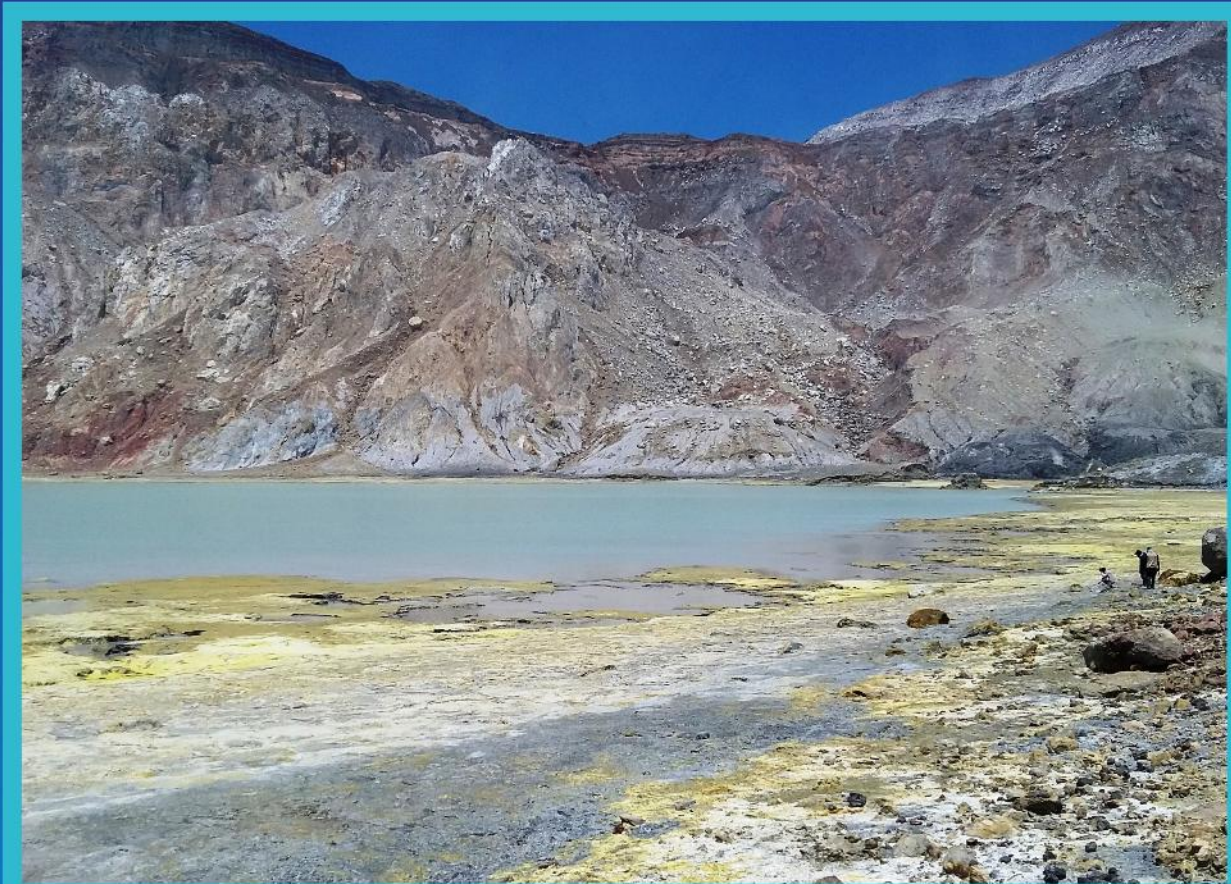


ISSN 1907-5367

buletin

SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 10 No. 3, November 2015



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Badan Geologi

Pusat Sumber Daya Geologi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 10	No. 3	Halaman 141 - 221	Bandung November 2015	Terakreditasi LIPI sebagai Majalah Ilmiah Nomor : 617/AU2/P2MI-LIPI/03/2015
--------------------------------	---------	-------	----------------------	--------------------------	--

Terakreditasi sebagai Majalah Berkala Ilmiah Nomor : 617/AU2/P2MI-LIPI/03/2015

Buletin Sumber Daya Geologi merupakan Makalah berkala ilmiah terakreditasi LIPI bidang geologi, geofisika, geokimia, pertambangan dan bidang ilmu kebumihan lainnya yang terkait. Makalah ini terbit tiga nomor dalam satu tahun pada bulan Mei, Agustus dan November.

DEWAN REDAKSI

Penasihat	Kepala Pusat Sumber Daya Geologi
Penanggungjawab	Kepala Bidang Informasi
Editor	Ir. Prima Muharam Hilman, M.Sc (<i>Remote Sensing/GIS</i>) Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi (<i>Mineralogi</i>) Ir. Herry Rodiana Eddy, M.Si (<i>Mineral Bukan Logam</i>) Ir. Sabtanto Joko Suprpto, MT (<i>Geologi/Geokimia</i>) Edi Suhanto, S.Si, MT (<i>Panas Bumi</i>) Ir. Kusdarto (<i>Mineral Bukan Logam</i>) Ir. Rina Wahyuningsih (<i>Panas Bumi</i>) Ir. Deddy Amarullah (<i>Batubara</i>) Ir. Teuku Ishlah (<i>Mineral Logam</i>) Ir. Bambang Pardiarto (<i>Mineral Logam</i>) Ir. Arif Munandar (<i>Panas Bumi</i>)
Desain Grafis	Candra, ST Eko Suryanto, S.Kom
Sekretariat	Dra. Ella Dewi Laraswati Retno Rahmawati Lestari, S.Si Dwi Asmoro Susanto, A.Md
Mitra Bestari	Prof. Ris. Bhakti Hamonangan, M.Sc (<i>Mineral Logam</i>) Prof. Dr. Ir. Bukin Daulay, M.Sc (<i>Batubara/CBM</i>) Dr. Eng. Suryantini, ST, M.Sc (<i>Panas Bumi</i>) Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc (<i>Geoteknik</i>) Ir. Frank Edwin, MT (<i>Mineral Bukan Logam/Keramik</i>) Dr. Ir. Rukmana NA, M.Sc (<i>Geologi/Geostatistik</i>) Dr. Eng. Imam A. Sadisun (<i>Geologi Teknik</i>)

Alamat sekretariat dan pengiriman naskah

Pusat Sumber Daya Geologi, Bidang Informasi, Gd. A.
Jl. Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Telepon : (022) 520 2698, 522 6270
Fax : (022) 522 6270, 522 6263
Email : buletinpsdg@gmail.com

PENGANTAR REDAKSI

Puji dan syukur kepada Yang Kuasa atas terbitnya edisi ketiga atau terakhir dari Buletin Sumber Daya Geologi untuk tahun 2015 ke tangan pembaca. Pada edisi kali ini kami hadirkan enam makalah, yang memuat tiga topik sumber daya panas bumi, satu topik sumber daya mineral logam, satu topik aspek geoteknik dalam penambangan, dan satu topik mengenai penerapan bioteknologi dalam pengolahan mineral.

Pada topik pertama sumber daya panas bumi, kami sajikan analisis sistem panas bumi dari sisi struktur tahanan jenis listrik hasil survei audio-magnetotelurik di daerah Dolok Marawa, Sumatera Utara. Topik kedua mengenai sudi alterasi hidrotermal batuan dari sumur *slim-hole* daerah panas bumi Sumani, Solok, Sumatera Barat. Ketiga mengenai studi perbandingan geokimia dari dua daerah panas bumi yang berdekatan, dengan tujuan untuk melihat kemungkinan konektifitas dua sumber atau malah reservoir yang sama.

Tulisan terkait mineral adalah satu makalah mengenai studi statistik menggunakan analisis faktor dan multivariat untuk menentukan sebaran daerah prospek mineralisasi tembaga-timbal-seng daerah Halmahera bagian barat. Dua tulisan terakhir adalah mengenai aspek geoteknik dalam kegiatan penambangan dan satu topik menarik mengenai prospek pengolahan mineral dengan teknik pemisahan *bioleaching*.

Pada kesempatan ini dewan redaksi ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para pemakalah, editor dan mitra bestari yang telah bekerja keras untuk menghadirkan edisi terakhir tahun 2015 ini. Terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya juga kami sampaikan kepada semua pihak yang terus menjaga komitmen agar buletin ini terus bisa menyapa para pembaca. Mari menulis untuk berbagi.

Salam hangat

Dewan Redaksi.

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

- 141 - 151 **STRUKTUR TAHANAN JENIS SISTEM PANAS BUMI DOLOK MARAWA-SUMATERA UTARA BERDASARKAN DATA AUDIO MAGNETOTELLURIK**
RESISTIVITY STRUCTURE OF DOLOK MARAWA GEOTHERMAL SYSTEM, NORTH SUMATERA DERIVED FROM AUDIO MAGNETOTELLURIC DATA
Oleh : Asep Sugianto dan Tony Rahadinata
- 153 - 166 **ALTERASI DI SUMUR PENGEBORAN SMN-1 DAN SMN-2 DI DAERAH PANAS BUMI SUMANI, KABUPATEN SOLOK, PROPINSI SUMATERA BARAT**
ALTERATION ON SMN-1 AND SMN-2 DRILLING WELLS AT SUMANI GEOTHERMAL AREA, SOLOK REGENCY, WEST SUMATERA PROVINCE
Oleh : Sukaesih, Yuano Rezky, Mega F. Rosana, dan Undang Mardiana
- 167 - 183 **ANALISIS FAKTOR DAN UNIVARIAT DALAM PENENTUAN POTENSI MINERALISASI Cu, Pb, Zn DI HALMAHERA BAGIAN BARAT, MALUKU UTARA**
FACTOR ANALYSIS AND UNIVARIATE TO DETERMINE Cu, Pb, Zn MINERALIZATION POTENTIAL IN THE WESTERN PART OF HALMAHERA, NORTH MALUKU
Oleh : Reza Mochammad Faisal, Soepriadi, Mega Fatimah Rosana, dan Euis Titin Yuningsih
- 185 - 196 **ORIENTASI INTI BATUAN HASIL PEMBORAN PADA RANCANGAN LERENG TAMBANG EMAS TERBUKA ARAREN DI PT. TAMBANG TONDANO NUSAJAYA, SULAWESI UTARA**
ROCK CORE ORIENTATION ON THE OPEN PIT SLOPE DESIGN OF ARAREN GOLD MINE, PT. TAMBANG TONDANO NUSAJAYA, NORTH SULAWESI
Oleh : Imanuel Seru, Zufaldi Zakaria, dan Dicky Muslim
- 197 - 210 **PENENTUAN TIPE FLUIDA, GEOTERMOMETER RESERVOIR DAN HILANG PANAS ALAMIAH BERDASARKAN ANALISIS DATA GEOKIMIA PANAS BUMI DI KABUPATEN BANJARNEGARA, JAWA TENGAH**
DETERMINATION OF FLUID TYPE, RESERVOIR GEOTERMOMETER AND NATURAL HEAT LOSS BASED ON GEOCHEMICAL DATA IN BANJARNEGARA REGENCY, CENTRAL JAVA
Oleh : Chusni Ansori dan Fitria Amalia Wardhani
- 211 - 221 **BIOLEACHING FOR THE RECOVERY OF METALS**
PEMISAHAN UNSUR LOGAM DENGAN BIOLEACHING
Oleh : Rita Susilawati

ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

GALERI FOTO

Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi

STRUKTUR TAHANAN JENIS SISTEM PANAS BUMI DOLOK MARAWA-SUMATERA UTARA BERDASARKAN DATA AUDIO MAGNETOTELLURIK**RESISTIVITY STRUCTURE OF DOLOK MARAWA GEOTHERMAL SYSTEM, NORTH SUMATERA DERIVED FROM AUDIO MAGNETOTELLURIC DATA****Asep Sugianto dan Tony Rahadinata**

Pusat Sumber Daya Geologi, Jl. Soekarno Hatta No. 444 Bandung

Email: asepegie@gmail.com

SARI

Tahanan jenis batuan merupakan salah satu sifat fisika batuan yang dapat digunakan untuk menganalisis suatu sistem panas bumi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai tahanan jenis batuan adalah metode audio magnetotellurik (AMT). Metode tersebut telah diaplikasikan di daerah panas bumi Dolok Marawa, Sumatera Utara untuk mendelineasi struktur tahanan jenis bawah permukaan yang berkorelasi dengan sistem panas bumi. Pengukuran AMT dilakukan pada 61 titik ukur yang membentuk 6 lintasan berarah baratdaya-timurlaut dengan jarak antar titik ukur sekitar 500 m hingga 1000 m. Hasil pemodelan AMT 2D memperlihatkan struktur tahanan jenis bawah permukaan yang membentuk suatu graben di sekitar mata air panas Tinggi Raja. Di bagian atas terdapat kelompok nilai tahanan jenis rendah <20 Ohm.m dengan ketebalan sekitar 500 m yang diinterpretasikan sebagai batuan ubahan (batuan penudung). Di bagian bawahnya terdapat kelompok nilai tahanan jenis lebih tinggi sekitar 30-100 Ohm.m yang diinterpretasikan sebagai zona dengan temperatur tinggi (zona prospek). Secara lateral, zona tersebut dibatasi oleh kontras nilai tahanan jenis rendah dan tinggi di sebelah baratdaya, baratlaut, timurlaut, dan tenggara.

Kata kunci: Tahanan jenis, Audio Magnetotellurik, Dolok Marawa, Sumatera, graben, panas bumi

ABSTRACT

Resistivity is one of physical properties used for characterizing geothermal system, which can be determined by audio magnetotelluric method (AMT). The method has been conducted at Dolok Marawa to delineate subsurface resistivity structure that correlated with geothermal system. AMT measurement had been conducted at 61 stations within 6 SW-NE lines with spacing about 500 m to 1000 m. Result of 2D AMT modeling shows resistivity structure form a graben around Tinggi Raja hot springs. Low resistivity layer <20 Ohm.m with 500 m thickness near surface is interpreted as altered rocks (clay cap). Below this layer is a more resistive layer about 30-100 Ohm.m that is interpreted as high temperature zone (prospect zone). Contrast resistivity value in the southwestern part (AMTD-34), northwestern part (AMTD-20), northeastern part (AMTD-38), and southeastern part (AMTD-50) is a border for the prospect zone laterally.

Keywords: Resistivity, Audio Magnetotelluric, Dolok Marawa, Sumatera

PENDAHULUAN

Tahanan jenis batuan merupakan salah satu sifat fisika batuan yang sering digunakan dalam menganalisis suatu sistem panas bumi. Suatu sistem panas bumi umumnya tersusun atas batuan penutup berupa batuan alterasi, seperti *smectite* dan *illite* yang memiliki nilai tahanan jenis <10 Ohm.m dan batuan reservoir yang umumnya berupa *propylitic* dengan nilai tahanan jenis 10-60 Ohm.m (Johnston dkk., 1992). Penentuan nilai tahanan jenis batuan tersebut dapat dilakukan dengan berbagai metode geofisika, diantaranya tahanan jenis DC, polarisasi terimbas (IP), magnetotellurik (MT), audiomagnetotellurik (AMT), dan sebagainya. Dari metode-metode tersebut, metode magnetotellurik merupakan metode geofisika yang sering digunakan dalam survei panas bumi karena memiliki penetrasi yang dalam >5 km dan dapat mendeteksi lapisan konduktif diantara lapisan batuan resistif yang tebal (Ushijima, dkk., 2000). Penerapan metode MT dalam eksplorasi panas bumi tersebut telah banyak dibahas dan dipublikasikan, diantaranya oleh Mulyadi dan Guntur (1998), Ushijima dkk. (2005), Uchida (2005), Sugianto, dkk. (2010), dan Sugianto, dkk. (2011).

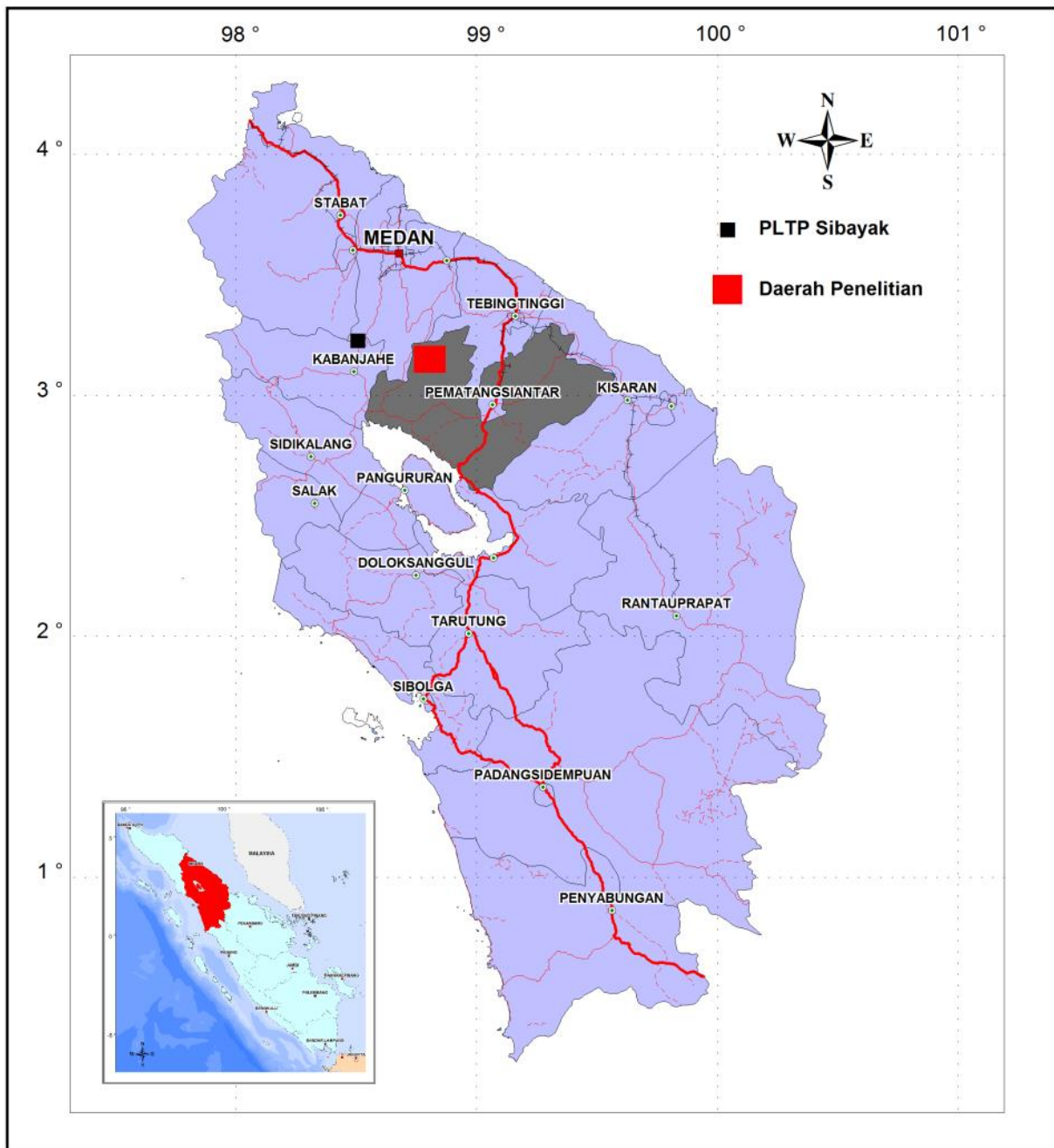
Pada makalah ini dibahas mengenai penerapan metode audiomagnetotellurik (AMT) untuk mendelineasi struktur tahanan jenis bawah permukaan yang berkorelasi dengan sistem panas bumi. Prinsip kerja metode AMT tersebut sama dengan metode MT, tetapi memiliki penetrasi yang lebih dangkal jika dibandingkan dengan metode MT. Penerapan metode AMT ini dapat digunakan untuk mendelineasi struktur tahanan jenis pada sistem panas bumi yang dangkal.

Metode AMT tersebut diaplikasikan pada daerah panas bumi Dolok Marawa yang terletak di Kecamatan Silau Kahean, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara (Gambar 1). Daerah panas bumi tersebut berada di sebelah timur sesar Sumatera dan sebelah timurlaut Pembangkit Listrik

Tenaga Panas Bumi (PLTP) Sibayak. Penelitian kepanasbumian di daerah ini telah banyak dilakukan, diantaranya oleh Setiawan, dkk. (2006), Suryakusuma, dkk. (2006), Zarkasyi, dkk. (2006), Sundhoro, dkk. (2006), dan Sugianto dan Rahadinata (2015). Hasil penelitian sebelumnya menggambarkan bahwa reservoir panas bumi di daerah ini cukup dangkal (<1000 m). Penelitian dengan menggunakan metode AMT ini dapat memberikan gambaran mengenai struktur tahanan jenis batuan yang berkorelasi dengan sistem panas bumi di daerah Dolok Marawa. Hasil survei geologi oleh Setiawan, dkk. (2006) menyebutkan bahwa daerah ini umumnya tersusun atas batuan andesit, aliran dan jatuhan piroklastik yang semuanya berumur Kuartar. Di daerah ini juga ditemukan endapan travertin di sekitar mata air panas Tinggi Raja dan batugamping yang menjadi batuan dasar daerah ini di sekitar mata air panas Bahbutala (Gambar 2). Struktur geologi yang berkembang di daerah ini umumnya berarah baratlaut-tenggara mengikuti pola umum arah sesar Sumatera. Manifestasi panas bumi muncul berupa mata air panas dengan temperatur antara 37°C hingga 65°C yang tersebar di beberapa tempat.

METODE

Metode AMT sama halnya dengan metode MT merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik (medan listrik dan medan magnetik) secara alami (Vozoff, 1991). Prinsip metode AMT sama dengan metode MT, tetapi memiliki rentang frekuensi pengukuran yang berbeda. Metode AMT memiliki rentang frekuensi 0,1-10.000 Hz, sedangkan metode MT memiliki rentang frekuensi 0.0001-1000 Hz, sehingga penetrasi kedalaman metode AMT lebih dangkal jika dibandingkan dengan penetrasi kedalaman metode MT. Hasil pengukuran AMT umumnya ditampilkan dalam nilai tahanan jenis semu yang merupakan perbandingan besarnya medan listrik dan medan magnet dengan menggunakan asumsi gelombang bidang.



