi Hermawan (Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara Dan Panas Bumi)

KARAKTERISTIK MINERAL LEMPUNG HASIL UBAHAN PADA SUMUR LW-1 DAN LW-2 DENGAN MENGGUNAKAN METODE DIFRAKSI SINAR-X PADA SISTEM PANAS BUMI GUNUNG LAWU

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2020 Vol. 15 No. 1 Hal. 1 - 17

Sumur panas bumi LW-1 dan LW-2 yang terletak pada zona depresi antara Gunung Lawu dan Gunung Jabolorangan memiliki batuan yang telah mengalami ubahan hidrotermal, dicirikan dengan mineral-mineral ubahan yang tergolong ke dalam tipe ubahan argilik-argilik lanjut. Untuk mengetahui karakter mineral ubahan yang terbentuk, khususnya kehadiran mineral lempung pada sumur LW-1 dan LW-2, maka diperlukan studi mengenai mineral lempung dengan menggunakan pendekatan metode difraksi sinar-X (X-Ray Diffraction/XRD). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keterdapatan dan karakteristik mineral lempung pada sumur LW-1 dan LW-2 serta hubungannya dengan pembentukan sistem panas bumi di daerah Gunung Lawu. Penggunaan metode XRD pada sumur LW-1 dan LW-2 menunjukkan bahwa pada saat temperatur mengalami peningkatan maka bentuk kristal dari mineral lempung semakin sempurna yang kemudian diikuti oleh semakin kecilnya nilai derajat kristalinitas, sedangkan pengaruh ukuran butir pada pola XRD memperlihatkan bahwa derajat kristalinitas mineral lempung cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya ukuran butir. Mineral lempung hasil ubahan pada sumur LW-1 dan LW-2 terdiri dari smektit, illit, kaolinit dan haloisit yang dapat berfungsi sebagai lapisan penudung dalam sistem panas bumi Gunung Lawu.

Kata kunci: XRD, mineral lempung, derajat kristalinitas, temperatur, lapisan penudung, Gunung Lawu

DDC:

Reza Mochammad Faisal¹, Irfan Budiaji Nugroho², dan Bambang Priadi²
(¹Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi dan ²Program Sarjana, Prodi Teknik Geologi, FITB-ITB)

ANALISIS UNIVARIAT DAN MULTIVARIAT CONTO SEDIMEN SUNGAI DALAM PENENTUAN POTENSI MINERALISASI LOGAM DI HALMAHERA BAGIAN TIMUR, PROVINSI MALUKU UTARA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2020 Vol. 15 No. 1 Hal. 19 - 38

Penelitian geokimia dengan menggunakan metode analisis kandungan unsur dari conto endapan sungai aktif -80 mesh merupakan salah satu fase awal eksplorasi terutama untuk menemukan cebakan mineral logam. Halmahera bagian timur dengan tataan geologi yang kompleks dan berada

dalam jalur metalogenik yang berpotensi membentuk cebakan logam, menghasilkan rona geokimia yang sangat bervariasi dan menarik. Data geokimia sedimen sungai aktif yang tertuang dalam bentuk peta sebaran unsur menyajikan informasi awal yang penting tentang indikasi mineralisasi untuk ditindaklanjuti ke tahap penelitian lebih rinci, khususnya mineralisasi nikel yang berasosiasi dengan litologi Komplek Ultrabasa.

Penafsiran data geokimia di wilayah penelitian dengan pendekatan analisis statistik univariat dan multivariat yang terdiri dari unsur Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Mn, Ag, Fe, Cr, dan Au, proses pengayaan unsur geokimia di lingkungan permukaan diperlihatkan oleh asosiasi spasial Co, Ni, Fe dan Mn, yaitu pengayaan unsur disebabkan pengikatan kimiawi (scavenging) oleh oksida Fe dan Mn. Berdasarkan kekerabatan unsur atau hubungan antar unsur diperoleh dua kelompok unsur yaitu ikatan unsur Cu-Pb-Zn-Ag-Cr dan Co-Ni-Mn-Fe-Au, akan tetapi tidak semua kelompok asosiasi unsur dapat dihubungkan dengan litologi di daerah penelitian.