Gambar 1. Peta lokasi daerah panas bumi Dolok Marawa

Secara matematis nilai tahanan jenis semu dapat ditulis sebagai berikut:

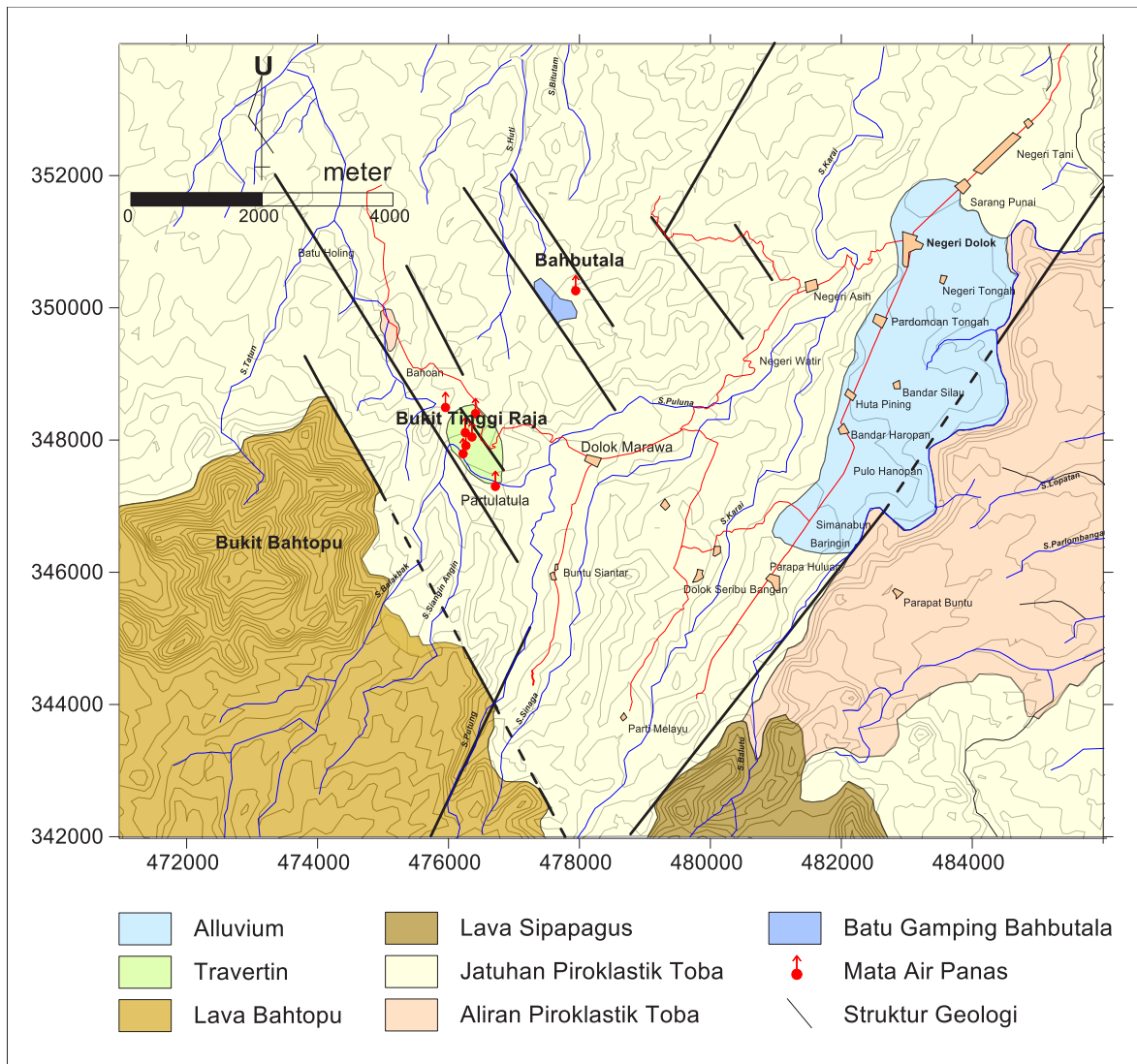
$$\rho_a = \frac{1}{5f} \times \left| \frac{E}{H} \right|^2 \dots\dots\dots(1)$$

dimana, ρ_a merupakan tahanan jenis semu (Ohm-m), f adalah frekuensi (Hz), E adalah besarnya medan listrik (mV/km), dan H adalah besarnya medan magnet (nT). Pengukuran AMT dilakukan

terhadap 61 titik ukur pada 6 lintasan berarah baratdaya-timurlaut dengan jarak antar titik ukur sekitar 500 m hingga 1000 m (Gambar 3). Pemodelan 2D data AMT dilakukan dengan menggunakan algoritma *Nonlinear Conjugate Gradient* (NLCG) dari Rodi dan Mackie (2001) yang tersedia dalam perangkat lunak WinGlink. Algoritma tersebut digunakan untuk meminimalisasi persamaan solusi inversi dari Tikhonov dan Arsenin (1977), yang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$\Psi(m) = (d - F(m))^T V^{-1} (d - F(m)) + \lambda m^T L^T L m \dots (2)$
 dimana d merupakan data pengukuran, m adalah vektor model, F adalah operator

pemodelan kedepan, V adalah matriks *error covariance*, L adalah operator linier, dan λ adalah parameter regularisasi.



Gambar 2. Peta geologi daerah panas bumi Dolok Marawa
 Sistem koordinat peta menggunakan *Universal Transverse Mercator WGS 84* zona 47 N
 (modifikasi dari Setiawan dkk., 2006)

HASIL

Hasil penelitian disajikan dalam bentuk penampang model tahanan jenis 2D dan peta tahanan jenis pada kedalaman tertentu. Penampang model tahanan jenis 2D terdiri atas 6 lintasan yang berarah baratdaya-timurlaut (Gambar 4). Penampang model 2D tersebut disajikan untuk menggambarkan distribusi nilai tahanan jenis secara vertikal. Distribusi nilai tahanan jenis secara lateral disajikan

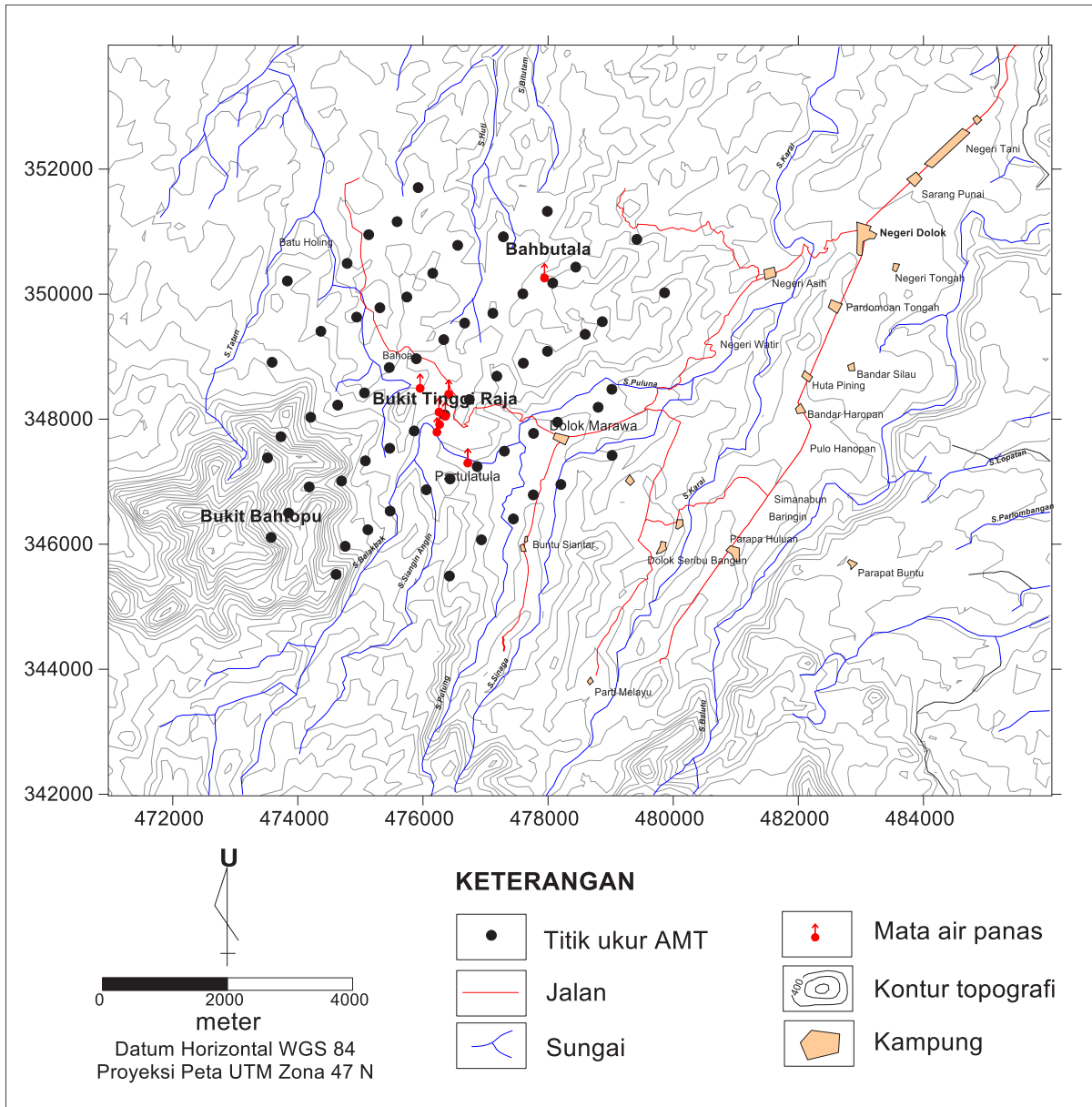
dalam bentuk peta tahanan jenis pada kedalaman 100 m, 300 m, 500 m, 750 m, dan 1000 m (Gambar 5).

Model Tahanan Jenis AMT 2D

Hasil pemodelan 2D lintasan 1 yang berada sebelah barat laut memberikan *rms error* sekitar 5.3% (Gambar 4). Pola sebaran tahanan jenis dapat dikelompokkan menjadi tiga lapisan. Lapisan pertama memiliki nilai tahanan

jenis >1000 Ohm.m yang tersebar di dekat permukaan. Lapisan kedua tersebar memanjang dari baratdaya hingga ke timurlaut dengan nilai tahanan jenis <20 Ohm.m. Lapisan kedua tersebut memiliki ketebalan sekitar 500 m. Lapisan ketiga

merupakan lapisan resistif dengan nilai tahanan jenis >1000 Ohm.m. Lapisan ketiga ini berada pada kedalaman sekitar 1000 m dan tersebar dari baratdaya hingga ke timurlaut.



Gambar 3. Sebaran titik ukur AMT daerah panas bumi Dolok Marawa

HASIL

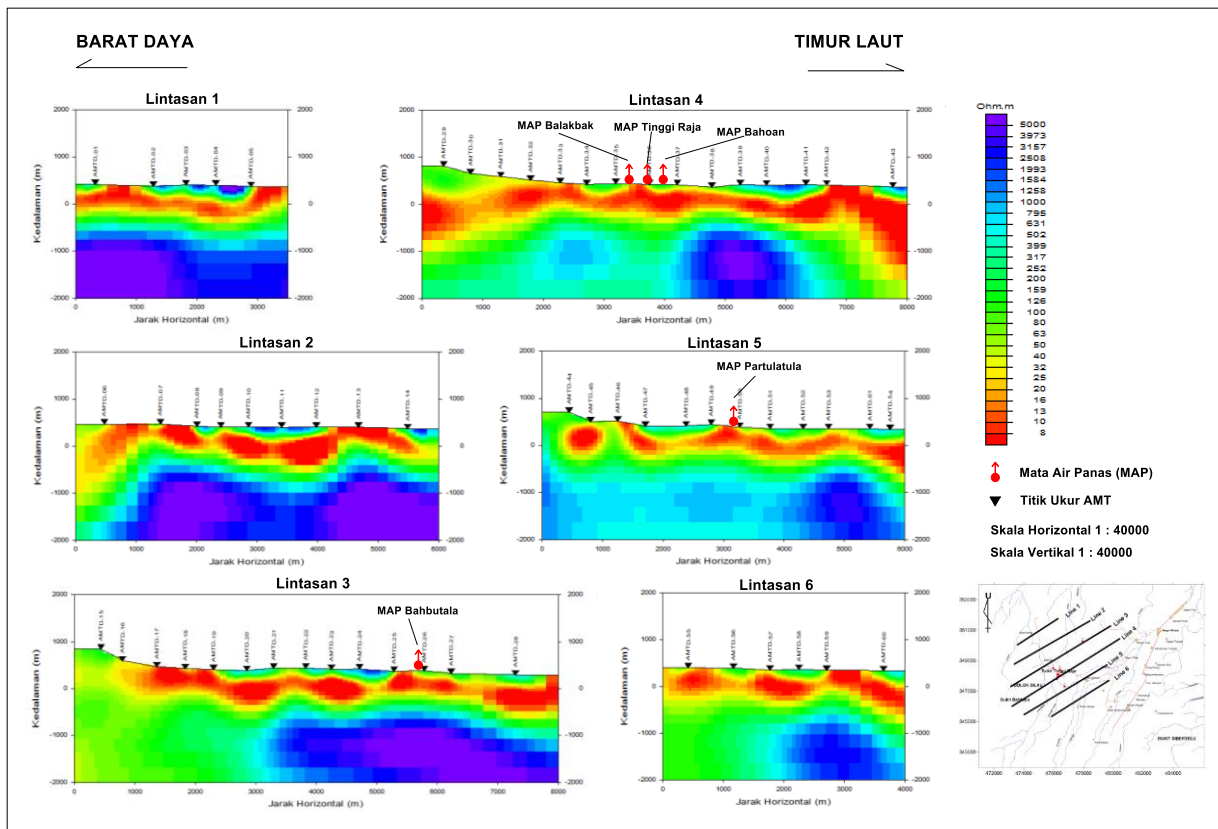
Hasil penelitian disajikan dalam bentuk penampang model tahanan jenis 2D dan peta tahanan jenis pada kedalaman tertentu. Penampang model tahanan jenis 2D terdiri atas 6 lintasan yang berarah baratdaya-timurlaut (Gambar 4).

Penampang model 2D tersebut disajikan untuk menggambarkan distribusi nilai tahanan jenis secara vertikal. Distribusi nilai tahanan jenis secara lateral disajikan dalam bentuk peta tahanan jenis pada kedalaman 100 m, 300 m, 500 m, 750 m, dan 1000 m (Gambar 5).

Model Tahanan Jenis AMT 2D

Hasil pemodelan 2D lintasan 1 yang berada sebelah barat laut memberikan *rms error* sekitar 5.3% (Gambar 4). Pola sebaran tahanan jenis dapat dikelompokkan menjadi tiga lapisan. Lapisan pertama memiliki nilai tahanan jenis >1000 Ohm.m yang tersebar di dekat permukaan. Lapisan kedua tersebar

memanjang dari baratdaya hingga ke timurlaut dengan nilai tahanan jenis <20 Ohm.m. Lapisan kedua tersebut memiliki ketebalan sekitar 500 m. Lapisan ketiga merupakan lapisan resistif dengan nilai tahanan jenis >1000 Ohm.m. Lapisan ketiga ini berada pada kedalaman sekitar 1000 m dan tersebar dari baratdaya hingga ke timurlaut.



Gambar 4. Model tahanan jenis AMT 2D

Model tahanan jenis AMT 2D pada lintasan 2 memiliki *rms error* sebesar 6,4%. Hasil pemodelan memperlihatkan tiga kelompok nilai tahanan jenis. Kelompok pertama memiliki nilai tahanan jenis tinggi >1000 Ohm.m dan tersebar tipis di dekat permukaan. Kelompok kedua memiliki nilai tahanan jenis rendah <20 Ohm.m yang tersebar memanjang dari baratdaya hingga ke timurlaut. Lapisan tersebut tersebar di dekat permukaan hingga kedalaman sekitar 1000 meter dengan ketebalan sekitar 500 meter. Kelompok ketiga berada di bagian bawah dan memiliki nilai tahanan jenis sangat tinggi >1000 Ohm.m.

Lintasan 3 berada di bagian tengah dan memotong mata air panas Bahbutala. Hasil pemodelan 2D pada lintasan 3 memberikan *rms error* sebesar 4,5%. Model tahanan jenis 2D tersebut memperlihatkan adanya nilai tahanan jenis tinggi di sekitar titik AMTD-23, AMTD-24, dan AMTD-25 yang tersebar tipis di dekat permukaan. Di bawah nilai tahanan jenis tinggi tersebut, terdapat nilai tahanan jenis rendah <20 Ohm.m yang tersebar memanjang dari sebelah baratdaya hingga ke timurlaut. Di bagian bawah terdapat sebaran nilai tahanan jenis tinggi >1000 Ohm.m. Di sekitar titik AMTD-20 terdapat kontras nilai tahanan jenis tinggi dan

tahanan jenis sedang. Kontras nilai tahanan jenis tersebut bertepatan dengan keberadaan struktur yang berarah baratlaut-tenggara.

Lintasan 4 berada di bagian tengah dan memotong mata air panas Tinggi Raja. Hasil pemodelan tahanan jenis AMT 2D memberikan *rms error* sebesar 4,5%. Model tahanan jenis 2D lintasan 4 memperlihatkan sebaran nilai tahanan jenis rendah <20 Ohm.m yang memanjang dari baratdaya hingga ke timurlaut. Di bagian bawah terdapat bodi dengan nilai tahanan jenis tinggi >1000 Ohm.m yang berbentuk seperti kubah. Bodi tersebut berada pada kedalaman sekitar 1000 m. Di bagian tengah sekitar titik AMTD-35 dan AMTD-37 terdapat kontras nilai tahanan jenis tinggi dan nilai tahanan jenis sedang yang mengindikasikan adanya struktur.

Hasil pemodelan pada lintasan 5 yang memotong mata air panas Partulatula memiliki *rms error* sebesar 4,6%. Pada model tahanan jenis 2D lintasan 5, nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm.m) tersebar dari dekat permukaan hingga kedalaman sekitar 1000 m dengan ketebalan sekitar 500 m. Di bagian bawah terdapat sebaran nilai tahanan jenis tinggi (>500 Ohm.m) yang memanjang dari baratdaya hingga ke timurlaut. Di sekitar titik AMTD-51 dan AMTD-52 terdapat kontras nilai tahanan jenis >1000 Ohm.m dengan nilai tahanan jenis antara 500 Ohm.n s.d. 1000 Ohm. Kontras tersebut mengindikasikan adanya kelurusan sesar.

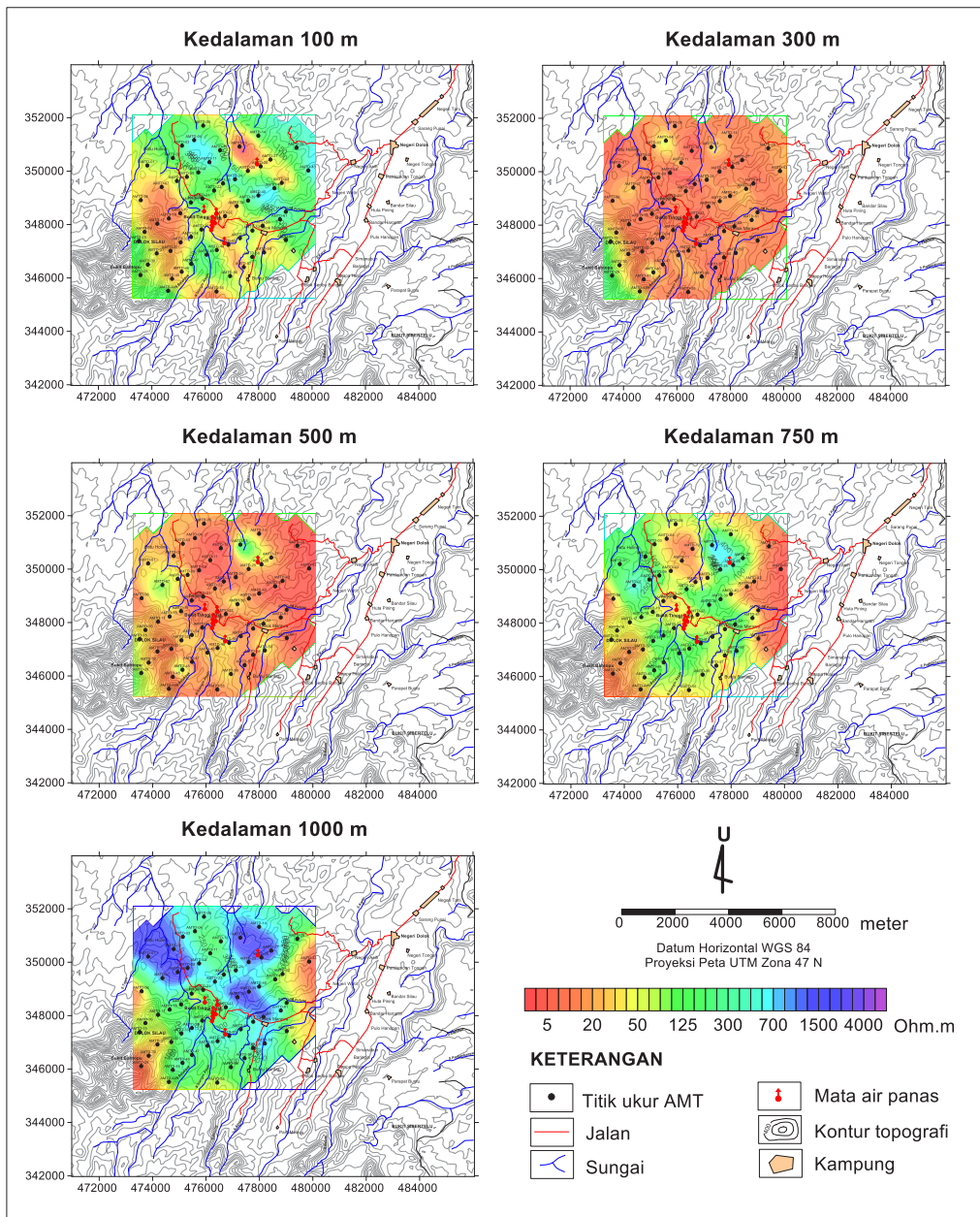
Hasil pemodelan pada lintasan 6 memiliki *rms error* sebesar 3,9%. Seperti pada lintasan 4 dan lintasan 5, pada lintasan ini nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm.m) juga tersebar di dekat permukaan hingga kedalaman sekitar 1000 m dengan ketebalan sekitar 500 m. Di bagian bawahnya terdapat nilai tahanan jenis tinggi (>1000 Ohm.m) yang berbentuk seperti kubah. Di bagian tengah sekitar titik AMTD-57 terdapat kontras nilai tahanan jenis tinggi (>1000 Ohm.m) dan

nilai tahanan jenis sedang (50 Ohm.m s.d. 300 Ohm.m) yang diperkirakan sebagai indikasi keberadaan struktur sesar di daerah ini.

Peta Tahanan Jenis AMT

Peta tahanan jenis AMT merupakan sebaran nilai tahanan jenis secara lateral yang disayat dari hasil pemodelan AMT 2D pada kedalaman tertentu. Sebaran nilai tahanan jenis tersebut memiliki pola yang berbeda untuk setiap kedalaman (Gambar 5). Pada kedalaman 100 m, pola sebaran nilai tahanan jenis membentuk kelurusan berarah baratlaut-tenggara di sebelah timurlaut mata air panas Tinggi Raja dan membentuk kelurusan berarah hampir utara-selatan di sekitar mata air panas tersebut. Kontras nilai tahanan jenis rendah dan tinggi mengindikasikan adanya struktur sesar yang secara geologi juga berarah baratlaut-tenggara. Nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm.m) tersebar di sebelah barat mata air panas Tinggi Raja dan di sekitar mata air panas Bahbutala. Sebaran nilai tahanan jenis rendah tersebut meluas hampir melingkupi seluruh daerah penelitian pada kedalaman 300 m.

Pada kedalaman 500 m, sebaran nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm.m) masih mendominasi daerah penelitian. Nilai tahanan jenis sedang (50 Ohm.m s.d. 300 Ohm.m) mulai terlihat pada kedalaman 750 m. Perubahan pola dan nilai tahanan jenis mengidikasikan adanya perubahan litologi pada kedalaman tersebut. Pada kedalaman 750 m terdapat batuan yang lebih resistif jika dibandingkan batuan pada kedalaman 500 m. Nilai tahanan jenis sedang (30 Ohm.m s.d. 500 Ohm.m) dan tinggi (>500 Ohm.m) tersebar luas pada kedalaman 1000 m. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin dalam batuan semakin resistif. Pada kedalaman 1000 m masih terlihat adanya kelurusan berarah baratlaut-tenggara yang mengindikasikan bahwa sesar di daerah ini menerus hingga kedalaman lebih dari 1000 m.



Gambar 5. Peta tahanan jenis AMT pada kedalaman tertentu

PEMBAHASAN

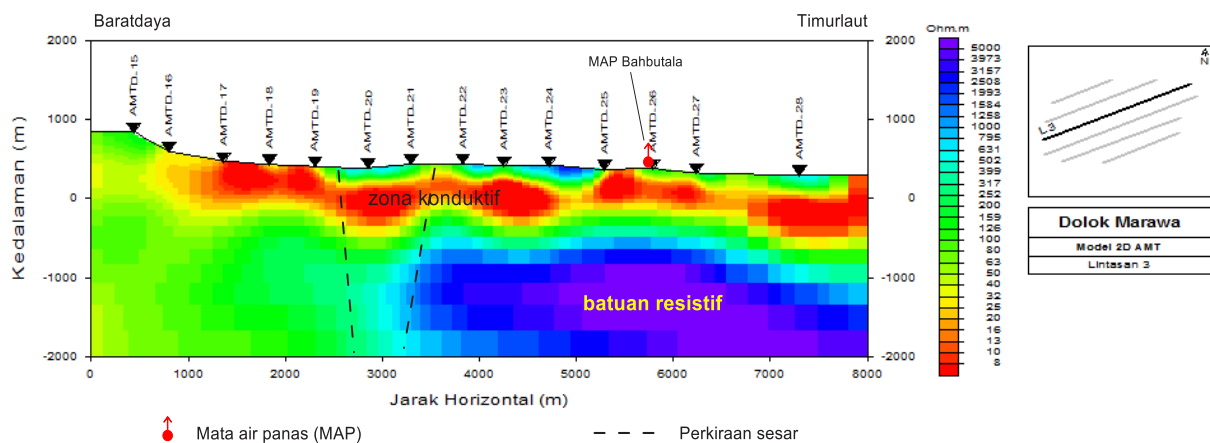
Hasil pemodelan AMT 2D memperlihatkan struktur tahanan jenis yang secara umum terbagi kedalam 3 kelompok. Kelompok pertama memiliki nilai tahanan jenis tinggi (>500 Ohm.m) dengan ketebalan sekitar 100 m yang tersebar di sekitar mata air panas Bahbutala. Kelompok kedua memiliki nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm.m) yang membentang dari baratdaya hingga ke timurlaut dengan ketebalan bervariasi dari 300 m sampai 1000 m. Kelompok ketiga berada di bagian bawah

dengan nilai tahanan jenis >500 Ohm.m yang mengindikasikan batuan bersifat resistif.

Interpretasi terhadap model tahanan jenis AMT 2D lintasan 3 (Gambar 6) memperlihatkan suatu graben yang dibatasi oleh kontras nilai tahanan jenis tinggi (>500 Ohm.m) dan sedang (30 Ohm.m s.d. 500 Ohm.m). Pada model tersebut terlihat adanya sebaran nilai tahanan jenis tinggi (>500 Ohm.m) di sekitar titik AMTD-23, AMTD-24, dan AMTD-25. Nilai tahanan jenis tinggi

tersebut tersebar dari dekat permukaan hingga kedalaman sekitar 100 m. Secara geologi nilai tahanan jenis tinggi tersebut berasosiasi dengan batugamping Bahbutala yang tersingkap di permukaan. Pada kedalaman sekitar 200 m hingga 1000 m tersebar tahanan jenis rendah (<20 Ohm.m) yang memanjang dari baratdaya ke timurlaut dengan ketebalan

yang bervariasi antara 300 m hingga 600 m. Nilai tahanan jenis rendah tersebut diinterpretasikan sebagai respon dari batuan piroklastik jenuh air. Batuan resistif yang dicirikan dengan nilai tahanan jenis tinggi (>500 Ohm.m) terlihat di bagian bawah dan membentang dari tengah hingga ke timurlaut.



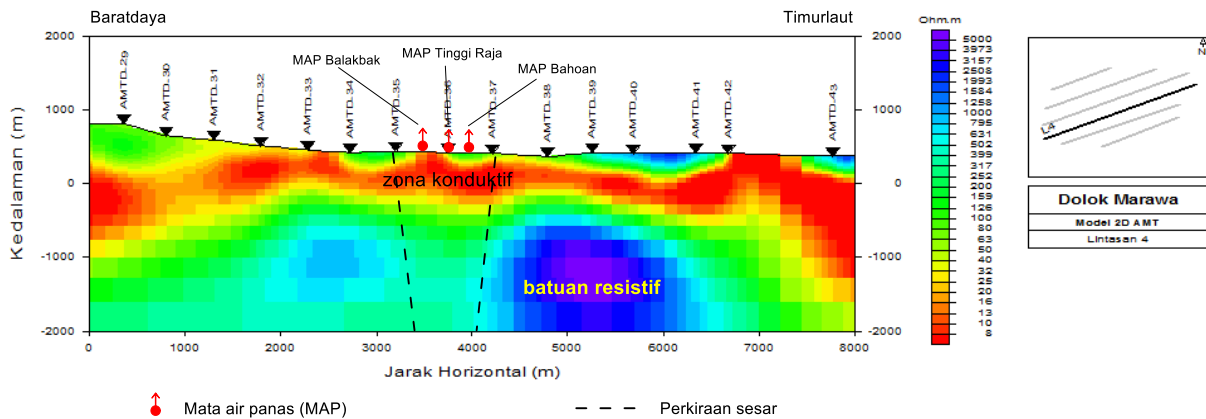
Gambar 6. Interpretasi penampang model lintasan 3

Interpretasi terhadap model tahanan jenis AMT 2D lintasan 4 (Gambar 7) memperlihatkan suatu graben yang ditandai dengan adanya kontras nilai tahanan jenis tinggi (>500 Ohm.m) dan sedang (30 Ohm.m s.d. 500 Ohm.m), seperti pada lintasan 3. Pada model tersebut terdapat nilai tahanan jenis tinggi (>500 Ohm.m) yang tersebar di dekat permukaan dan kedalaman 1000 m. Nilai tahanan jenis tinggi yang berada di dekat permukaan tersebar di sekitar titik AMTD-40 dan AMTD-41 dengan ketebalan sekitar 100 m. Nilai tahanan jenis tinggi tersebut diinterpretasikan sebagai bagian dari batugamping Bahbutala yang juga terlihat pada model tahanan jenis AMT 2D lintasan 3. Nilai tahanan jenis tinggi pada kedalaman 1000 m berbentuk seperti kubah yang mengindikasikan adanya batuan resistif di bagian bawah.

Model tahanan jenis AMT 2D lintasan 4 juga memperlihatkan adanya nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm.m) yang tersebar memanjang dari baratdaya hingga ke

timurlaut dengan ketebalan bervariasi dari 300 m sampai dengan 1000 m. Nilai tahanan jenis rendah tersebut diperkirakan berasosiasi dengan batuan piroklastik jenuh air. Batuan piroklastik yang berada pada zona graben diduga telah berubah akibat adanya interaksi dengan fluida panas bumi, sehingga batuan tersebut dapat berperan sebagai batuan penudung pada sistem panas bumi di daerah Dolok Marawa. Di bawah batuan penudung tersebut terdapat nilai tahanan jenis lebih

tinggi (30 Ohm.m s.d. 100 Ohm.m) yang diperkirakan sebagai zona dengan temperatur tinggi (zona prospek). Secara lateral, zona prospek tersebut melebar ke arah baratdaya hingga titik AMTD-34 dan ke arah tenggara hingga AMTD-50 (lihat peta tahanan jenis kedalaman 1000 m, Gambar 5). Zona tersebut dibatasi oleh kontras nilai tahanan jenis tinggi dan rendah di sebelah timurlaut sekitar titik AMTD-38 dan di sebelah barat laut sekitar titik AMTD-20.



Gambar 7. Interpretasi penampang model lintasan 4

KESIMPULAN

Metode AMT dapat digunakan untuk menggambarkan struktur tahanan jenis pada suatu sistem panas bumi yang dangkal. Peta tahanan jenis dari hasil pemodelan AMT 2D memperlihatkan sebaran nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm.m) yang membentang cukup luas, khususnya pada kedalaman 300 m dan 500 m. Nilai tahanan jenis rendah tersebut diduga berasosiasi dengan batuan piroklastik jenuh air.

Hasil pemodelan AMT 2D (lintasan 4) memperlihatkan struktur tahanan jenis yang membentuk suatu graben. Keberadaan graben tersebut ditandai dengan kontras nilai tahanan jenis di sekitar mata air panas Tinggi Raja. Nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm.m) yang terletak pada zona graben diduga sebagai batuan piroklastik yang telah berubah akibat adanya interaksi dengan fluida panas bumi. Batuan piroklastik tersebut memiliki ketebalan sekitar 500 m dan berperan sebagai batuan penudung pada sistem panas bumi Dolok Marawa. Di bawah batuan penudung tersebut terdapat lapisan dengan nilai tahanan jenis lebih tinggi (30 Ohm.m s.d. 100 Ohm.m) yang diperkirakan sebagai zona Mulyadi dan Guntur, B., 1998. *Magnteotelluric Method Applied for Exploration of Geothermal Resources in Sumatra*. Proceedings Twenty-Third Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, California.

bertemperatur tinggi (zona prospek). Secara lateral, zona tersebut melebar ke arah baratlaut sekitar titik AMTD-20 dan ke arah tenggara hingga AMTD-50. Zona tersebut dibatasi oleh kontras nilai tahanan jenis rendah dan tinggi di sebelah baratdaya dan timurlaut, yaitu sekitar titik AMTD-34 dan AMTD-38.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi yang setinggi-tinggi kepada rekan-rekan di Kelompok Penyelidikan Panas Bumi yang telah banyak membantu dan berdiskusi dengan penulis, khususnya anggota tim Survei Gaya Berat dan Audio Magnetotellurik daerah panas bumi Dolok Marawa. Tidak lupa, Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para editor dan mitra bestari yang telah memberikan banyak saran demi kesempurnaan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Johnston, J.M., Pellerin, L., dan Hohmann, G.W., 1992. *Evaluation of Electromagnetic Methods for Geothermal Reservoir Detection*. Geothermal Resources Council Transactions, 16, h. 241-245.
 Rodi, W., Mackie, R.L., 2001. *Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm for 2-D Magnetotellurics Inversion*. Geophysics, 66, h. 174-187.
 Setiawan, D.I., Setiadarma, D., Sundhoro, H., Sulaeman, B., 2006. *Penyelidikan Geologi dan Geokimia*

- di Daerah Panas Bumi Dolok Marawa, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara. Proceeding Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2006 Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Sugianto, A. dan Kristianto, A., 2011. Survei Magnetotellurik Daerah Panas Bumi Kepahiang Kabupaten Kepahiang, Bengkulu. Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun 2011, Bandung.
- Sugianto, A. dan Rahadinata, T., 2015. Pemodelan Gaya Berat Daerah Panas Bumi Dolok Marawa, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara. Buletin Sumber Daya Geologi, Vol. 10, No. 2.
- Sugianto, A., Suhanto, E., dan Marpaung, H., 2010. Survei Magnetotellurik Daerah Panas Bumi Gunung Arjuno-Welirang, Jawa Timur. Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun 2010, Bandung.
- Sundhoro, H., Bakrun, Suryakusuma, D., Sulaeman, B., Situmorang T., 2006. Survei Panas Bumi Terpadu (Geologi, Geokimia, dan Geofisika) Daerah Dolok Marawa, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara. Proceeding Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2006 Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Suryakusuma, D., Situmorang D., Sumarna, Sunarto, Hasanudin, 2006. Penyelidikan Gaya Berat dan Geomagnet Daerah Panas Bumi Dolok Marawa Kabupaten Simalungun, Propinsi Sumatera Utara. Proceeding Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2006 Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Tikhonov, A. N., and Arsenin, V. Y., 1977. *Solutions of ill-posed problems*. V. H. Winston and Sons.
- Uchida, T., 2005. *Three-Dimensional Magnetotelluric Investigation in Geothermal Fields in Japan and Indonesia*. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey.
- Ushijima, K., Mustopa, E.J., Jotaki, H., dan Mizunaga, H., 2005. *Magnetotelluric Soundings in the Takigami Geothermal Area, Japan*. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey.
- Ushijima, K., Tagomori, K., dan Pelton, W.H., 2000. *2D Inversion of VES and MT Data in Geothermal Area*. Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan.
- Vozoff, K., 1991. *The Magnetotelluric Method*. Pada: Mabighian, M.N., *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, vol. 2. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK, h. 641-707.
- Zarkasyi, A., Bakrun, Widodo, S., 2006. Penyelidikan Geolistrik Daerah Panas Bumi Dolok Marawa, Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara. Proceeding Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2006 Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

Diterima	: 25 Agustus 2015
Direvisi	: 5 Oktober 2015
Disetujui	: 26 November 2015

ALTERASI DI SUMUR PENGEBORAN SMN-1 DAN SMN-2 DI DAERAH PANAS BUMI SUMANI, KABUPATEN SOLOK, PROPINSI SUMATERA BARAT

ALTERATION ON SMN-1 AND SMN-2 DRILLING WELLS AT SUMANI GEOTHERMAL AREA, SOLOK REGENCY, WEST SUMATERA PROVINCE

Sukaesih¹, Yuano Rezky¹, Mega F. Rosana², Undang Mardiana²

¹Pusat Sumber Daya Geologi, Jl. Soekarno-Hatta No. 444, Bandung 40254

²Fakultas Teknik Geologi UNPAD, Jl. Dipati Ukur No. 35, Bandung, 40132

SARI

Daerah penelitian berada di lokasi sumur pengeboran SMN-1 dan lokasi sumur pengeboran SMN-2 berada di daerah panas bumi Sumani, Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat. Penelitian dilakukan untuk mengetahui tipe alterasi bawah permukaan dalam lingkungan sistem panas bumi daerah Sumani. Metode yang digunakan adalah melakukan deskripsi megaskopis, mikroskopis dan analisis karakterisasi terhadap batuan inti dari sumur SMN-1 (702 meter) dan SMN-2 (428 meter). Dilakukan juga pengukuran suhu pada sumur SMN-1 dan SMN-2 untuk mengetahui anomali gradien geothermal.

Berdasarkan hasil penelitian diketahui jenis-jenis mineral yang terbentuk dalam batuan bawah permukaan dan tipe ubahan serta korelasi zonasi alterasi bawah permukaan. Mineral ubahan yang dijumpai dalam batuan inti sumur SMN-1 terdiri dari; montmorilonit, smektit, sulfat, silika, halit, hematit, oksida vanadium, arsenat, karbonat, zeolit, illit, pirofilit, klorit, muskovit, dan opal. Mineral ubahan yang terbentuk dalam sumur SMN-2 terdiri dari; kaolinit, montmorilonit, smektit, hematit, posfat, silikat, zeolit dan karbonat. Berdasarkan hasil pengelompokan mineral ubahan yang terbentuk dalam batuan bawah permukaan, sumur SMN-1 didominasi oleh tipe argilik (hingga kedalaman 100 meter) dan tipe propilitik (100-702 meter), sedangkan Sumur SMN-2 merupakan tipe ubahan argilik.

Gradien geothermal dari permukaan hingga kedalaman 700 m di sumur SMN-1 menunjukkan rata-rata 12,86°C/100 meter, sedangkan di sumur SMN-2 diperoleh rata-rata 7 °C/100 meter.

Kata kunci: Alterasi, argilik, propilitik, gradien panas bumi, Sumani

ABSTRACT

The study area is located at the site of SMN-1 well, drilled in the position of mT 677 429 to 9915311 mU (UTM WGS 84, Zone 47s), at elevation of 544 m. Drilling wells SMN-2 is located on the position of mT 679 184 to 9915445 mU (UTM WGS 84, Zone 47s) at elevation of 448 m. This location is in the Sumani geothermal area, Solok Regency, West Sumatera Province. The study was conducted to determine the type of alteration in the subsurface environment of the Sumani geothermal system. The method consists of megascopic description, microscopic analysis and characterization of rock cores from SMN-1 and SMN-2 wells. Temperature measurements in the wells were carried out to determine the geothermal gradient anomalies.

The results revealed the kinds of minerals that formed in the subsurface rocks and alteration types. Mineral alteration encountered in the SMN-1 core consists of montmorillonite (smectite), sulfate, silica, halite, hematite, vanadium oxide, arsenic, carbonate, zeolite, illite, pirophyllite, chlorite, muscovite, and opal. Alteration minerals in SMN-2 core consist of Kaolinite, montmorillonite, smectite, hematite, phosphate, silicate, zeolite and carbonate. Based on grouping, type of alteration in the SMN-1 well is argillic type (down to 100 meters depth) and propylitic type (from 100 to 702 meters depth), while the SMN-2 well is argillic type of alteration.

Geothermal gradient from the surface to a depth of 700 m in the SMN-1 well showed the average of 12.86°C/100 meters, while in the SMN-2 well gained the average of 7°C/100 meters down to 428 m below the surface.

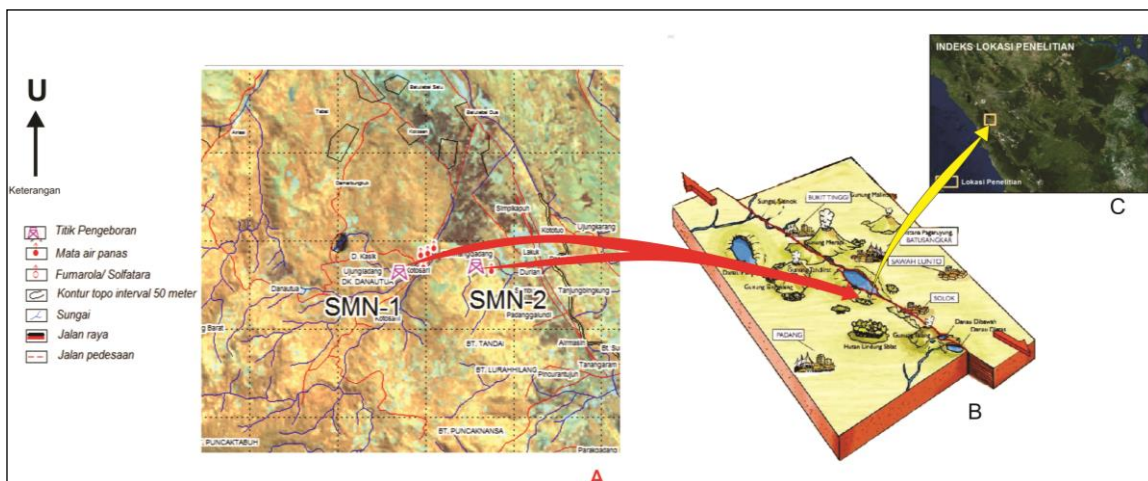
Keywords: Alteration, argillic, propylitic, geothermal gradient, Sumani.

PENDAHULUAN

Panasbumi merupakan suatu sistem geologi yang terdiri dari sumber panas, reservoir, lapisan penudung dan fluida panas. Dengan adanya interaksi yang kompleks dalam sistem tersebut akan menghasilkan mineral-mineral sekunder yang dapat dijadikan sebagai salah satu indikator prospek tidaknya suatu sistem panasbumi. Mineral primer cenderung berubah menjadi mineral sekunder akibat fluida panas (hidrotermal) tergantung pada suhu, permeabilitas, tekanan, komposisi cairan, komposisi awal batuan dan durasi aktivitas hidrotermal. Mineral ubahan hidrotermal dalam lingkungan panasbumi adalah albite, amphibole (actinolite), biotit, kalsit, klorit, kalsedon, epidot, fluorit,

garnet, illite, K-feldspar (adularia), mordenit, sekunder oksida Fe- Ti, sulfida (pirit), titanit (sphene), wairakit, prehnit dan kuarsa, (John Lagat, 2015).