Kata kunci: geokimia, Halmahera Timur, metalogenik, mineralisasi, univariat, multivariat

DDC:

Bella Restu Juliarka dan Mochamad Iqbal
(Kelompok Keahlian Geologi, Teknik Geologi, Institut Teknologi Sumatera)

MODEL GAYABERAT 2D UNTUK MENGUNGKAP STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH PANAS BUMI NATAR

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2020 Vol. 15 No. 1 Hal. 39 - 49

Daerah panas bumi Natar terletak di Kecamatan Natar yang berjarak kurang lebih 10 km utara Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Lapangan panas bumi ini terbilang cukup unik karena manifestasi mata air panas yang muncul ke permukaan berada pada daerah yang relatif datar. Pengamatan geologi pada singkapan untuk mengetahui struktur geologi yang mengontrol keluarnya air panas tersebut sulit dilakukan karena terbatasnya singkapan batuan sehingga diperlukan metode geofisika untuk menginterpretasi kondisi bawah permukaan seperti metode gayaberat. Geologi daerah penelitian ditutupi oleh Formasi Lampung yang terdiri dari batuan proklastik-vulkanoklastik dengan tebal mencapai 200 m. Hasil pemrosesan data gayaberat menunjukkan nilai anomali Bouguer yang berkisar antara 51,0-62,6 mGal. Hasil interpretasi peta anomali Bouguer memperlihatkan keberadaan lima struktur sesar, yang menjadi jalur keluarnya air panas, yang dominan berarah baratlaut-tenggara dan utara-selatan. Arah tersebut menandakan bahwa struktur geologi yang terdapat pada daerah penelitian masih berkaitan dengan Sesar Besar Sumatera yang juga berarah baratlaut-tenggara. Pemodelan 2D bawah permukaan yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak 'Oasis Montaj 8.4', menghasilkan tiga lapisan densitas batuan yaitu densitas yang berasosiasi dengan Formasi Lampung dengan densitas 1,9 g/cm³, dan yang berasosiasi dengan dua struktur basement dengan densitas masing-masing

2,54 g/cm³ dan 2,76 g/cm³, yang membentuk struktur seperti horst dan graben. Pengeboran eksplorasi untuk penelitian selanjutnya disarankan dilakukan pada sebelah barat mata air panas untuk mengonfirmasi model bawah permukaan.

Kata kunci: gayaberat, geothermal, Lampung, Natar, struktur geologi

DDC:

Dikdik Risdianto¹, Sukaesih¹, Nizar Muhamad Nurdin¹, Stephen Simamora², dan Agus Didit Haryanto²
(¹Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, ²Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran)

PENENTUAN UMUR ABSOLUT BATUAN KUBAH LAVA ANDESIT DAERAH PANAS BUMI LEJJA-KABUPATEN SOPPENG, PROVINSI SULAWESI SELATAN MENGGUNAKAN METODE THERMOLUMINESCENCE (TL)

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2020 Vol. 15 No. 1 Hal. 51 - 60