Penelitian berada di lokasi sumur pengeboran SMN-1 pada posisi 677429 mT s.d. 9915311 mU (UTM WGS 84, zona 47S) dan lokasi sumur pengeboran SMN-2 pada posisi 679184 mT s.d. 9915445 mU. Secara administratif daerah panasbumi Sumani berada di Kabupaten Solok Propinsi Sumatera Barat, berjarak sekitar 60 km dari kota Padang (Gambar 1.). Penelitian dilakukan untuk mengetahui mineral ubahan yang terbentuk pada batuan bawah permukaan, tipe ubahan dan zonasi - korelasi sumur SMN-1 dan SMN-2.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di SMN-1 dan SMN-2

GEOLOGI REGIONAL

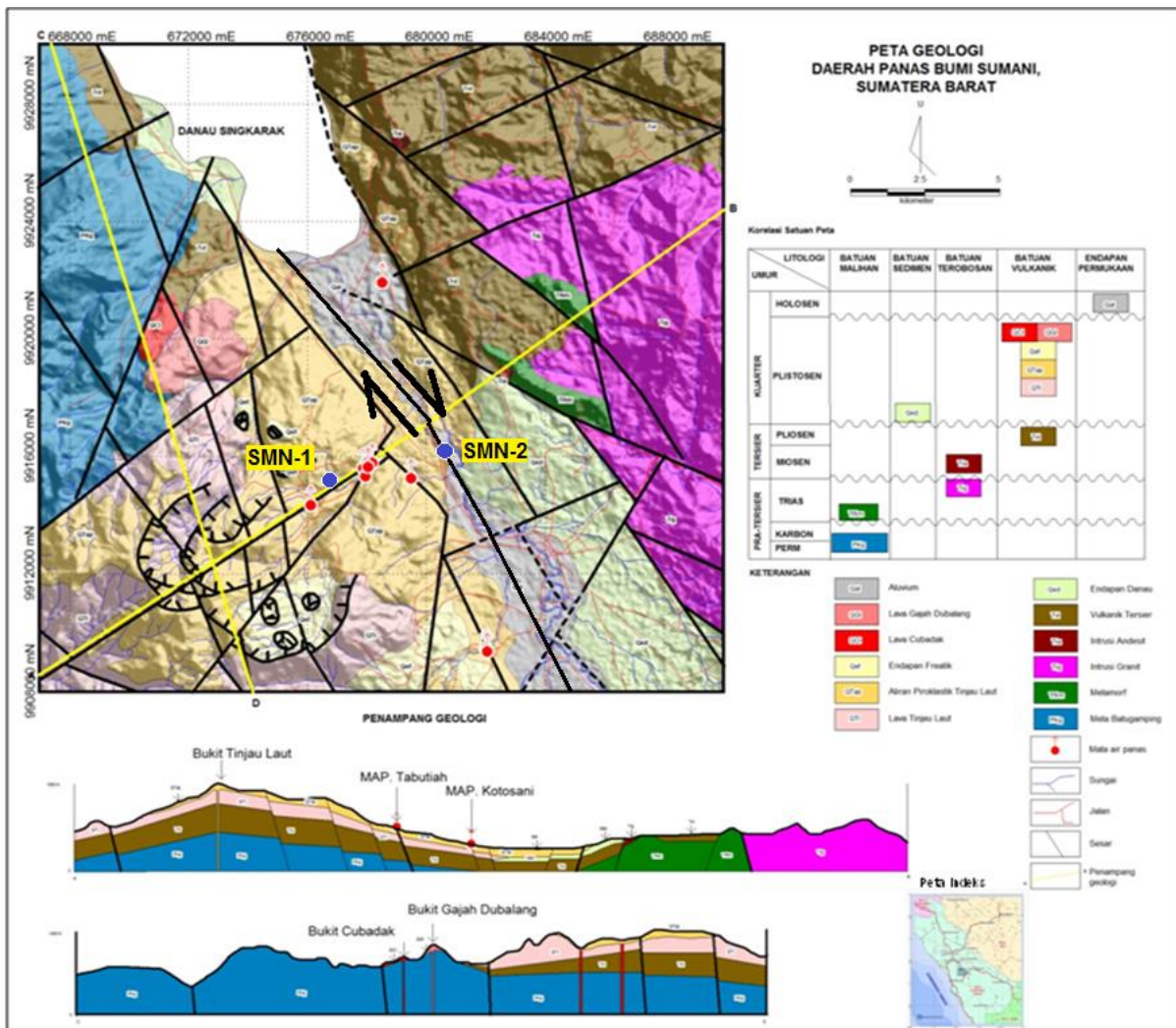
Daerah penelitian termasuk dalam lembar peta Solok, Sumatera Barat (Silitonga dan Kastowo, 1995) dan telah dilakukan penelitian geologi oleh Dudi dkk, PSDG 2011, disebutkan terdapat 12 jenis batuan, secara stratigrafi batuan berumur tua ke muda disusun oleh meta batugamping (PKg), batusabak (TRm), granit (TRig), andesit (Tia), vulkanik Tresier, endapan danau (Qed), lava Tinjau Laut (QTI), batuan piroklastik (QTap), endapan preatik (QeF), lava Cubadak (QCI), lava Gajah Dubalang (QGI), dan aluvium (Qal), (gambar 2).

Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian berarah baratlaut-

tenggara mengikuti sesar Sumatera. Terbentuk sesar-sesar sekunder berupa rim kaldera, rim kawah.

METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian, yaitu melakukan deskripsi megaskopis terhadap batuan inti hasil pengeboran SMN-1 hingga kedalaman 702 meter dan sumur SMN-2 hingga kedalaman 427 meter. Melakukan analisis petrografi terhadap batuan terpilih, melakukan karakterisasi mineral ubahan menggunakan alat *speccTERRA™* melakukan pengolahan data serta interpretasi.



Gambar 2. Peta geologi daerah panasbumi Sumani, (Dudi, dkk, PSDG, 2011)

METODE PENELITIAN

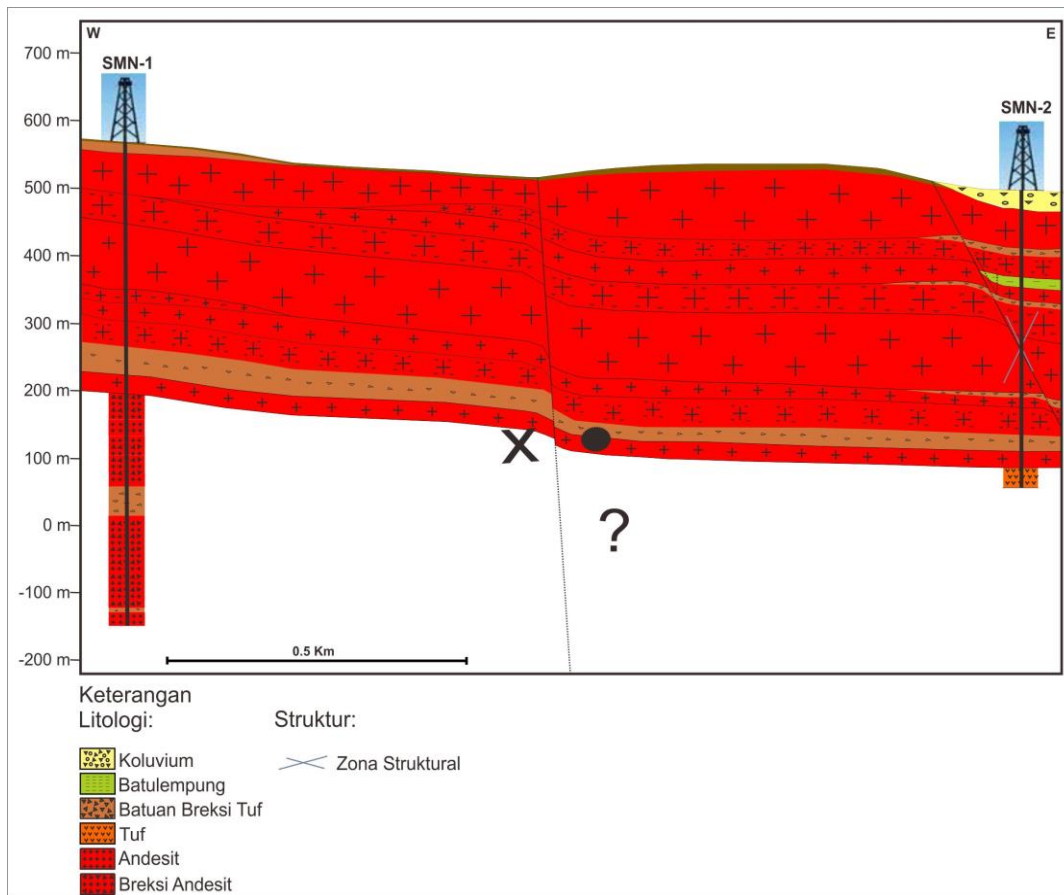
Metode yang dilakukan dalam penelitian, yaitu melakukan deskripsi megaskopis terhadap batuan inti hasil pengeboran SMN-1 hingga kedalaman 702 meter dan sumur SMN-2 hingga kedalaman 427 meter. Melakukan analisis petrografi terhadap batuan terpilih, melakukan karakterisasi mineral ubahan menggunakan alat *speccTERRA™* melakukan pengolahan data serta interpretasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Litologi bawah permukaan berdasarkan deskripsi megaskopis batuan inti dari sumur SMN-1, dari bawah ke atas terdiri dari perselingan lava andesit piroksen,

breksi andesit, breksi tuf, breksi andesit, lava, breksi lava tuffaan, andesit, breksi andesit, breksi tuf, breksi andesit berubah, andesit, breksi lava andesit, andesit berubah, breksi andesit berubah, lava andesit berubah, breksi lava andesit berubah, lava andesit bagian atas berupa breksi tuf. Di sumur SMN-2 litologi hasil deskripsi megaskopis, dari bawah ke atas terdiri dari perselingan tuf, breksi andesit, breksi tuf, breksi andesit, andesit terkekarkan, breksi tuf, andesit terkekarkan, andesit, breksi tuf, andesit, batulempung sisipan batupasir, breksi andesit, andesit, breksi tuf, andesit dan endapan koluvium.

Hasil korelasi litologi bawah permukaan sumur SMN-1 dan SMN-2, dapat dilihat dalam gambar 3.

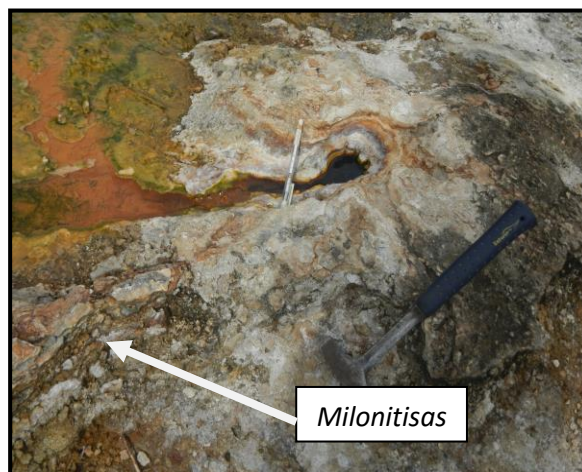


Gambar 3. Korelasi batuan bawah permukaan

Litostartigrafi bawah permukaan di daerah panasbumi Sumani didominasi oleh batuan vulkanik andesit berselingan dengan batuan piroklastik berupa tuf dan breksi tuf. Di sumur SMN-2 terdapat lapisan batulempung bersisipan batupasir, diinterpretasikan keberadaan lapisan batuan sedimen tersebut merupakan

bagian dari endapan sedimen dari daerah graben.

Struktur geologi yang diamati di permukaan berupa breksiasi di sekitar mata air panas karimbia berupa batuan fragmen-fragmen lava andesit dalam masadasar milonit, (gambar 4).



Gambar 4. Milonitisasi, dijumpai di mata air panas Karimbia, berarah timurlaut-baratdaya.

Struktur geologi dapat diamati dari batuan inti di sumur SMN-1 pada kedalaman 236 m - 237 m, banyak dijumpai kekar-kekar

gerus, rekahan dan breksiasi yang sudah terisi oleh mineral kalsit, mineral lempung, oksida besi, zeolit dan kuarsa sekunder.



Gambar 5. Litologi *high fractured* pada kedalaman 236,00 m - 237,00 m, serta merupakan zona milonitisasi

Jenis mineral ubahan yang teridentifikasi pada batuan inti pada sumur SMN-1 hasil deskripsi mikroskopis dan karakterisasi

menggunakan metode Infrared menggunakan instrumen speccTERRA™ dapat dilihat dalam tabel 1.

Tabel 1. Kelompok mineral ubahan di sumur SMN-1

Kode Sampel	Mineral Dominan
SMN-1 7.85- 55.00	● Montmorillonite (Smectite), ● Zeolite ● Phosphate, ● Sulfat, ● Silica Hematite (Oxide), ● Halite, ● Vanadium Oxide ● Carbonate ● Arsenate,
SMN-1 55.00-100,00	● Zeolite, ● Mottramite ● Silicate, ● Hematite ● Vanadium Oxide ● Phosphate ● Cyclosilicate ● Halite ● Carbonate ● Chlorite
SMN-1 106.00-106.55	● Carbonate, ● Calcite ● Acmite ● Calcite, ● Mottramite, ● Almandine ● Zeolite, ● Silicate ● Illite-smectite ● Montmorillonite, ● Chlorite ● Nontronite (Smectite) ● Muscovite ● Hematite, ● Opal (Silicate), ● Halite, ● Pyrophyllite
SMN-1 152.00-195.40	● Silicate, ● Phosphate (Anhydrous) ● Chlorite, ● Calcite, ● Halite (Halide), ● Zeolite, ● Arsenate (Anhydrous) ● Illite ● Montmorillonite(Smectite) ● Sulfate ● Magnetite (Oxide) ● Carbonate ● Silicate
SMN-1 207.10-235.40	● Zeolite, ● Silicate, ● Halite (Halide)
SMN-1 235.00-294.00	● Zeolite ● Magnetite (Oxide), ● Carbonate
SMN-1 317.50-362.50	● Zeolite, ● Illite (Mica-Smectite) ● Percylite (Halide), ● Silicate ● Chlorite (Chlorite),
SMN -1 370.65-400.90	● Carbonate, ● Silicate ● Zeolite ● Chlorite, ● Montmorillonite(Smectite) ● Silicate-Clay
SMN -1 411.15-458.60	● Zeolite, ● Smectite ● Calcite ● Carbonate, ● Silicate ● Montmorillonite ● Sulfate ● Smectite
SMN -1 467.70-501.80	● Chlorite ● Carbonate, ● Mottramite ● Sulfate, ● Smectite, ● Zeolite,
SMN -1 501.40-548.00	● Carbonate, ● Montmorillonite, ● Zeolite, ● Silicate-Clay ● Halite (Halide) ● Phosphate ● Silicate
SMN-1 559.70-599-90	● Smectite, ● Calcite, ● Carbonate, ● Mottramite ● Biotite (Mica), ● Opal (Silicate), ● Hematite ● Smectite, ● Hematite (Oxide), ● Muscovite ● Aragonite (Carbonate), ● Silicate
SMN-1 600.35-657.20	● Muscovite ● Zeolite ● Phosphate (Anhydrous) ● Silicate ● Calcite, ● Carbonate ● Montmorillonite
SMN-1 667.60-691.60	● Silicate-Clay ● Phosphate ● Halit ● Calcite, ● Carbonate, ● Opal (Silicate) ● Zeolite, ● Muscovite (Mica),

Keterangan: Intensitas Ubahan ● < 10% ● 10% - 25% ● 24% s.d 50% ● 50% s.d 75% ● > 75%

Berdasarkan asosiasi dan intensitas ubahan mineral ubahan yang terbentuk dalam sumur SMN-1, dijumpai mineral ubahan yang dominan berupa kaolinit, montmorillonite, smectite, zeolit, asesoris phosphate (alunit) - silika dan sedikit karbonat dan klorit hingga kedalaman 100 meter, sehingga dapat dikelompokkan tipe ubahan Smektit-Zeolit (Corbett & Leach, 1998). Dari kedalaman 100 meter hingga 700 meter dijumpai mineral sekunder

dominan klorit, karbonat, zeolit diikuti oleh mineral sekunder kriptokrystalin silika berupa opal, muskovit, dan mineral opak berupa magnetit berdasarkan Corbett dan Leach (1998) disetarakan dengan tipe ubahan pripilitik.

Hasil deskripsi megaskopis, mikroskopis dan dukungan data karakterisasi oleh instrumen *specTERRA*TM, pada sumur pemboran SMN-2.

Tabel 2. Kelompok mineral ubahan dalam sumur SMN-2

Kode Sampel	Mineral Dominan
SMN-2 49.00-49.25	●Kaolinit ●Montmorillonite (Smectite) ●Phosphate ●Borate
SMN-2 52.50-52.55	●Hematite ●Montmorillonite (Smectite) ●Oxide
SMN-2 61.80-61.85	●Carbonate ●Phosphate, ●Silicate
SMN-2 73.70-73.85	●Hematite (Oxide), ●zeolite ●Oxide
SMN-2 81.90-82.00	●Zeolite ●Phosphate ●Triphylite
SMN-2 91.55-91.80	●Carbonate ●Silicate
SMN-2 106.10-106.20	●Zeolite ●Silicate
SMN-2 184.90-185.00	●Zeolite, ●Silicate
SMN-2 194.70-194.75	●Carbonate ●Montmorillonite (Smectite) ●Silicate
SMN-2 204.00-204.05	●Vanadate ●Montmorillonite (Smectite) ●Zeolite,
SMN-2 214.70-214.80	●Montmorillonite (Smectite) ●Phosphate ●Silicate
SMN-2 223.00-223.25	●Zeolite ●Phosphate ●Triphylite
SMN-2 235.80-235.95	●Zeolite, ●Silicate ●Halide
SMN-2 244.70-244.80	●Silicate ●Acmite
SMN-2 253.20-253.50	●Borate ●Silicate ●Phosphate
SMN-2 288,00-293,20	●Clay Mineral ●Carbonate
SMN-2 350,20-350,30	●Clay Mineral ●Zeolite ●Carbonate
SMN-2 397,80-397,90	●Clay Mineral ●Zeolite
SMN-2 419,00-419,05	●Clay Mineral ●Zeolite ●Hematite (Oxide),

Keterangan: Intensitas Ubahan ● < 10% ● 10% - 25% ● 24% - 50%
● 50% - 75% ● > 75%

Pada sumur SMN-2 jenis mineral ubahan yang terbentuk dari permukaan hingga kedalaman 427 meter merupakan mineral ubahan dominan montmorilonit (smektit), zeolit diikuti mineral ubahan silikat, karbonat, hematit, fosfat, hematit (oksida) dan borat. Berdasarkan Corbett dan Leach (1998), disetarakan dengan tipe ubahan argilik.

Tipe ubahan di sumur SMN-1 dari permukaan hingga kedalaman 702 meter batuan sudah berubah hasil alterasi

hidrotermal dan pengaruh air permukaan. Intensitas ubahan di sumur SMN-1, sebagai berikut :

Mineral lempung, (1- 29% dari total mineral), dijumpai hampir di semua kedalaman terdiri dari jenis smektit ((Na,Ca)(Al,Mg)₆(Si₄O₁₀)₃(OH)₆ - nH₂O) dan montmorillonit (M_x(Al_{4-x}Mg_x)Si₈O₂₀(OH)₄). Kehadiran mineral lempung ini pada batuan vulkanik dan piroklastik berupa breksi tuf sebagai hasil proses argilitisasi terhadap mineral primer

(plagioklas, piroksen, hornblende?) dan gelas vulkanik. Terbentuk dari permukaan hingga kedalaman 650 m. Umumnya terbentuk pada batuan vulkanik dengan intensitas ubahan $10\% < \text{hingga} < 75\%$. Smektit terbentuk pada kondisi fluida dengan pH 5-6 dengan temperatur pembentukan $50^{\circ}\text{-}150^{\circ}\text{C}$. Montmorilonit terbentuk pada suhu 140°C .

Alunit, $\text{KAl}_3((\text{OH})_3(\text{SO}_4)_2$ (1 - 20% dari total mineral), dijumpai pada kedalaman 50 m, dan pada kedalaman 143 m, berwarna putih, mudah hancur, terdapat dalam masadasar, pada kedalaman 143 m berasosiasi dengan karbonat dan kuarsa, bentuk kubik, hasil alterasi hidrotermal dengan batuan vulkanik asam-menengah. Deskripsi mikroskopis menunjukkan alunit yang terbentuk di kedalaman 50 meter berupa agregat-agregat halus, hal ini dapat diinterpretasikan sebagai mineral alterasi yang terbentuk hasil pelapukan (pengaruh dominan air meteorik). Sedangkan pada kedalaman 427 m, teramati berupa mineral dengan bentuk persegi, mengelompok, ini menunjukkan mineral alterasi terbentuk oleh prosen hidrotermal. Berdasarkan klasifikasi Browne, 1989 intensitas ubahan lemah – sedang.

Kalsit, CaCO_3 (1 - 40% dari total mineral), dijumpai hampir di semua kedalaman mulai kedalaman 41 m hingga 700 m. Secara megaskopis teridentifikasi berwarna putih, jernih, hadir sebagai *replacement*, mengisi urat-urat halus dan rongga-rongga batuan. Kalsit terbentuk dengan kadar tinggi pada kedalaman 120 m dan 400 m hingga 580 m, dominan sebagai pengisi rekahan dan mengubah mineral-mineral primer.

Klorit, $\text{Mg}_5\text{Al}(\text{OH})_8\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$ (1 - 40 % dari total mineral), dijumpai hampir di semua kedalaman mulai banyak hadir di kedalaman 93 m, berwarna kehijauan, hadir sebagai *replacement*, mengisi urat-urat halus dan rongga-rongga batuan.

Pirit, FeS_2 (1 - 6 % dari total mineral), dijumpai mulai di beberapa interval

kedalaman dalam jumlah sedikit. Berwarna kuning, sedikit kecoklatan, berbentuk kubus. Kadang hadir pada bagian pinggir *vein* dan mengisi rongga/rekahan di batuan.

Oksida besi, Fe_2O_3 (1 – 30% dari total mineral), dijumpai sebagian besar di batuan vulkanik. Berwarna coklat, sedikit kekuningan, kemerahan. Kadang terdapat pada bagian pinggir fragmen dan mengisi rongga/rekahan di batuan. Hadir sebagai hasil ubahan dari mineral piroksen, plagioklas, dan gelas vulkanik.

Kuarsa sekunder, SiO_2 (1 - 18 % dari total mineral), hadir sebagai hasil ubahan dari masadasar dan fragmen, dijumpai di beberapa interval kedalaman. Mineral kuarsa tampak tidak berwarna, hadir mengisi rekahan berupa urat-urat halus dan mengisi rongga-rongga batuan. Kuarsa sekunder berupa kriptokristalin silika pada kedalaman 660 m, mengisi rekahan berasosiasi dengan kalsit dan klorit.

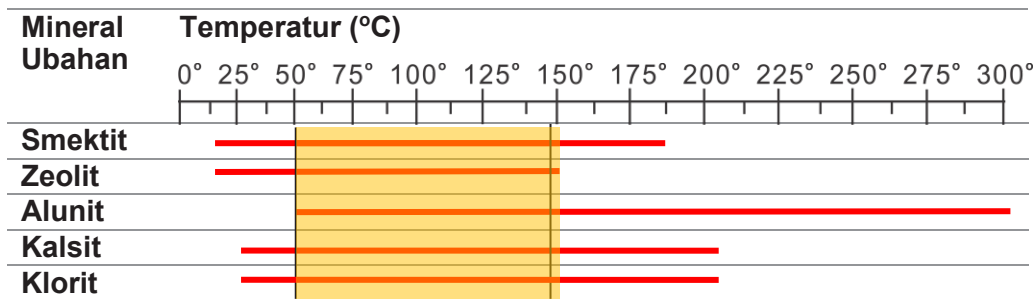
Illit $(\text{OH})_4.\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}.\text{H}_2\text{O}$, (2 - 6% dari total mineral), dijumpai di beberapa interval kedalaman dalam jumlah sedikit, berwarna putih. Hadir sebagai hasil ubahan dari masadasar dan fragmen.

Zeolit $\text{H}_x(\text{Ca},\text{Na})\text{Al}_x(\text{SiO}_2)_y.m\text{H}_2\text{O}$ (1 - 5% dari total mineral), dijumpai hampir setiap kedalaman, terbentuk mulai pada kedalaman 45 m dengan jenisnya stilbit, diinterpretasikan sebagai ubahan dari gelas vulkanik dan sebagai pengisi veinlet bersama kuarsa dan kalsit mengisi rekahan, dan juga sebagai hasil ubahan dari masadasar.

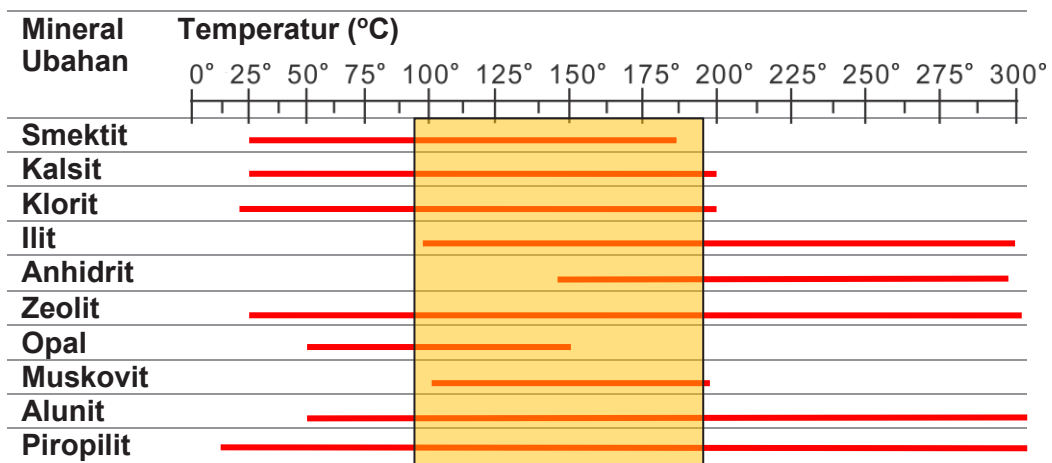
Anhidrit, CaSO_4 , (1-5% dari total mineral), terbentuk pada kedalaman 143 m dengan kadar $< 10\%$.

Penentuan temperatur mineral ubahan yang terbentuk pada sumur SMN-1 mengacu kepada Reyes, 1990 dan Browne, 1999), tertera dalam tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Kisaran temperatur mineral ubahan yang terbentuk dalam sumur SMN-1 pada zona argilik.



Tabel 4. Kisaran temperatur mineral ubahan yang terbentuk dalam sumur SMN-1 pada zona propilitik.



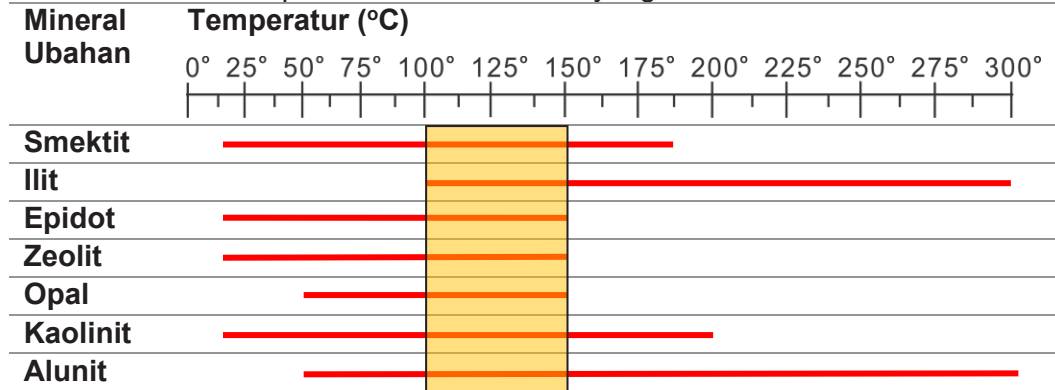
Berdasarkan temperatur pembentukan mineral ubahan dapat disimpulkan bahwa terdapat 2 zona pembentukan tipe ubahan, yaitu :

Zona ubahan tipe arglik, temperatur pembentukan mineral ubahan berkisar antara 50°C hingga 150°C, himpunan mineral ubahan terdiri dari dominan

smektit, zeolit, alunit, sedikit kalsit dan klorit.

Zona ubahan tipe propilitik, temperatur pembentukan mineral ubahan berkisar antara 100°C hingga 200°C, himpunan mineral ubahan terdiri dari smektit, kalsit, klorit, ilit, anhidrit, zeolit, opal, muskovit, alunit dan propolit.

Tabel 5. Kisaran temperatur mineral ubahan yang terbentuk dalam sumur SMN-2



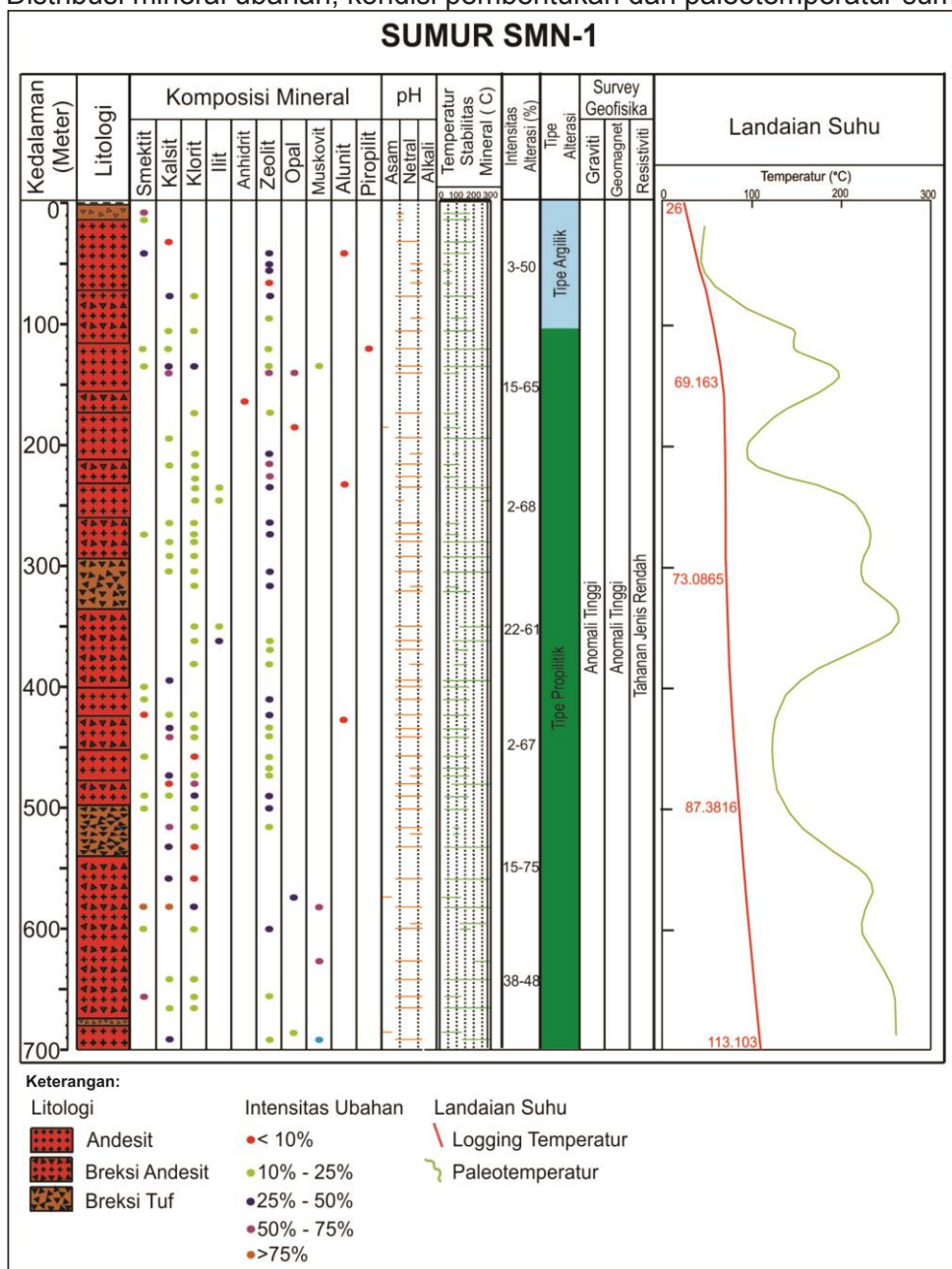
Distribusi mineral ubahan dan temperatur pembentukan mineral ubahan di sumur SMN-2 dijumpai mineral ubahan smektit, illit, zeolit, opal, kaolinit dan alunit membentuk tipe zona argilik bertemperatur 100⁰ C - 150⁰ C.

Hasil karakterisasi mineral ubahan di sumur SMN-1 dan sumur SMN-2 dengan metode *Infrared Mineral Analyzer*, menunjukkan tiap-tiap litologi telah mengalami ubahan hidrotermal dengan distribusi mineral ubahan, kondisi

pembentukan, tipe ubahan, zonasi ubahan dan paleotemperatur serta temperatur saat ini tercantum dalam tabel 6 dan 7.

Zonasi ubahan bawah permukaan di sumur SMN-1 dari permukaan hingga kedalaman 100 meter merupakan tipe ubahan argilik, dari kedalaman 100 m s.d 702 m merupakan tipe ubahan propilitik, dominan disusun oleh mineral ubahan kalsit, klorit dan zeolit dengan intensitas ubahan > 75 %.

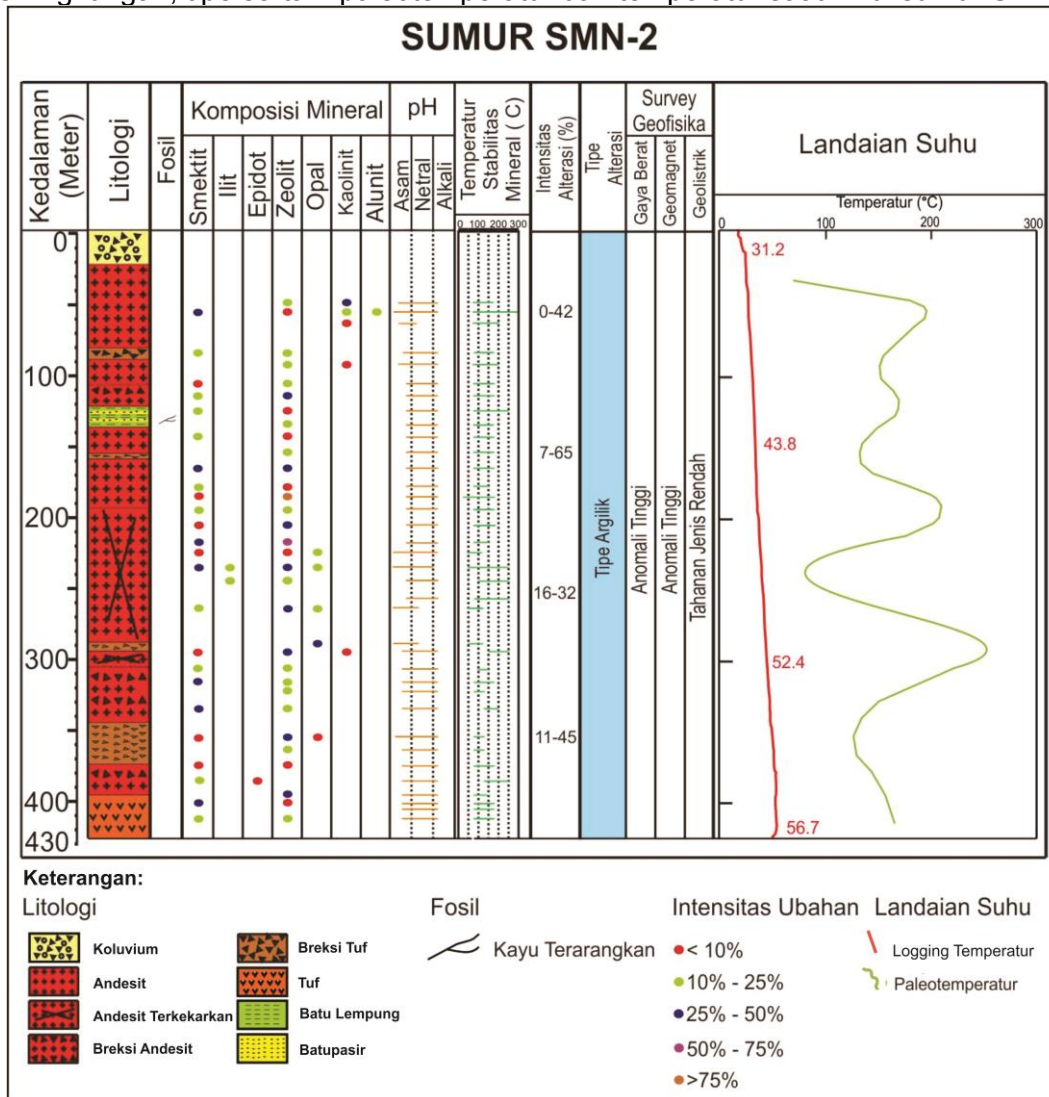
Tabel 6. Distribusi mineral ubahan, kondisi pembentukan dan paleotemperatur sumur SMN-1



Zona alterasi argilik dicirikan dengan melimpahnya distribusi mineral lempung smektit yang disertai dengan kehadiran mineral kalsit dan zeolit (kabazit, stilbit) terbentuk pada kisaran temperatur 50°-140° C. Terdapat pada sumur SMN-1 dengan ketebalan berkisar 100 m. Zona

alterasi propilitik yang dicirikan dengan melimpahnya distribusi mineral klorit, zeolit (kabazit, mordenit, stilbit, heulandit, laumontit) terbentuk pada kisaran temperatur 100°-220° C. Terdapat pada sumur SMN-1 dengan ketebalan mencapai 702 m.

Tabel 7. Distribusi mineral ubahan, intensitas ubahan, kondisi lingkungan, tipe serta paleotemperatur dan temperatur saat ini di sumur SMN-2.



Distribusi mineral ubahan, sumur SMN-2 menunjukkan bahwa zonasi yang terbentuk terdiri dari zona alterasi Smektit-Zeolit. Mineral sekunder yang terbentuk adalah smektit, iilit, epidot, zeolit, opal, kaolinit dan alunit.

Smektit, hadir hampir dalam tiap kedalaman dari kadar < 10% hingga 25%-50 % terdapat pada batuan vulkanik

maupun dalam batuan piroklastik, banyak terakumulasi pada zona batuan terkekarkan pada kedalaman 150 m hingga 250 m.

Iilit, dijumpai pada kedalaman 240 m hingga 250 m dengan kadar rendah - sedang 10% - 25%.

Epidot, dijumpai pada kedalaman 390 m

kadarnya < 10%, diinterpretasikan sebagai fosil mineral alterasi yang terbawa dalam fragmen batuan.

Zeolit, jenisnya khabazit dan mordenit, hadir hampir dalam setiap kedalaman dari kedalaman 50 m hingga 427 m, dengan kadar bervariasi dari < 10% hingga 50% s.d 75%.

Opal, terbentuk mulai dari kedalaman 220 m hingga kedalaman 350 m kadarnya 10% hingga kisaran 20% s.d 50%, umumnya terbentuk pada zona terkekarkan.

Kaolinit, terbentuk pada kedalaman yang dangkal yaitu 50 m hingga 100 m, diinterpretasikan sebagai mineral sekunder terbentuk dengan proses pelapukan (dominan air meteorik).

Alunit, terbentuk pada kedalaman 50 m, dengan kadar <10%, diinterpretasikan terbentuk dalam proses pelapukan.

Litologi di sumur SMN-2 hingga kedalaman 427 m dijumpai mineral ubahan smektit, ilit, epidot, zeolit, opal, kaolinit, alunit, terbentuk pada kondisi lingkungan pH asam hingga netral, membentuk tipe ubahan argilik.

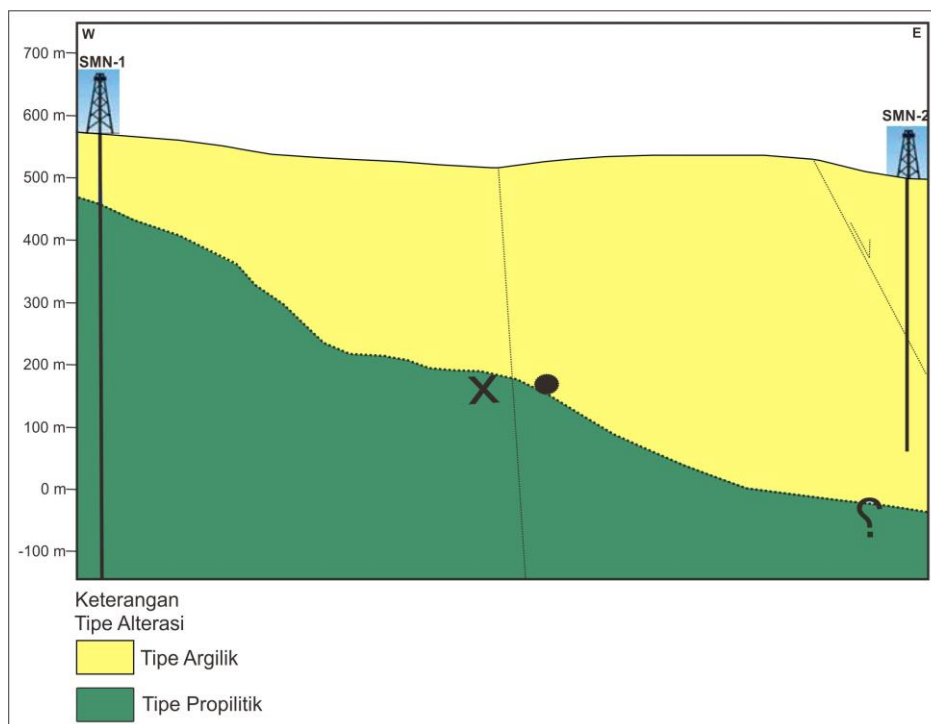
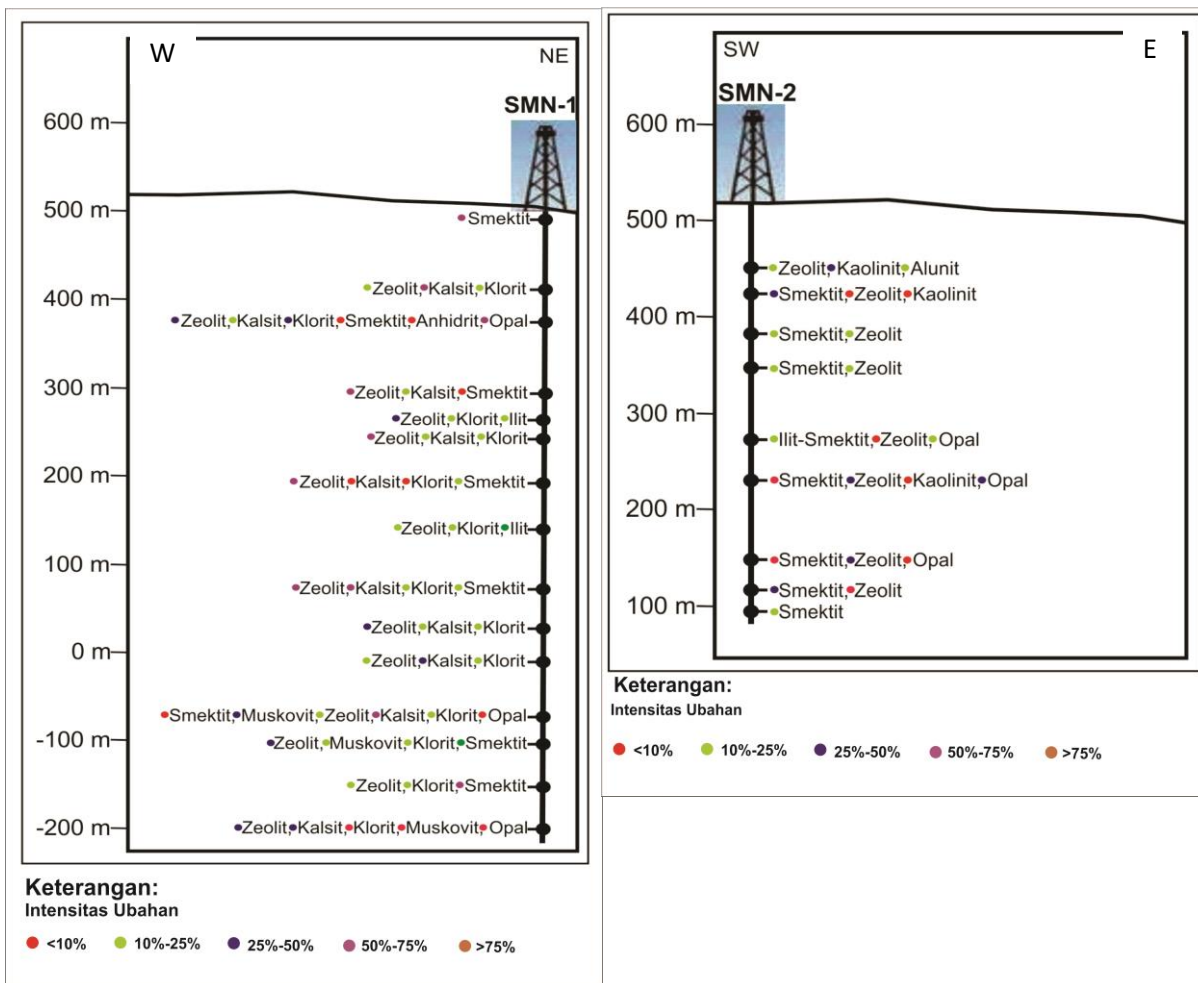
Zona alterasi argilik dicirikan dengan melimpahnya distribusi mineral lempung smektit yang disertai dengan kehadiran mineral kalsit dan zeolit (kabazit, stilbit) terbentuk pada kisaran temperatur

50°-140° C. Terdapat pada sumur SMN-1 dengan ketebalan berkisar 100 m yang menebal hingga kedalaman akhir sumur SMN-2 pada kedalaman 427 m.

Zona alterasi propilitik yang dicirikan dengan melimpahnya distribusi mineral klorit, zeolit (kabazit, mordenit, stilbit, heulandit, laumontit) terbentuk pada kisaran temperatur 100°-220° C. Terdapat pada sumur SMN-1 dengan ketebalan mencapai 600 m, dimana indikasi keberadaan zona alterasi ini tidak ditemukan pada sumur SMN-2.