Saat ini metode Thermoluminescence (TL) sudah diaplikasikan sebagai salah satu metode pentarikhian (dating) umur batuan. Dalam eksplorasi panas bumi informasi tentang umur batuan/material vulkanik sangat penting untuk merekonstruksi sejarah geologi yang berkaitan dengan aktivitas termal. Penentuan umur batuan yang diperkirakan sebagai sumber panas di prospek Panas Bumi Lejja Kabupaten Soppeng, Provinsi Sulawesi Selatan dilakukan menggunakan metode TL. Prosedur pengukuran dilakukan dengan dosis aditif pada butiran kristal kuarsa, Pengukuran dosis dengan iradiasi dilakukan dua kali yaitu pada dosis 10 Gray (Gy) dan 30 Gy sedangkan untuk annual dose ditentukan dengan menganalisis konsentrasi uranium, thorium, dan kalium menggunakan metode X-ray Fluorescence (XRF). Garis trendline dibuat untuk menentukan persamaan linear hubungan antara intensitas TL alami dengan dosis yang diberikan pada proses iradiasi, dan menunjukkan bahwa bahwa intensitas TL alami setara dengan 304,05-315,96 Gy, sedangkan hasil perhitungan annual dose menunjukkan 0,5408 Gy/ka. Dengan kalkulasi menggunakan formula dalam metode ini diketahui bahwa usia absolut tubuh batuan yang diperkirakan sebagai sumber panas di prospek panas bumi Lejja, Kabupaten Soppeng adalah 573 ± 11 kilo tahun.

Kata kunci: Thermoluminescence, TL, penanggalan geologi, sejarah termal, panas bumi

DDC:

Irpan Ilmi¹, Ildrem Syafri¹, Agus Didit Haryanto¹, dan Ahmad Zarkasyi²
(¹Program Pascasarjana, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran dan ²Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi)

PEMODELAN INVERSI 2-D MENGGUNAKAN DATA MAGNETOTELLURIK DAERAH PANAS BUMI WAY SELABUNG, KABUPATEN OGAN KOMERING ULU SELATAN, PROVINSI SUMATERA SELATAN

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2020 Vol. 15 No. 1 Hal. 61 - 72

Salah satu sifat fisika batuan yang dapat digunakan untuk menganalisis suatu sistem panas bumi adalah tahanan jenis batuan. Metode magnetotellurik merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai tahanan jenis batuan. Pengukuran MT dilakukan pada 30 titik ukur dengan lintasan berarah utara-selatan dan jarak antar titik ukur sekitar 2000 meter. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan inversi 2-D dalam menentukan letak, delineasi, dan kedalaman sistem panas bumi Way Selabung. Berdasarkan hasil analisis data MT dan pemodelan 2-D inversi, sistem panas bumi Way Selabung berada pada zona struktur graben. Munculnya beberapa manifestasi air panas Way Selabung, Lubuk Suban dan Selabung Damping, terbentuk akibat perpotongan Sesar Way Selabung, Sesar Kotadalam dan Sesar Akarjangkang dalam suatu pola hidrogeologi di zona outflow. Hasil pemodelan 2-D memperlihatkan bagian atas terdapat kelompok nilai tahanan jenis rendah <10 Ohm.m dengan ketebalan sekitar 1500 meter dari permukaan yang diinterpretasikan sebagai batuan penudung. Di bagian bawahnya terdapat kelompok nilai tahanan jenis sekitar 30-100 Ohm.m dengan kedalaman 1500 meter hingga 1750 meter yang diinterpretasikan sebagai zona reservoir.

Kata kunci: Panas Bumi, Way Selabung, Sumatera, Magnetotellurik, inversi 2-D



Singkapan endapan zeolit berupa tuf, berwarna hijau muda, berbutir halus-kasar, kompak, pecahan konkoidal di Kabupaten Ende, Provinsi Nusa Tenggara Timur (Irwan Muksin, 2013)



Singkapan selang seling pasir vulkanik, lapili dan tuf berbatuapung dari Endapan Vulkanik Kuartar di Kabupaten Ende, Provinsi Nusa Tenggara Timur (Irwan Muksin, 2013)



Singkapan Batugamping di daerah Desa Ujung Batu, Kecamatan Pasie Raja, Kabupaten Aceh Selatan, Provinsi Aceh (Irwan Muksin, 2020)



Singkapan Batugamping di Dusun Pantan Bayah, Kecamatan Labuhan Haji Barat, Kabupaten Aceh Selatan, Provinsi Aceh (Irwan Muksin, 2020)