Korelasi zona ubahan SMN-1 dan SMN-2 tergambar dalam gambar 6, zona ubahan argilik dicirikan dengan melimpahnya distribusi mineral lempung smektit yang disertai dengan kehadiran mineral kalsit dan zeolit (kabazit, stilbit) terbentuk pada kisaran temperatur 50°-140° C. Terdapat pada sumur SMN-1 dengan ketebalan berkisar 100 m yang menebal hingga kedalaman akhir sumur SMN-2 pada kedalaman 427 m. Zona alterasi propilitik yang dicirikan dengan melimpahnya distribusi mineral klorit, zeolit (kabazit, mordenit, stilbit, heulandit, laumontit) terbentuk pada kisaran temperatur 100°-220° C. Terdapat pada sumur SMN-1 dengan ketebalan mencapai 600 m, dimana indikasi keberadaan zona alterasi ini tidak ditemukan pada sumur SMN-2.

Korelasi zona ubahan sumur SMN-1 dan sumur SMN-2 digambarkan pada gambar 6, berikut :



Gambar 6. Korelasi zona ubahan sumur SMN-1 dan sumur SMN-2, Daerah Panasbumi Sumani, Kab. Solok, Prov. Sumatera Barat.

KESIMPULAN

Di Daerah Panasbumi Sumani, stratigrafi bawah permukaan berdasarkan batuan inti hasil pengeboran terdapat ada 4 jenis batuan, yaitu :

- a. Breksi Tuf
- b. Breksi Andesit
- c. Batulempung sisipan batupasir
- d. Andesit

Himpunan mineral ubahan yang terbentuk di batuan bawah permukaan terdiri dari zeolit, klorit, kalsit, alunit, illit, smektit, kaolinit, kuarsa (kalsedon), montmorilonit dan anhidrit. Mineral zeolit, klorit, kalsit, alunit dan smektit terbentuk pada kondisi pH asam hingga netral temperatur rendah 50°C s.d 140°C, sedangkan illit dan serisit terbentuk pada lingkungan pH asam pada temperatur 200°C s.d 300°C.

Asosiasi mineral ubahan pada sumur SMN-1 membentuk zonasi alterasi yaitu zonasi alterasi tipe argilik dari permukaan hingga kedalaman 100 m dan zonasi alterasi tipe propilitik dari kedalaman 100 m hingga kedalaman 702 m. Mineral ubahan pada sumur SMN-2 membentuk zonasi alterasi tipe argilik hingga kedalaman 427 meter.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada Tim Editor dan Tim publikasi Buletin Pusat Sumber Daya Geologi yang telah membantu menyempurnakan dan dimuatnya makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Browne, P.R.L. 1999. *Hydrothermal Alteration. Lecture Handout*. The University of Auckland, Geothermal Institute

Corbett & Leach. 1997. *Southwest Pacific Rim Gold-Copper System: Structure, Alteration and Mineralization. Short Course Manual*. USA: Society of EconomicsGeologist, Inc

Ellis, A.J. dan Mahon, W.A.J. 1977. *Chemistry and Geothermal Systems*, New York: Academic Press.

Guilbert, J.M. dan Park, C.F., JR.1986. *The Geology of OreDeposit*. New York, Oxford: W.H. Freeman.

Henley, R.W. dan Ellis A.J. 1983. *Geothermal Systems Ancientsand Modern: A GeochemicalReview*. Amsterdam:ElsevierScientificPublishing Company

Lagat, J, 2015, Hydrothermal Alteration Mineralogy in Geothermal Fields with Case Examples From Olkario Domes Geothermal Field, Kenya.

Mbia P.K, dkk. 2015. *Sub-surfaceGeology, PetrologyandHydrothermalAlteration of the Menengai Geothermal Field, Kenya: Case Study of Wells MW-02, MW-04* malCongress 2015

Dudi H. 2011. Peta Geologi Daerah Sumani. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.

Anonim. 2011, a. Penyelidikan Geofisika Terpadu Daerah Panas Bumi Sumani. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.

Anonim. 2011, b. Survei Aliran Panas (*Heat Flow*) Daerah Panas Bumi Sumani. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.

Anonim. 2011, c. Survei Terpadu, Geologi, Geokimia dan Geofisika Daerah Panas Bumi Sumani. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.

Reyes, A.G. (2000).*Petrologyand mineral alterationinhydrothermalsystem: FromDiagenesistovolcaniccatastrophes*. Institute of Geologicaland Nuclear Sciences., 10-17

Rybach, L dan Muffler P. 1981. *Geothermal Systems: PriciplesandCaseHistories*. Haboken: John Wileyand Sons

Saptadji, Nenny Miryani. 2009. Karakterisasi Reservoir Panas Bumi. Training Advanced Geothermal Engineering, 6 – 17 Juli 2009. Bandung: Institut Teknologi Bandung

Silitonga, P.H., dan Kastowo. 1995. Peta Geologi Lembar Solok, Sumatera. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi

Diterima	: 4 September 2015
Direvisi	: 1 Oktober 2015
Disetujui	: 17 November 2015

**ANALISIS FAKTOR DAN UNIVARIAT DALAM PENENTUAN POTENSI
MINERALISASI CU, PB, ZN DI HALMAHERA BAGIAN BARAT, MALUKU UTARA**

**FACTOR ANALYSIS AND UNIVARIATE TO DETERMINE Cu, Pb, Zn MINERALIZATION
POTENTIAL IN THE WESTERN PART OF HALMAHERA, NORTH MALUKU**

Reza Mochammad Faisal¹, Soepriadi¹, Mega Fatimah Rosana², Euis Titin Yuningsih²

¹Pusat Sumber Daya Geologi Jl. Soekarno-Hatta No. 444, Bandung 40254

²Program Pascasarjana, FTG-UNPAD Jl. Dipati Ukur No. 35, Bandung, 40132

Email : reza_mfaisal@yahoo.com

SARI

Penelitian geokimia dengan menggunakan metode analisis kandungan unsur dari perconton endapan sungai aktif -80 mesh merupakan salah satu fase awal eksplorasi terutama untuk menemukan cebakan mineral logam. Halmahera bagian barat 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.

Penafsiran data geokimia di wilayah penelitian telah dilakukan dengan pendekatan analisis multivariat yaitu analisis faktor. Diperoleh asosiasi unsur yang berhubungan dengan unsur target Cu, Pb, Zn dengan Co, Fe, Ag dan Au. Litologi daerah penelitian berupa batuan vulkanik berkomposisi andesit dan basalt. Terdapat indikasi mineralisasi berupa sulfida pirit dan batuan terubah yang berupa silisifikasi, propilitisasi dan argilik. Di Halmahera bagian Barat diperkirakan mineralisasi logam yang terbentuk adalah bijih sulfida hidrotermal.

Kata kunci: Geokimia, multivariat, univariat, metalogenik, mineralisasi.

ABSTRACT

Geochemical research using the analysis method of -80 mesh of active stream sediment samples is one of the early phase of exploration, especially in finding out metallic mineral deposits. Western part of Halmahera, with its complex geologic setting and served as metallogenic region, is being potential to form metallic deposits, which create some variation and interesting geochemical performances. The geochemistry of stream sediment data in the form of elements distribution map represents basic important information of mineralization indications to follow detail research.

Geochemical interpretation of the data in the study area had been carried out with the approach of multivariate analysis namely factor analysis, The result shows that element association of Cu, Pb, Zn are correlated to the target of Co, Fe, Ag and Au. Lithology in the research area is composed of andesite and basalt. Mineralization is indicated by pyrite sulphide and alteration is by silicification, propylitic and argillic. In the western part of Halmahera it is estimated that metal mineralization type is hydrothermal sulfide ore.

Keywords: Geochemistry, metallogenic, mineralization, multivariate, univariate.

PENDAHULUAN

Penelitian geokimia merupakan salah satu tahapan kegiatan awal eksplorasi mineral logam. Data dan informasi hasil kegiatan ini sangat diperlukan sebagai bahan pertimbangan untuk mendeliniasi zona-zona anomali unsur logam mulia dan logam dasar untuk ditindaklanjuti dengan tahapan kegiatan selanjutnya.

Maksud kegiatan penelitian geokimia ini adalah untuk melakukan pengambilan contoh sedimen sungai aktif, sari dulang dan batuan termineralisasi di daerah penelitian. Adapun tujuannya adalah untuk mengetahui penyebaran unsur-unsur kimia logam dari contoh yang diambil dan zona-zona anomali unsur logam Cu, Pb, Zn serta daerah prospek, mineragrafi dan mineral berat sebagai data penunjang.

Secara fisiografis daerah Halmahera Bagian Barat terletak di Mandala Halmahera Barat bagian utara dan lengan selatan Halmahera. Morfologi Mandala berupa perbukitan yang tersusun atas batuan sedimen, pada batugamping berumur Neogen dan morfologi karst dan di beberapa tempat terdapat morfologi kasar yang merupakan cerminan batuan gunung api berumur Oligosen yang dikenal sebagai tempat kedudukan sebaran mineral logam dasar dan mulia di dalam batuan gunungapi berdasarkan penyebaran mineralisasi dan jenis mineralisasi terkait dengan jalur magmatik (Sunuhadi, 2012).

Di wilayah Akelamo yang merupakan tambang emas rakyat terlihat urat kuarsa masif mengandung pirit halus menerobos batuan lava andesitik Formasi Bacan. Urat kuarsa memiliki warna putih kotor hingga coklat, setempat lapuk, struktur yang dijumpai umumnya berupa *vuggy*. Hasil pengukuran menunjukkan arah urat utara selatan. Batuan alterasi pada umumnya adalah berupa silisifikasi, propilitisasi sebagian argillik. (Sudarya dan Faisal, 2007).

Secara administratif lokasi penelitian dan pengambilan 153 contoh sedimen sungai aktif berada di wilayah 3 Kabupaten yaitu

Kabupaten Halmahera Utara, Kabupaten Halmahera Barat dan Kota Tidore Kepulauan, Provinsi Maluku Utara (Gambar 1).

METODOLOGI

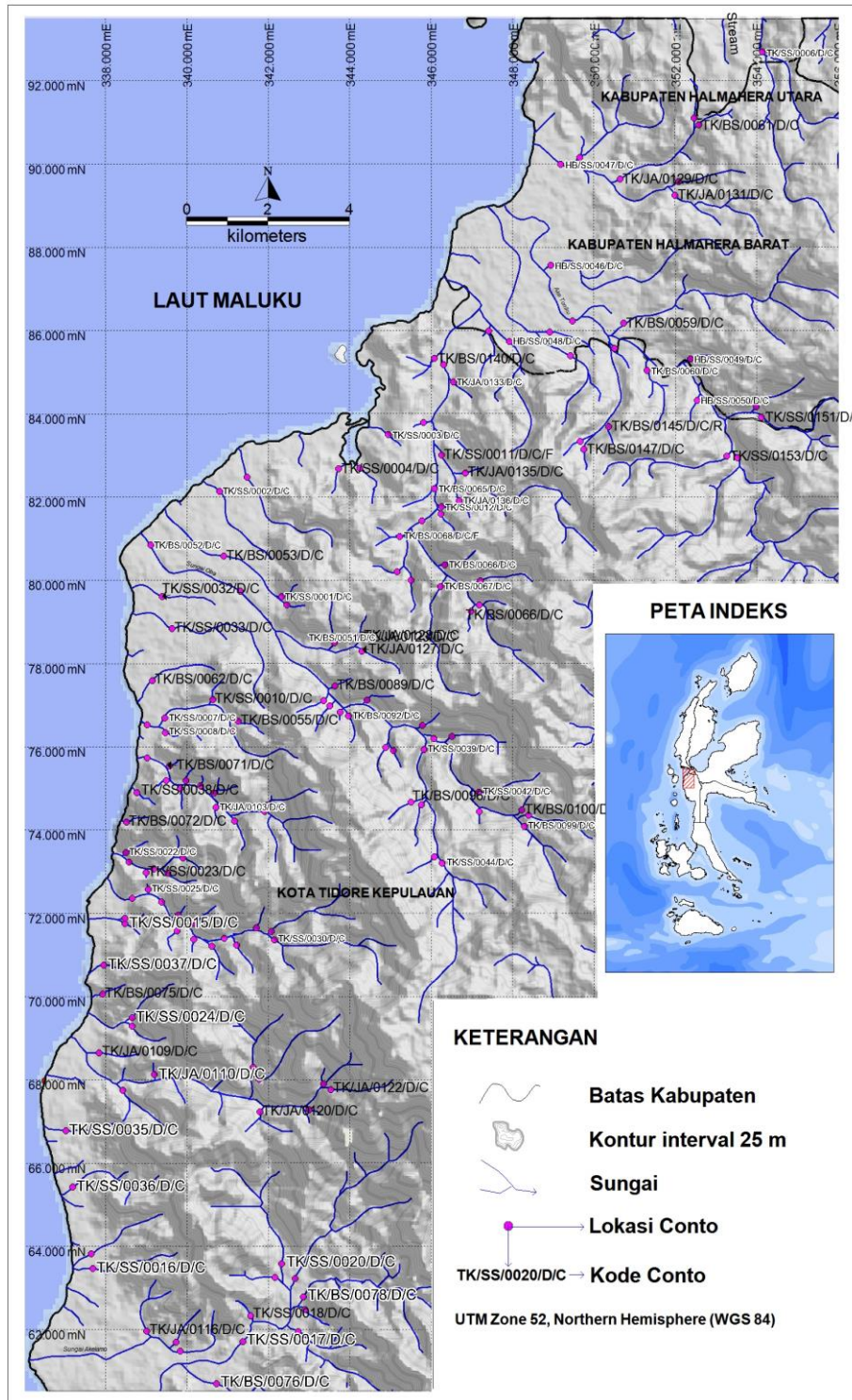
Metoda penelitian yang dilakukan adalah penelitian geokimia sedimen sungai dan batuan. Analisis laboratorium yang dilakukan adalah analisis kimia dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*), metode ini mampu mendeteksi secara simultan beberapa unsur yang dilarutkan dengan asam nitrat seperti Cu, Pb, Zn, Co, Mn, Ag, Li, K, Fe, Cr dan Au terhadap 153 contoh sedimen sungai (Gambar 1).

Pengolahan data dari hasil analisis laboratorium disajikan dalam bentuk sebuah peta anomali. Pada peta akan terlihat sebaran logam dasar dengan kadar yang diperoleh dari contoh geokimia sedimen sungai aktif, dimana pengolahan secara statistika menggunakan metode univariat dan multivariat. Tahap pengolahan data geokimia, diperoleh informasi dalam bentuk peta sebaran unsur tunggal maupun peta hubungan antar unsur. Pengolahan dilaksanakan untuk memperoleh gambaran tentang perilaku serta sebaran unsur, ringkasan statistik berikut grafik histogramnya. Dari sini didapat nilai latar belakang, anomali, dan estimasi tentang populasi unsurnya.

Digunakan program SPSS, untuk mencari anomali unsur dan hubungan multi unsur/kekerabatan melalui analisis univariat dan multivariat yaitu analisis faktor. Analisis faktor secara statistik adalah untuk menggambarkan hubungan-hubungan kovarian antara beberapa variabel yang mendasari tetapi tidak teramati, kuantitas random yang disebut faktor (Johnson & Wichern, 2002). Tujuan analisis faktor adalah menggunakan matriks korelasi hitungan untuk mengidentifikasi jumlah terkecil dari faktor umum, Interpretasi dari faktor umum dan estimasi faktor skor dan grafik *scree plot* (Subash Sharma, 1996). Secara matematis skor faktor merupakan

pengganti konsentrasi-ppm berdasarkan hubungan linear anggota faktor, analisis bertujuan untuk memisahkan kekerabatan unsur ke dalam sejumlah kelompok yang dapat diinterpretasikan secara lebih detail Khaleelee (1966)

dalam Ghazali dkk (1986) untuk memudahkan di dalam pembacaan serta penafsiran hasil pengolahan data yang sekaligus juga untuk menentukan daerah penelitian yang akan ditindak lanjuti.



Gambar 1. Peta lokasi conto endapan sungai aktif di Halmahera Bagian Barat, Maluku Utara

GEOLOGI REGIONAL

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

Batuan tertua di Halmahera bagian barat yaitu Formasi Bacan (Tomb) terdiri dari breksi, lava dan tuf bersusunan andesit dan basalt, setelah pengendapan sejak Eosen Akhir hingga Oligosen Awal, kegiatan gunungapi terjadi selama Oligosen Atas-Miosen Bawah. Batuan gunungapi Formasi Bacan ini tersebar luas baik di Mandala Halmahera Timur maupun di Mandala Halmahera Barat. Setelah terjadi rumpang dalam pengendapan selama Miosen Bawah bagian atas, terbentuklah cekungan luas yang berkembang sejak Miosen Atas sampai Pliosen. Pada cekungan ini diendapkan batupasir berselingan dengan napal, tufa, konglomerat dan batugamping yang membentuk Formasi Weda (Tpw), Pengangkatan terjadi pada zaman Kuartar sebagaimana ditunjukkan oleh batugamping terumbu di pantai daerah lengan timur Halmahera.

Batuan sedimen dan Karbonat berumur Miosen-Pliosen tersebar luas di Mandala ini, kebanyakan sedimennya bersifat tufaan. Selain itu di utaranya ditemukan pula batuan gunungapi Kuartar yang masuk ke dalam Formasi Kayasa (Qpk) terdiri dari batuan gunungapi berupa lava dan breksi dan aluvium endapan pantai (Qa) terdiri dari lempung, lanau, pasir dan gravel.

Struktur lipatan berupa sinklin dan antiklin dijumpai pada Formasi Weda (Tpw) yang berumur Miosen Tengah-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 3 (tiga) satuan morfologi yaitu satuan morfologi pedataran ditutupi sekitar 20% endapan pantai : lempung,

lanau, kerikil dan pasir, dan \pm sekitar 80% termasuk Formasi Bacan: breksi, lava, napal tuf, konglomerat dan batugamping menempati bagian barat daerah penyelidikan memanjang utara selatan dengan ketinggian 0 – 75 meter di atas permukaan laut. Satuan perbukitan bergelombang menempati bagian utara daerah penelitian dengan ketinggian 100 – 500 meter di atas permukaan laut dengan aliran sungai mengalir dari timur ke barat. Satuan ini ditutupi oleh endapan aluvium dan breksi dari Formasi Kayasa. Lava dan tuf bersusunan andesit dan basal. Satuan perbukitan tinggi, dengan ketinggian berkisar dari 500 – 975 m di atas permukaan laut. Daerah perbukitan tinggi ini ditutupi oleh batupasir, napal, tuf, konglomerat dan batugamping (Formasi Weda).

HASIL DAN ANALISIS

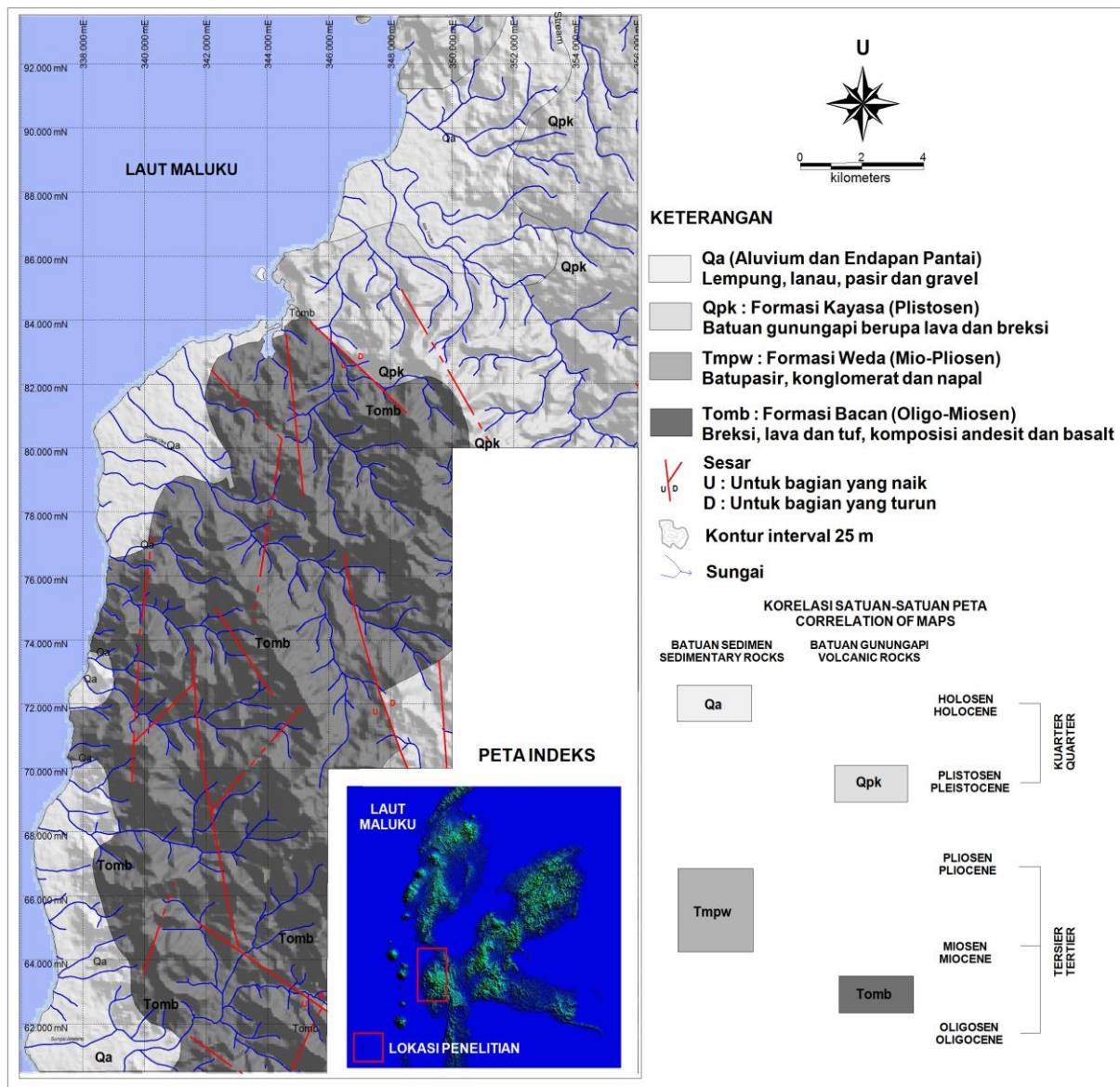
Kondisi geologi daerah penyelidikan yang hampir 70% ditempati oleh batuan vulkanik terdiri Formasi Bacan dan Formasi Kayasa berumur Tersier-Kuartar. Analisis petrografi dari singkapan berupa tuf pada titik TK/BS/0096 R di cabang kanan Sungai Oba, menunjukkan tekstur piroklastik, berbutir halus hingga berukuran 1,0 mm, bentuk butir menyudut – menyudut tanggung, disusun oleh sedikit fragmen batuan, fragmen plagioklas, biotit, mineral opak dan kuarsa di dalam masadasar gelas (Gambar 3).

Hasil petrografi lainnya berupa batuan andesit di titik TK/JA/0145 R di cabang kanan Sungai Ake Toniku, menunjukkan tekstur porfiritik dan glomeroporfiritik, berbutir sangat halus hingga berukuran 2,5 mm, bentuk anhedral – subhedral, disusun oleh fenokris plagioklas, piroksen, mineral opak di dalam masa disusun oleh fenokris plagioklas, piroksen, mineral opak di dalam masa dasar mikrolit plagioklas, kriptokristalin dan gelas (Gambar 4).

Hasil analisis mineragrafi conto dari lokasi TK/BS/0099/R di cabang kanan Sungai Oba, mineral logam yang teridentifikasi adalah pirit. Pirit, berwarna putih kekuningan, berbutir sangat halus

(< 0,05 mm) hingga halus ($\pm 0,12$ mm), bentuk anhedral, bersifat isotrop, tersebar tidak merata dalam massa batuan. *Hidrous Iron Oxide*, berwarna abu-abu dengan refleksi dalam dominan merah, terdapat menggantikan pirit melalui pinggir (gambar 5). Dari hasil pemeriksaan contoh mineral berat menunjukkan komposisi mineral (%) yang menonjol dan memberikan arti terhadap indikasi pembentukan mineralisasi berupa pirit.

Pirit berwarna kuning pucat, kilap metalik, bentuk butir kubik–menyudut tanggung, merupakan salah satu mineral indikator untuk pembentukan mineralisasi *hydrothermal sulfides ores*. Hasil pemeriksaan mineralogi butir menunjukkan adanya pirit meskipun tidak terlalu menonjol secara komposisi di lokasi TK/SS/0045/C, TK/SS/0068/C, TK/SS/0099/C, TK/SS/0135/C, TK/SS/0143/C dan TK/SS/0154/C (Gambar 6).



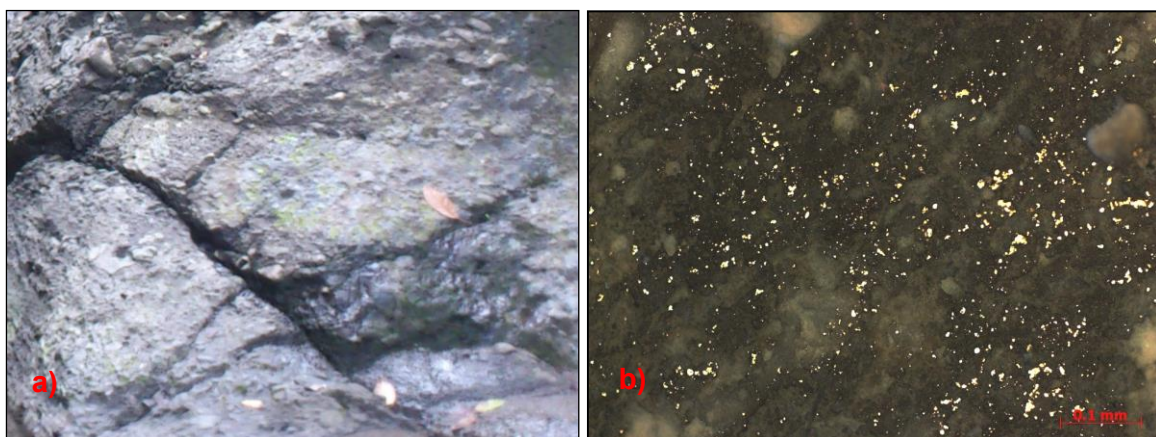
Gambar 2. Peta geologi regional Halmahera Bagian Barat, Maluku Utara (Modifikasi Apandi & Sudana, 1980)



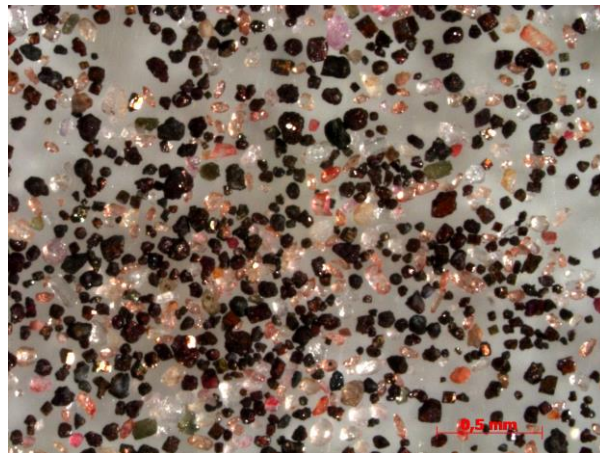
Gambar 3. a) Singkapan tuf gunungapi lokasi TK/BS/0096 R di cabang kanan Sungai Oba dan b) hasil fotomikrograf kristal vitric tuf



Gambar 4. a) Singkapan andesit lokasi TK/JA/0145 R di cabang kanan Sungai Ake Toniku dan b) hasil fotomikrograf andesit



Gambar 5. a) Singkapan tuf gunungapi lokasi TK/BS/0096 R di cabang kanan Sungai Oba dan b) hasil fotomikrograf sayatan poles, pirit sangat halus



Gambar 6. Mineral berat TK/SS/0045/C mineral, Amfibol, Zirkon, Piroksen Pirit

Berdasarkan analisis statistik univariat 11 unsur logam lebih di fokuskan kepada tiga unsur yaitu Cu, Pb dan Zn. Ringkasan statistik geokimia endapan sungai aktif (Tabel 1). Membandingkan kesamaan ciri geokimia dan geologi tersebut, pada penelitian ini dengan cara pemodelan menggunakan sistem informasi geografis dan statistik. Penentuan kelas geokimia untuk

mendapatkan daerah peninggian nilai kandungan unsur sebagai indikasi anomali menurut Rose dkk. (1979) dalam Ghazali dkk. (1986) Menghitung dengan rumus nilai rata-rata ditambah antara dua atau tiga kali nilai simpangan baku, terhadap unsur Cu, Pb dan Zn sehingga diperoleh ringkasan 4 kelas interval unsur dengan rumus (tabel 2).

Tabel 1. Ringkasan statistik geokimia conto endapan sungai aktif Cu, Pb, dan Zn

Unsur	Rata-Rata (ppm)	Standard Deviasi (ppm)	Jumlah Analisis	Min (ppm)	Maks (ppm)	Rata-Rata
						Pada Kerak Bumi (ppm) (Rose,1979) (Berkman, 2001).
Cu	47.79	21.885	153	8	116	5
Pb	22.87	24.064	153	6	299	12
Zn	75.76	26.396	153	32	181	130

Tabel 2. Ringkasan kelas interval conto endapan sungai aktif Cu, Pb, dan Zn

Unsur	Kelas Interval			
	1	2	3	4
Cu (ppm)	91.57 - 116	80.62 - 91.56	69.68 - 80.61	< 69.67
Pb (ppm)	71 - 299	58.97 - 70.99	46.94 - 58.96	< 46.93
Zn (ppm)	128.55 - 181	115.36 - 128.54	102.16 - 115.35	< 102.15

Tembaga (Cu)

Kandungan unsur Cu rata-rata 47,79 ppm, dengan kisaran 8 ppm sampai dengan 116 ppm, simpangan baku 21,88 ppm. Terdapat dua kandungan unsur Cu yang tinggi yaitu 115 ppm pada titik lokasi TK/BS/0081/D/C di cabang kanan Sungai Simake, Desa Oba, Kecamatan Oba Utara, dan

kandungan Cu 116 ppm pada titik lokasi TK/SS/0024/D/C di sebelah utara Desa Somahode, Kecamatan Oba Tengah. Daerah dengan konsentrasi unsur Cu yang tinggi dan cukup luas sebarannya adalah di daerah sebelah selatan dan baratdaya penelitian yaitu wilayah Oba Utara, Oba Tengah dan Guraping dengan sebaran kelas interval tertinggi antara 80.62 – 91.56

ppm dan antara 91.57 - 116 ppm, dimana anomali tertinggi berada di wilayah batuan gunungapi berumur Oligo-Miosen dan aluvium yang diperkirakan akibat adanya perpindahan unsur yang berasal dari batuan gunungapi yang masuk kedalam Formasi Bacan, serta dikontrol struktur regional berarah utara-selatan (Gambar 7).

Timbal (Pb)

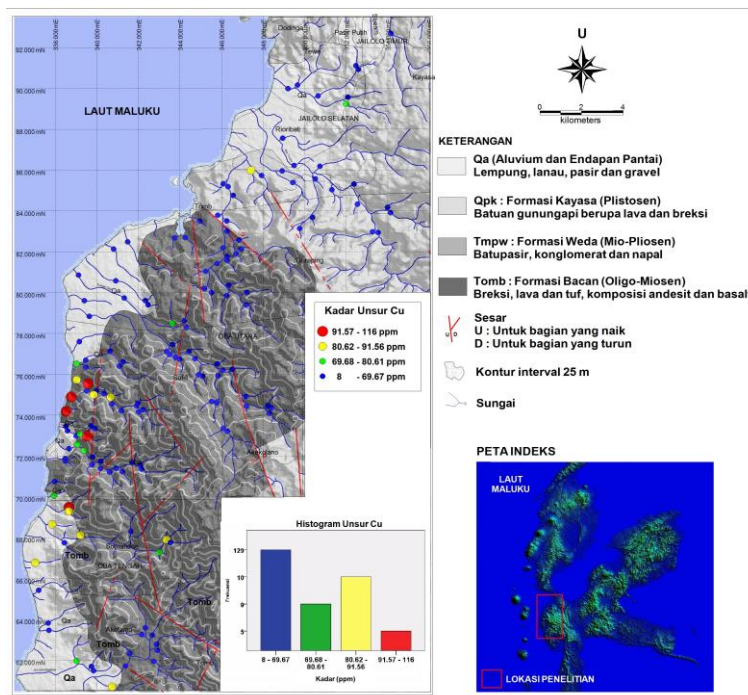
Kandungan unsur Pb rata-rata 22,87 ppm, dengan kisaran 6 ppm sampai dengan 299 ppm, simpangan baku 24,06 ppm. Terdapat dua kandungan unsur Pb yang tinggi yaitu 70 ppm di Sungai Somahade sebelah timur, Desa Somahade, Kecamatan Oba Tengah, dan kandungan Pb 299 ppm pada cabang kanan sungai Oba sebelah barat Sofifi, Kecamatan Oba Utara.

Daerah dengan konsentrasi tinggi hanya terdapat di beberapa titik dengan sebaran kelas interval tertinggi antara 58,97 – 70,99 ppm dan antara 71 - 229 ppm, dimana batuan penyusun yang berada di lokasi ini berupa batuan gunung api berumur Oligo-Miosen dengan komposisi andesit dan basalt termasuk ke dalam Formasi Bacan (Gambar 8).

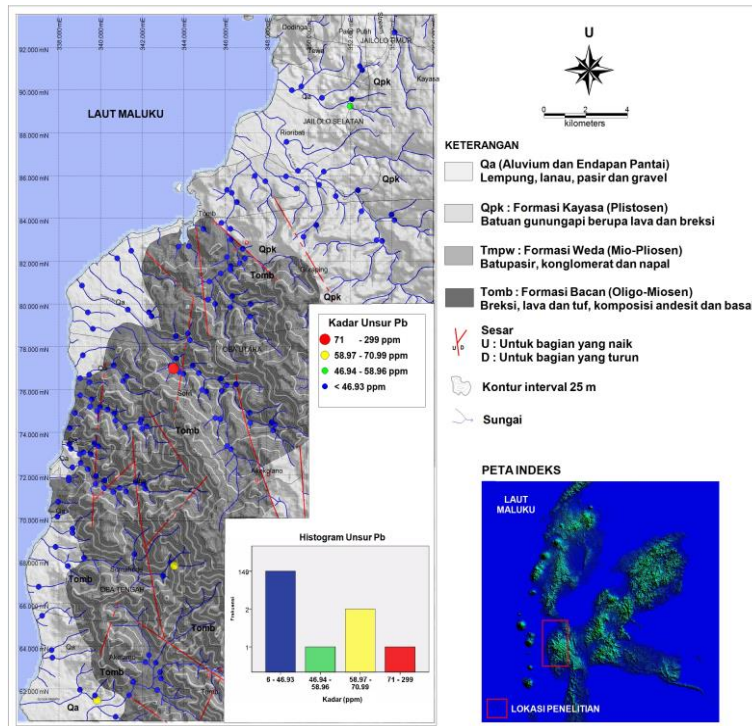
Seng (Zn)

Kandungan unsur Zn rata-rata 75,76 ppm, dengan kisaran 32 ppm sampai dengan 181 ppm, simpangan baku 26,39 ppm. Terdapat dua kandungan unsur Zn yang tinggi yaitu 167 ppm di cabang kanan Sungai Oba sebelah tenggara, Kecamatan Oba Utara, dan kandungan Zn 181 ppm pada titik di sebelah utara Sofifi, Kecamatan Oba Utara, (Gambar 9).

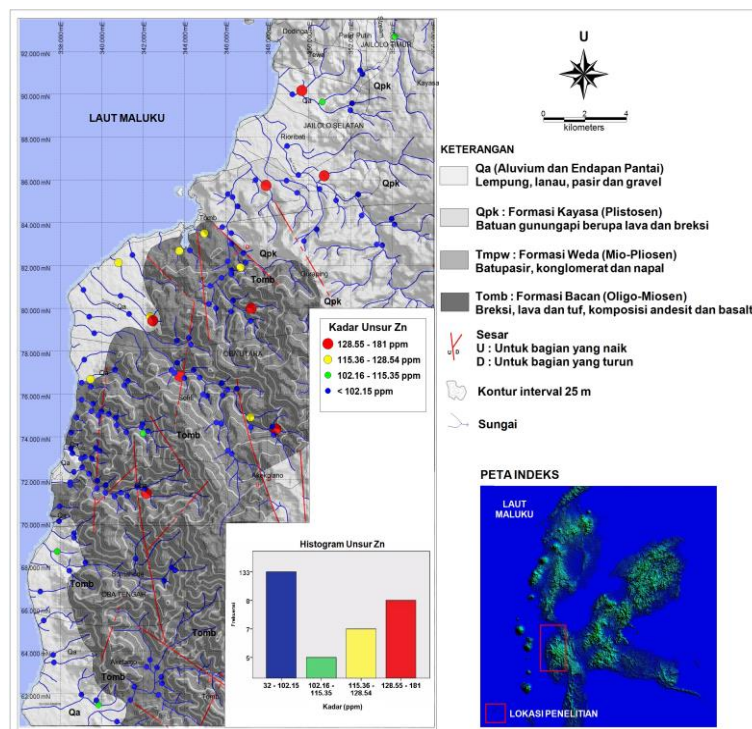
Berdasarkan hasil analisis sebaran unsur Zn yang bernilai tinggi dengan interval 128,55 – 181 ppm, tersebar di delapan (8) titik yang tersebar di sebelah utara yaitu daerah Jailolo Selatan yang didasari oleh batuan vulkanik intermediet (Formasi Kayasa) dan aluvium berumur Kuartar, yang diperkirakan mengalami dispersi unsur dari batuan gunungapi (Qpk). Sedangkan wilayah bagian selatan daerah penelitian diperoleh anomali unsur Zn tertinggi, dimana wilayah ini didasari oleh batuan gunungapi Tersier yang termasuk ke dalam Formasi Bacan serta dikontrol struktur regional secara umum berarah baratlaut-baratdaya dan timurlaut-tenggara.



Gambar 7. Peta geologi dan sebaran unsur tembaga (Cu) dalam conto endapan sungai aktif di Halmahera Bagian Barat, Maluku Utara



Gambar 8. Peta geologi dan sebaran unsur timbal (Pb) dalam conto endapan sungai aktif di Halmahera Bagian Barat, Maluku Utara



Gambar 9. Peta geologi dan sebaran unsur seng (Zn) dalam conto endapan sungai aktif di Halmahera Bagian Barat, Maluku Utara

Pengolahan statistik multivariat untuk menentukan adanya asosiasi unsur di daerah penelitian menggunakan analisis korelasi dan analisis faktor. Berdasarkan

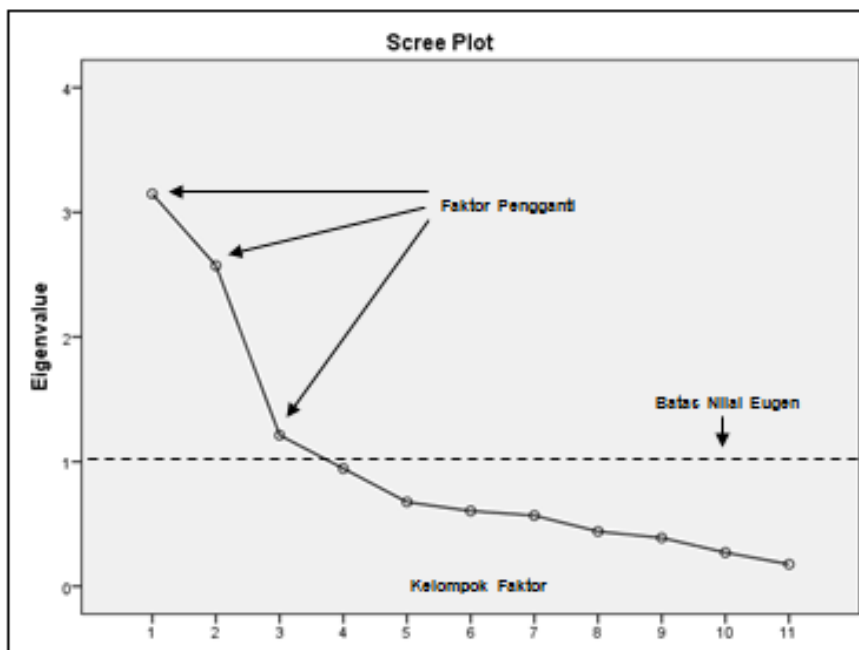
sedimen sungai aktif sebanyak 153 sampel dianalisis kandungan kimia sebanyak 11 jenis unsur yaitu Cu, Pb, Zn, Co, Mn, Ag, Li, K, Fe, Cr dan Au.

Dalam menentukan analisis faktor dapat dilihat dari jumlah faktor yang akan ditampilkan sebagai faktor pengganti perlu ditelaah "eigenvalues" yang dapat diartikan sebagai bobot nilai. Penentuan faktor pengganti diambil dari nilai eigenvalues yang bernilai ≥ 1 atau dapat dilihat dari plot scree test (Gambar 10).

Faktor pengganti diperlihatkan oleh garis penghubung berlereng curam pada batasan eigenvalues ≥ 1 , selanjutnya untuk mengetahui variabel-variabel yang menjadi anggota dari faktor pengganti

tersebut dengan cara menganalisis koefisien korelasi faktor (Tabel 3) yaitu nilai-nilai koefisien faktor antara variabel-variabel dengan faktor pengganti, karena pada umumnya komponen korelasi yaitu faktor pengganti dan unsur ≤ 30 maka batasan nilai signifikan menjadi tinggi, dalam hal ini ditetapkan ≥ 0.5 . Dari hasil analisis statistik yang terintegrasi dengan peta kekerabatan unsur, diperoleh pengelompokan sebagai berikut :

- a. Faktor 1 : Cu-Co-Ag-Li-K-Cr
- b. Faktor 2 : Zn-Co-Mn-Fe-Au
- c. Faktor 3 : Pb-Ag



Gambar 10. Grafik scree plot test

Tabel 3. Skor faktor dari 3 faktor pengganti

Unsur	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
Cu	0.811	-0.011	0.112
Pb	-0.035	0.041	0.782
Zn	-0.169	0.823	0.14
Co	0.5	0.752	0.019
Mn	-0.045	0.614	0.359
Ag	0.624	0.161	0.505
Li	0.807	-0.152	-0.17
K	0.771	-0.095	0.013
Fe	0.104	0.846	-0.033
Cr	0.538	0.346	-0.369
Au	-0.196	0.511	-0.221

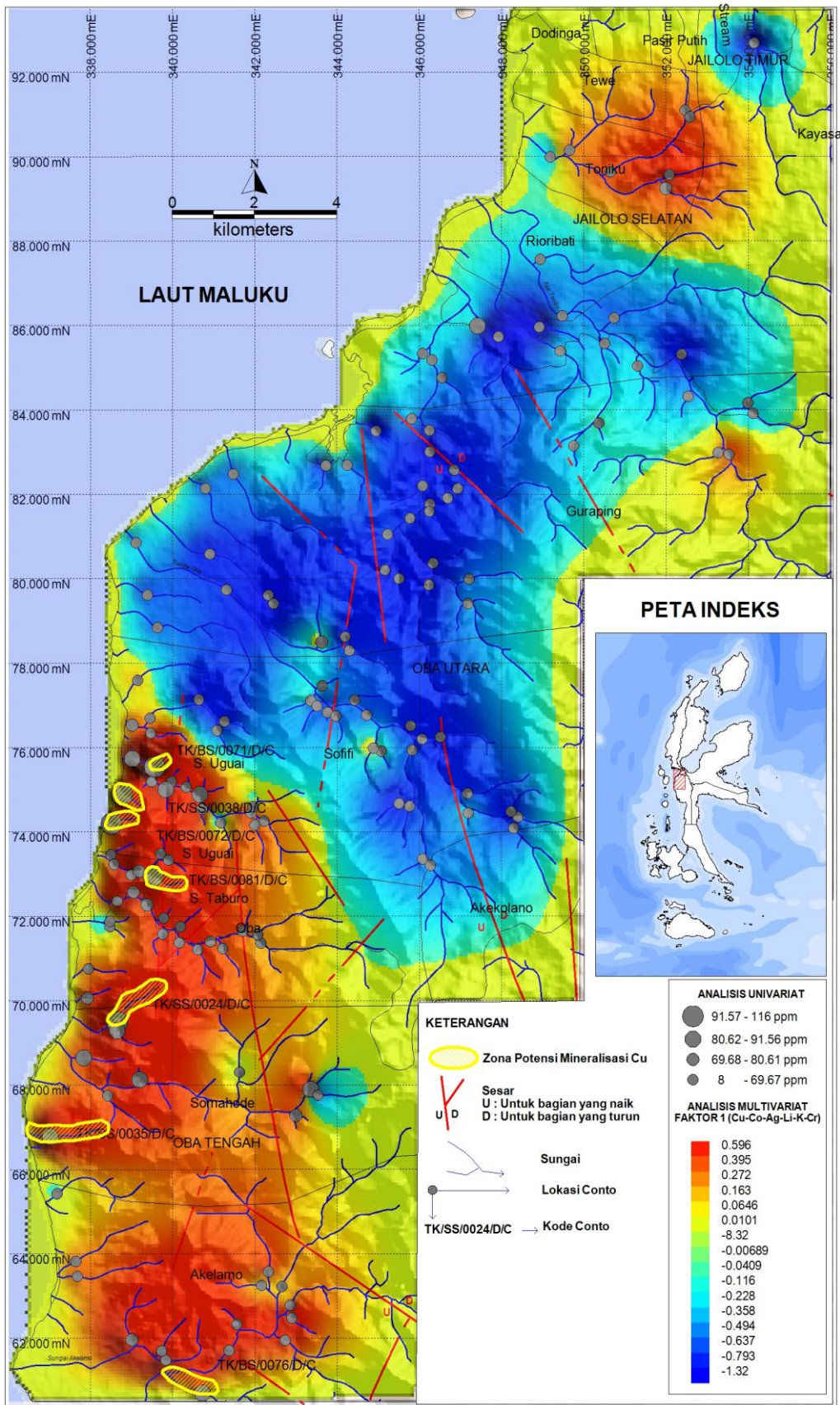
Hasil analisis dari penggabungan unsur tunggal (*univariate*) berupa pola sebaran anomali unsur Cu, Pb, Zn dan unsur jamak (*multivariate*) terhadap unsur lainnya yaitu Co, Mn, Ag, Li, K, Fe, Cr dan Au sebagai penguat data untuk melihat pengelompokan unsur. Pengelompokan ini dipetakan dalam bentuk sebaran interpolasi dan kelompok faktor yang terdiri dari skor faktor diperoleh asosiasi :

Faktor 1 : Cu-Co-Ag-Li-K-Cr, wilayah peninggian faktor 1, pola sebaran peninggian anomali umumnya berada di bagian tengah barat ke selatan wilayah penelitian Kota Tidore Kepulauan, kemungkinan asosiasi antar unsur Cu-Ag tersebut berhubungan dengan jenis batuan gunungapi berumur Tersier hingga Kuartar diperoleh 7 daerah potensi mineralisasi Cu (Gambar 11).