Perselingan batupasir dan batulempung Formasi Weda di daerah Kabupaten Halmahera Timur dalam Kegiatan Survei Geokimia Regional, Halmahera (Sulaeman, 2017)

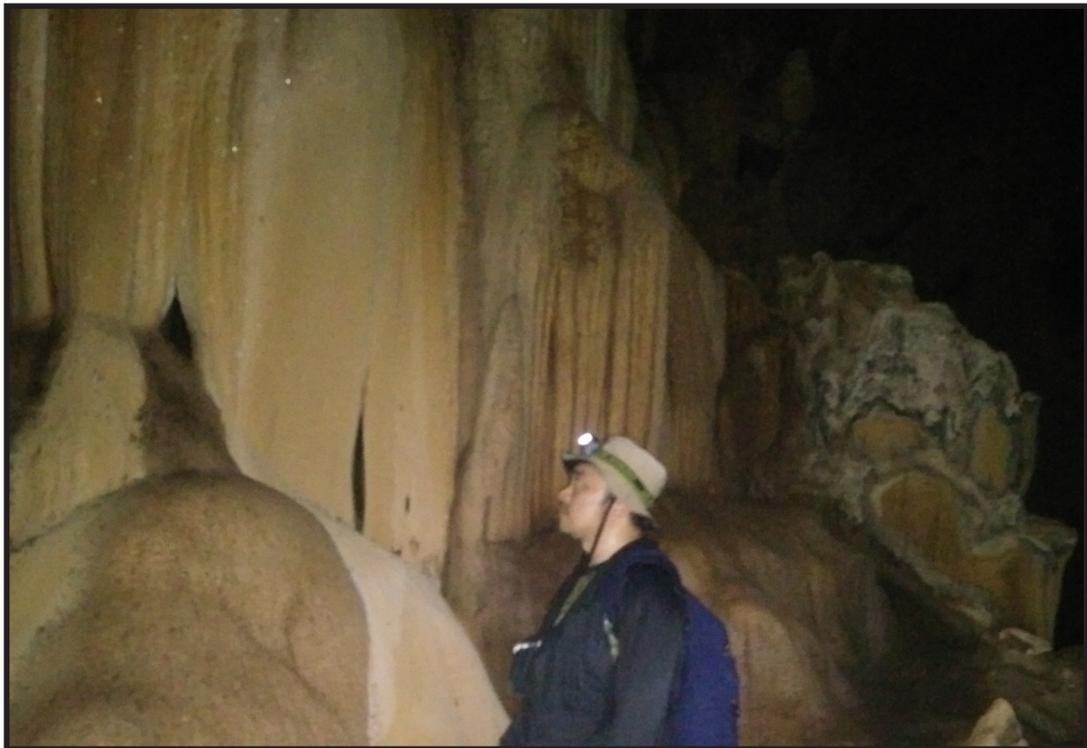


Laterit Granit daerah Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah (Sulaeman, 2018)

GALERI FOTO



Singkapan batuan ultrabasa Formasi yang sebagian telah mengalami alterasu di daerah Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara dalam kegiatan Survei geokimia regional Halmahera (Sulaeman, 2017)



Ornamen Flowstone di Gua Baja, Desa Paroy, Kecamatan Lhoong, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh (Wawan Setiyawan, 2020)



Ornamen Flowstone di Gua Baja, Desa Paroy, Kecamatan Lhoong, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh (Wawan Setiyawan, 2020)



Singkapan Magnesite berupa urat (*vein*) di desa Pasir Putih, Kecamatan Lasusua, Provinsi Kolaka Utara (Wawan Setiyawan, 2018)

GALERI FOTO



Salah satu pit aktif dengan 3 lapisan batubara di PT Bukit Asam, Provinsi Sumatera Selatan (M.Abdurahman Ibrahim, 2018)



Singkapan batubara PJN-11 tebal 1 meter, daerah Libureng, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan (M.Abdurahman Ibrahim, 2020)



Sumur uji TPPJN-03 dengan 2 lapisan batubara 0,95 meter dan 0,45 meter, daerah Salopuru, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan (M.Abdurahman Ibrahim, 2020)



Cleat pada batubara Formasi Warukin, Kabupaten Balangan, Provinsi Kalimantan Selatan (Rd. Maria Ulfa, 2020)

GALERI FOTO



Core batuan dan batubara lubang bor MJ-01 kedalaman 180 M s.d. 188 M lokasi Mangunjaya, Kabupaten Musi Banyu Asin, Provinsi Sumatera Selatan (Rd. Maria Ulfa, 2017)



Resin pada core batubara lubang bor GMB MJ-01 kedalaman 159,5 meter, lokasi Mangunjaya, Kabupaten Musi Banyu Asin, Provinsi Sumatera Selatan (Rd. Maria Ulfa, 2017)



Mata air panas Pinamula yang keluar melalui rekahan batuan andesit memiliki temperatur sekitar 51°C, pH 8,21 dan daya hantar listrik 1228 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Desa Pinamula, Kabupaten Buol, Provinsi Sulawesi Tengah (Lano Adhitya P., 2020)



Singkapan Batugamping yang menunjukkan adanya koral yang melimpah dan sedikit cangkang moluska, di Desa Lamadong Dua, Kabupaten Buol, Provinsi Sulawesi Tengah (Lano Adhitya P., 2020)

GALERI FOTO



Kenampakan endapan sinter karbonat (warna putih) yang terdapat di sekitar Mata air panas Pinamula, di Kabupaten Buol, Provinsi Sulawesi Tengah (Lano Adhitya P., 2020)



Endapan travertin yang cukup tebal pada dasar aliran sungai di Desa Kulango, Kabupaten Buol, Provinsi Sulawesi Tengah (Lano Adhitya P., 2020)

PEDOMAN PENULISAN
Makalah/karya tulis ilmiah
BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

ISI DAN KRITERIA UMUM

Naskah makalah/karya tulis ilmiah untuk publikasi di Buletin Sumber Daya Geologi dapat berupa artikel hasil penelitian, ulasan balik (*review*) dan ulasan/tinjauan (*feature*) tentang geologi baik sains maupun terapan terutama berkaitan dengan tugas pokok dan fungsi Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Naskah yang diajukan belum pernah dipublikasikan atau tidak sedang diajukan pada publikasi lain.

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau Inggris sesuai kaidah masing-masing bahasa yang digunakan. Judul naskah ditulis dengan huruf besar (*capital*) di tengah atas halaman dan di cetak tebal (*bold*). Naskah harus selalu dilengkapi dengan Sari dalam bahasa Indonesia dan *Abstract* dalam bahasa Inggris. Kata-kata bahasa asing yang tidak dapat dialih bahasa/disadur dicantumkan dalam bentuk asli dan ditulis dengan huruf miring (*italic font*).

FORMAT

UMUM

Seluruh bagian dari naskah termasuk Sari, *Abstract*, judul tabel dan gambar, catatan kaki tabel, keterangan gambar dan daftar acuan diketik satu spasi dalam bentuk *electronic file* dan dicetak pada kertas HVS A4; menggunakan huruf Arial berukuran 11 *point*. Setiap lembar tulisan dalam naskah diberi nomor halaman dengan jumlah maksimum 15 halaman termasuk tabel dan gambar. Susunan naskah dibuat sebagai berikut:

| NO | POKOK BAHASAN | POKOK PIKIRAN |
|----|------------------------------------|---|
| I | Judul (<i>Title</i>) | Pada halaman judul makalah/karya tulis dicantumkan nama setiap penulis dengan jumlah penulis maksimum 5 orang, nama dan alamat institusi bagi masing-masing penulis; disarankan dibuat catatan kaki yang berisi nomor telepon, faxsimile serta email. |
| II | Abstrak dan <i>Abstract</i> | Berisi ringkasan pokok bahasan lengkap dari keseluruhan isi naskah seperti latar belakang (yaitu berupa alasan ilmiah ataupun alasan keperluan penting mengapa tulisan ini dipublikasikan), obyek yang diteliti, permasalahan riset, tujuan riset, kegunaan hasil riset, metode yang digunakan dalam mencapai solusi riset tanpa harus memberikan keterangan terlalu rinci dari setiap bab, dengan jumlah maksimum 250 kata. Abstrak dicantumkan terlebih dahulu apabila naskah berbahasa Indonesia, sementara <i>Abstract</i> tercantum di bawah Abstrak; dan berlaku sebaliknya apabila naskah ditulis dalam bahasa Inggris. Disarankan disertai kata kunci/ <i>keyword</i> yang ditulis di bawah Abstrak/ <i>Abstract</i> , terdiri dari 4 hingga 6 kata. <i>Abstract</i> atau abstrak yang ditulis di bawah abstrak atau <i>abstract</i> menggunakan <i>italic font</i> . |

PEDOMAN PENULISAN

| | | |
|--------------------|--|--|
| <p>III</p> | <p>Pendahuluan (<i>Introduction</i>)</p> | <p>Bab ini dapat berisi latar belakang (alasan ilmiah dan maksud penelitian fenomena aktual bermasalah sebagai tema sentral penelitian), masalah aktual yang perlu solusi, pengantar tentang profil wilayah/lokasi kajian/riset, tujuan penelitian, spesifik, metode riset, hipotesis (kalau ada) dengan gaya bahasa lebih populer dengan bab dan sub-bab tidak perlu menggunakan nomor. Bab berisi pernyataan yang mencukupi sehingga pembaca dapat memahami dan mengevaluasi hasil penyelidikan/penelitian yang berkaitan dengan topik makalah/karya tulis.</p> |
| <p>IV</p> | <p>Metodologi (<i>Methodology</i>)</p> | <p>Metode yang digunakan harus spesifik dan jelas, mencakup uji-uji hipotesis atau model-model uji statistik, dapat menghimpun data primer/<i>sampling</i>, cara pengukuran dan komputasi.</p> |
| <p>V</p> | <p>Hasil dan Pembahasan (<i>Results and Discussion</i>)</p> | <p>Berisi hasil-hasil penyelidikan/penelitian yang disajikan dengan tulisan, tabel, grafik, gambar maupun foto diberi nomor secara berurutan. Hindarkan penggunaan grafik secara berlebihan apabila dapat disajikan dengan tulisan secara singkat. Pencantuman foto atau gambar tidak berlebihan dan hanya mewakili hasil penemuan. Semua tabel, grafik gambar dan foto yang disajikan harus diacu dalam tulisan dengan keterangan yang jelas dan dapat dibaca. <i>Font</i> huruf/angka untuk keterangan tabel, gambar dan foto berukuran minimum 6 <i>point</i>.</p> <p>Berisi tentang analisis/interpretasi dan bahasan singkat mengenai penjabaran hasil verifikasi/validasi yang ditekankan kepada kejelasan penelitian, keterlibatan aneka variabel dan peristiwa atau produk dari penelitian tersebut.</p> |
| <p>VI</p> | <p>Kesimpulan dan Saran (<i>Conclusions and Recommendation</i>)</p> | <p>Berisi kesimpulan dan saran dari hasil uji hipotesis tentang penelitian, dan berisi segitiga konsistensi (masalah, tujuan dan kesimpulan).</p> |
| <p>VII</p> | <p>Ucapan Terima Kasih (<i>Acknowledgements</i>)</p> | <p>Dapat digunakan untuk menyebutkan sumber dana penyelidikan/penelitian dan untuk pernyataan penghargaan kepada institusi atau orang yang membantu dalam pelaksanaan penyelidikan/penelitian dan penulisan makalah/karya tulis.</p> |
| <p>VIII</p> | <p>Acuan (<i>References</i>)</p> | <p>Acuan ditulis dengan menggunakan sistem nama tahun, nama penulis/pengarang yang tercantum didahului oleh nama akhir (<i>surname</i>), disusun menurut abjad dan judul makalah/karya tulis ditulis dengan huruf miring (<i>italic font</i>)</p> |

Beberapa contoh penulisan sumber acuan:

Jurnal

Harvey, R.D. dan Dillon, J.W., 1985. *Maceral distribution in Illinois coals and their palaeoenvironmental implication*. International Journal of Coal Geology, 5, h.141-165.

Buku

Petters, W.C., 1987. *Exploration and Mining Geology*. John Willey & Sons, New York, 685 h.

Bab dalam Buku

Chen, C.H., 1970. *Geology and geothermal power potential of the Tatun volcanic region*. Di dalam : Barnes, H.L. (ed.), 1979. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, h.632-683.

Prosiding

Suwarna, N. dan Suminto, 1999. *Sedimentology and Hydrocarbon Potential of the Permian Mengkarang Formation, Southern Sumatera*. Proceedings Southeast Asian Coal Geology, Bandung.

Skripsi/Tesis/Disertasi

DAM, M.A.C., 1994. *The Late Quarternary evolution of The Bandung Basin, West Java, Indonesia*. Ph.D Thesis at Dept. of Quarternary Geology Faculty of Earth Science Vrije Universitet Amsterdam, h.1-12.

Informasi dari Internet

Cantrell, C., 2006. *Sri Lanka's tsunami drive blossom : Local man's effort keeps on giving*. [Http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankas_tsunami_Drive_blossoms/](http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankas_tsunami_Drive_blossoms/)[26 Jan 2006].

Wewenang Redaksi

- Redaksi berwenang penuh melakukan penyuntingan atas naskah yang akan dipublikasikan tanpa mengubah substansi isi naskah.
- Redaksi mempunyai hak dan wewenang penuh untuk menolak naskah dengan isi dan format yang tidak sesuai dengan pedoman penulisan Buletin Sumber Daya Geologi dan tidak berkewajiban untuk mengembalikan naskah tersebut.

Pengiriman Naskah

Penulis dimohon untuk mengirimkan 1 eksemplar naskah asli baik *hardcopy* maupun *softcopy* kepada:

Sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi
Bagian Tata Usaha, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung, 40254
Telepon. (022) 520 2698, 522 6270
Fax. (022) 522 6270, 522 6263
Email: buletinsdg@gmail.com
OJS: <http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id>

Semua tulisan yang ada dalam Buletin Sumber Daya Geologi bukan merupakan cerminan sikap dan atau pendapat Dewan Redaksi Buletin Sumber Daya Geologi.
Tanggung Jawab terhadap isi atau akibat dari tulisan tetap terletak pada penulis.

SERTIFIKAT

Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan,
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi



Kutipan dari Keputusan Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan,
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia
Nomor: 21/E/KPT/2018, Tanggal 9 Juli 2018
Tentang Hasil Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode I Tahun 2018

Nama Jurnal Ilmiah
Buletin Sumber Daya Geologi
E-ISSN: 2580-1023
Penerbit: Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM

Ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah

TERAKREDITASI PERINGKAT 2

Akreditasi berlaku selama 5 (lima) tahun, yaitu
Volume 11 Nomor 1 Tahun 2016 sampai Volume 15 Nomor 3 Tahun 2020

Jakarta, 9 Juli 2018
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan



Dr. Muhammad Dimiyati
NIP. 195912171984021001



Alamat Redaksi

Buletin Sumber Daya Geologi
Bagian Tata Usaha, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Tel. (022) 522 6270, 520 2698, Fax: (022) 522 6263
Website : <http://psdg.geologi.esdm.go.id>
OJS: <http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id>
Email: buletinpsdg@gmail.com