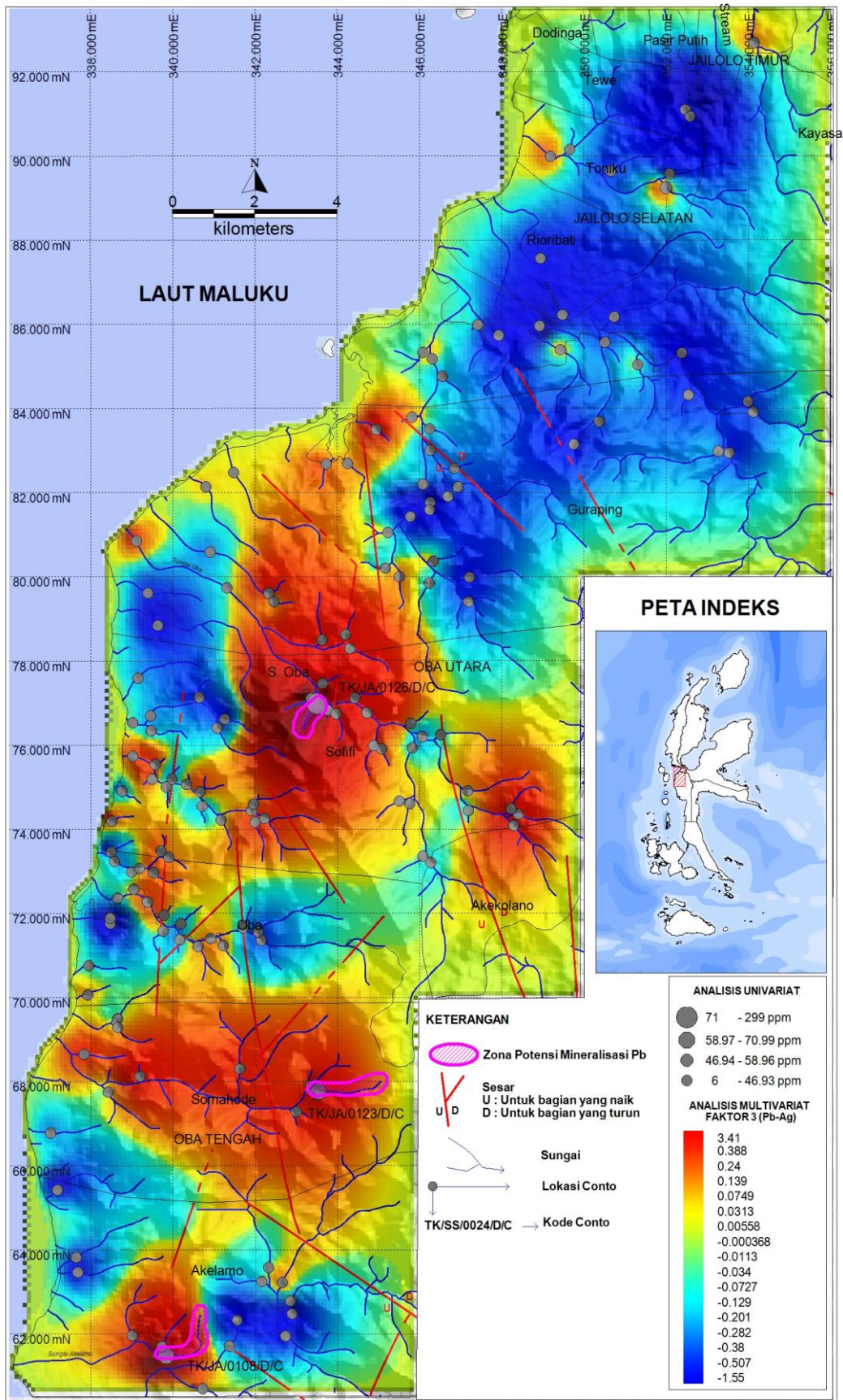
Faktor 2 : Zn-Co-Mn-Fe-Au, wilayah peninggian faktor 2, pola sebaran multi unsur terkuat berada di bagian utara tepatnya di Kabupaten Halmahera Barat yang dikontrol litologi batuan gunungapi berumur Kuartar, dan sebagian tersebar

di bagian tengah barat wilayah penelitian yang termasuk ke dalam wilayah Kota Tidore Kepulauan. Peninggian tersebut diperkirakan berkaitan dengan mineralisasi sulfida, yaitu dengan dijumpainya urat kuarsa mengandung logam mulia dan logam dasar, serta berdasarkan hasil analisis mineragrafi pada batuan tuf TK/BS/099R ditemukan sulfida pirit dan berdekatan dengan batuan terubah berupa silifikasi, propilitisasi dan argilik. Di bagian utara daerah penelitian, diperoleh delapan daerah potensi mineralisasi Zn (Gambar 12).

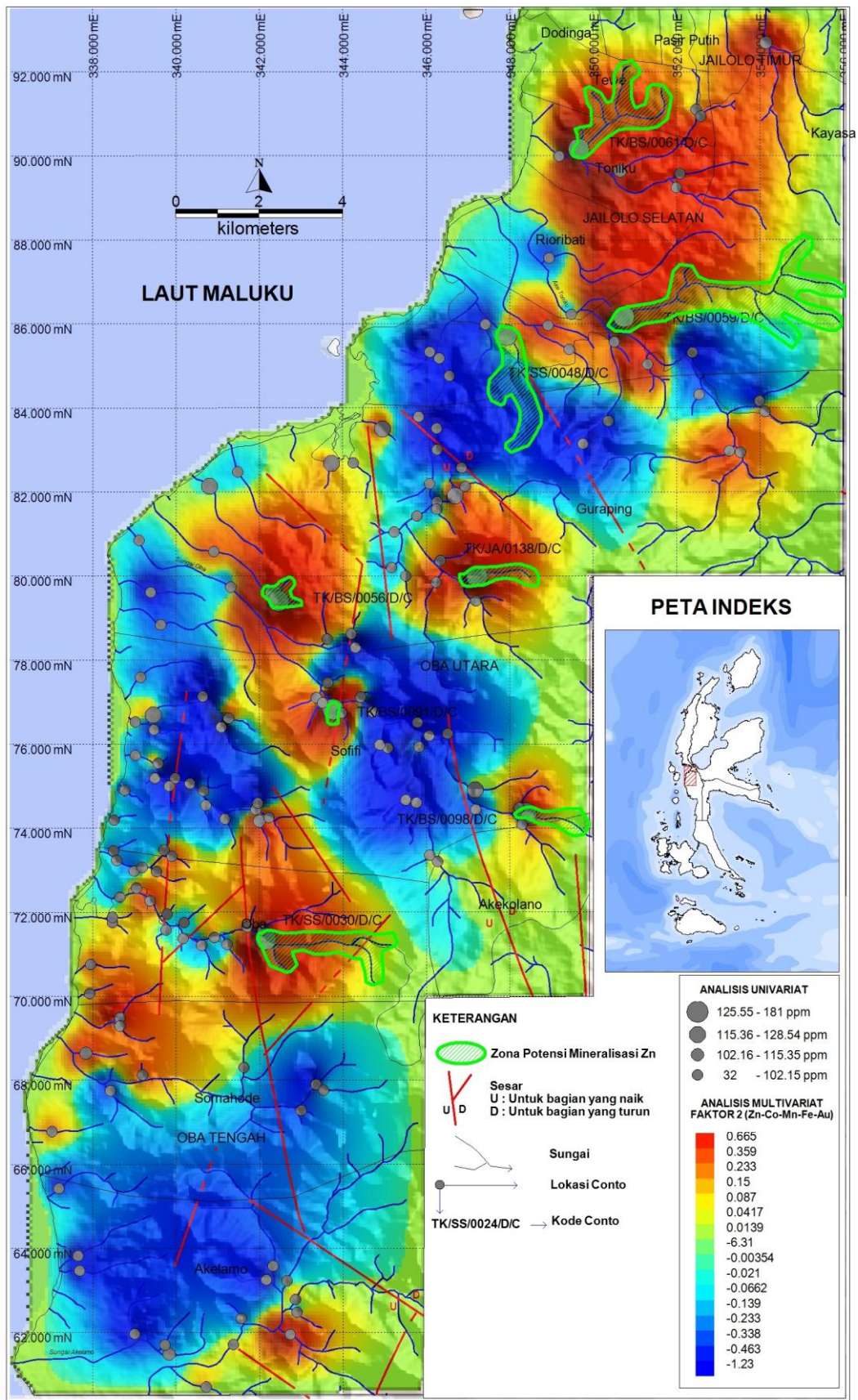
Faktor 3 : Pb-Ag, wilayah peninggian faktor 3, pola sebaran peninggian Pb-Ag berada di bagian tengah barat ke arah selatan wilayah penelitian yang masuk ke dalam Kota Tidore Kepulauan, dimana pola sebaran peninggian cenderung mengikuti pola struktur geologi, sebagai indikasi adanya kontrol litologi batuan gunungapi berumur Tersier-Kuartar, diperoleh 3 potensi mineralisasi Pb (Gambar 13).



Gambar 11. Peta sebaran unsur Cu, Faktor 1 (Cu-Co-Ag-Li-K-Cr), dan potensi mineralisasi Cu, Daerah Halmahera Bagian Barat, Maluku Utara



Gambar 12. Peta sebaran unsur Pb, Faktor 3 (Pb-Ag), dan potensi mineralisasi Pb, Daerah Halmahera Bagian Barat, Maluku Utara



Gambar 13. Peta sebaran unsur Zn, Faktor 2 (Zn-Co-Mn-Fe-Au), dan potensi mineralisasi Zn, Daerah Halmahera Bagian Barat, Maluku Utara

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah penelitian termasuk ke dalam Mandala Halmahera Barat yang merupakan jalur mineralisasi logam dasar berumur Oligosen-Miosen. Batuan penyusun didominasi oleh batuan gunungapi terdiri dari breksi, lava dan Tufa yang bersifat andesitik dan basal berumur Tersier dan Kuartar, dengan struktur lipatan berupa sinklin dan antiklin berarah utara-selatan, timurlaut-baratdaya, dan baratlaut-tenggara.

Potensi mineralisasi Cu di wilayah penelitian berdasarkan penggabungan data anomali unsur tunggal yang digabungkan dengan analisis multivariat faktor 1 (Cu-Co-Ag-Li-K-Cr) diperoleh ikatan unsur Cu dengan Ag diperkirakan berhubungan dengan litologi batuan gunungapi berumur Tersier yang masuk kedalam Formasi Bacan. Diperoleh daerah potensi mineralisasi berada pada *catchment area* sebanyak 7 lokasi yaitu 4 lokasi berdekatan dengan lokasi TK/SS/0023/D/C di Cabang Sungai Simake, TK/SS/0038/D/C dan lokasi TK/BS/0071/D/C di Sungai Uguay dan lokasi TK/BS/0072/D/C di Sungai Tuguwae yang masuk ke dalam wilayah Kecamatan Oba Utara, 3 lokasi TK/SS/0024/D/C wilayah Somahade, TK/SS/0035/D/C wilayah Kecamatan Oba dan TK/BS/0076/D/C di Sungai Ragi yang berada pada aluvium dan endapan pantai ditafsirkan akibat kontaminasi dari sekitar lokasi pengambilan contoh.

Potensi mineralisasi unsur Pb di wilayah penelitian berdasarkan penggabungan data anomali unsur tunggal atau univariat yang digabungkan dengan analisis multivariat diperoleh ikatan faktor 3 : Pb-Ag diperoleh ikatan unsur Pb dengan Ag yang diindikasikan ada ikatan unsur yang berhubungan dengan litologi batuan gunungapi berumur Tersier yang masuk kedalam Formasi Bacan diperoleh *catchment area* sebanyak 3 lokasi. Titik TK/JA/0126/D/C di cabang di kanan Sungai Oba dengan anomali tertinggi 229 ppm dikontrol oleh struktur berarah utara-selatan daerah Sofifi Kecamatan Oba

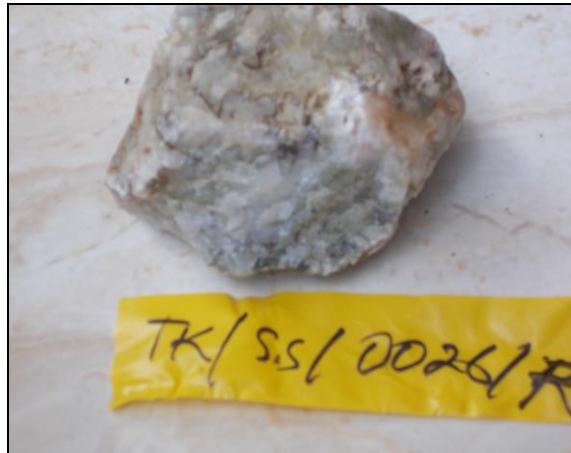
Utara, lokasi titik lokasi kedua yaitu di TK/JA/0123/D/C dengan nilai anomali 70 ppm, titik lokasi ketiga yaitu di TK/JA/0108/D/C berada wilayah Kecamatan Oba Tengah penelitian dengan nilai konsentrasi unsur yaitu 62 ppm ditafsirkan dipengaruhi oleh kontaminasi endapan pantai di sekitar lokasi pengambilan contoh karena berada di wilayah aluvium.

Potensi mineralisasi unsur Zn di daerah penelitian berdasarkan penggabungan data anomali unsur tunggal atau univariat yang digabungkan dengan analisis multivariat diperoleh ikatan faktor 2 (Zn-Co-Mn-Fe-Au) diperoleh ikatan unsur Zn dengan Fe, Co dan Au yang diperkirakan berhubungan dengan litologi batuan gunungapi berumur Tersier-Kuartar yang masuk ke dalam Formasi Bacan dan Formasi Kayasa diperoleh *catchment area* sebanyak 8 lokasi. Empat lokasi *catchment area* berada di wilayah Formasi Bacan yaitu lokasi TK/BS/0091/D/C dengan nilai anomali unsur Zn tertinggi 181 ppm TK/BS/0098/D/C di cabang kanan Sungai Oba dengan nilai 167 ppm berdekatan dengan contoh mineragrafi TK/BS/0099/D/C ditemukan mineralisasi sulfida pirit pada batuan andesit tersilikifikasi, lokasi TK/SS/0030/D/C yang dikontrol oleh struktur berarah utara-selatan dan TK/JA/0138/D/C termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Oba Utara. Lokasi HB/SS/0048/D/C yang masuk kedalam Formasi Kayasa berumur Kuartar dengan nilai anomali 153 ppm termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Jailolo Selatan. Sedangkan dua lokasi berikutnya yaitu TK/BS/0059/D/C dan TK/BS/0061/D/C berada di bagian utara wilayah Kecamatan Jailolo Selatan dan HB/SS/0048/D/C wilayah Oba Kecamatan Oba Utara dengan batuan penyusun aluvium dan endapan pantai ditafsirkan dipengaruhi oleh kontaminasi dari sekitar lokasi pengambilan contoh.

Berdasarkan hasil analisis geokimia batuan tuf termineralisasi berupa urat kuarsa pada titik TK/SS/0026/R dengan koordinat 339759.31 mE, 71582.26 mN di

cabang kanan Sungai Taburo diperoleh unsur Cu 1920 ppm, sedangkan unsur lainnya Pb 6 ppm, dan Zn 64 ppm (Gambar 14). Indikasi mineralisasi untuk pembentukan logam Cu, Pb dan Zn berdasarkan penggabungan hasil analisis data geokimia yang tercerminkan dari asosiasi unsur di lingkungan permukaan

diperlihatkan dengan hubungan kuat antara Cu, Pb, Zn serta asosiasi Co, Fe, Ag dan Au yang dihubungkan dengan kondisi geologi regional daerah penelitian yaitu gunungapi berupa breksi, tuf dan lava dengan komposisi andesit dan basalt yang diperkuat oleh hasil petrografi.



Gambar 14. Batuan tuf termineralisasi Pirit TK/SS/0026/R

KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis anomali geokimia dan pola sebaran anomali unsur Cu, Pb dan Zn yang dihubungkan dengan kekerabatan atau hubungan antar unsur dari Cu, Pb, Zn, Co, Mn, Ag, Li, K, Fe, Cr dan Au diperoleh tiga kelompok unsur yaitu ikatan unsur Cu-Co-Ag-Li-K-Cr, Zn-Co-Mn-Fe-Au, dan Pb-Ag, akan tetapi tidak semua asosiasi unsur bisa dihubungkan dengan litologi yang berkembang di wilayah penelitian berupa gunungapi berumur Tersier-Kuarter sehingga diperoleh asosiasi Cu-Ag, Pb-Ag dan Zn-Fe-Co-Au. Dari integrasi data diperoleh indikasi potensi mineralisasi di 11 lokasi, yaitu :

1. Potensi Cu (80,62-116 ppm), diperoleh 4 daerah potensi yaitu Somahade, Simake, Uguay, Tuguwae.
2. Potensi Pb (58,97-299ppm), diperoleh 2 daerah potensi yaitu Sofifi dan Somahade.
3. Potensi Cu (115,36-181 ppm), diperoleh 5 daerah potensi yaitu Sofifi, Taburo, Mungarepe, Oba dan Kayasa.

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. & Sudana, D., 1980. *Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara*, : Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Berkman, D.A., 2001. *Field Geologist' Manual*. Victoria: The Australian Institute of Mining and Metallurgy
- Ghazali, S.A, Muchjidin, Hariwidjaja, 1986. *Penyelidikan Geokimia Endapan Sungai, Metoda dan Teknik*, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
- Johnson, N. And Wichern, D., 1998. *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

- Levinson, A.A., 1974, *Introduction to Exploration Geochemistry*, Applied Publishing Ltd., Alberta Canada.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E. & Webb. J.S., 1979, *Geochemistry in Mineral Exploration*, Academic Press, London.
- Sharma, S., 1996. *Applied Multivariate Techniques*, New-York: John Wiley & Sons, Inc.
- Sudarya,S & Faisal, R., 2007. *Inventarisasi Mineral Logam Di Kabupaten Halmahera Selatan dan Kota Tidore Kepulauan, Provinsi Maluku Utara*. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Sunuhadi, D.N., 2012. Tahapan Eksplorasi Mineral Logam (SNI). *Panduan Praktis Penyelidikan Mineral*. Bab 9. 171-178. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Soepriadi, Sulaeman, Junaedi, J., Budiharyanto K., Nurdin, A., Sukardi, 2015. *Survei Geokimia Regional Bersistem Lembar Ternate A Di Pulau Halmahera, Provinsi maluku utara*. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

Diterima	: 15 September 2015
Direvisi	: 12 Oktober 2015
Disetujui	: 12 November 2015

**ORIENTASI INTI BATUAN HASIL PEMBORAN PADA RANCANGAN LERENG
TAMBANG EMAS TERBUKA ARAREN DI PT. TAMBANG TONDANO NUSAJAYA,
SULAWESI UTARA**

**ROCK CORE ORIENTATION ON THE OPEN PIT SLOPE DESIGN OF ARAREN GOLD
MINE, PT. TAMBANG TONDANO NUSAJAYA, NORTH SULAWESI**

Immanuel Seru¹, Zufialdi Zakaria², Dicky Muslim²

¹Program Pascasarjana (S2), FTG-UNPAD Jl. Dipati Ukur No. 35, Bandung

²Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung

Email: Imanuel.Seru@yahoo.co.id

SARI

Makalah ini mempresentasikan pendekatan penyelidikan geoteknik untuk mengetahui sebaran orientasi bidang diskontinuitas di bawah permukaan melalui pemboran geoteknik dengan orientasi inti batuan (*rock core orientation*) sebagai tahap awal pada rancangan lereng tambang emas terbuka Araren. Tiga lubang bor ditempatkan pada bagian timur, selatan, dan barat pada rancangan lereng akhir tambang terbuka. Metoda pemboran inti dimulai dari permukaan untuk mengumpulkan informasi massa batuan dan bidang diskontinuitas. Orientasi bidang diskontinuitas pada inti batuan hasil pemboran (*oriented core*) digunakan untuk mengamati potensi masalah kestabilan jenjang pada lereng batuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi longsoran bidang, baji, dan rebah berpeluang terjadi dan tersebar pada lereng tambang di lokasi pengamatan.

Kata kunci: orientasi inti batuan, bidang diskontinuitas, lereng batuan, longsoran bidang, longsoran baji, longsoran rebah.

ABSTRACT

This paper presents approach of geotechnical investigation as early stage to identify sub surface discontinuity distribution of structural geology as the early stage for Araren open pit slope design. Three drill holes are located at the eastern, southern, and western sides of the designed final pit wall. Core drilling method commenced from ground surface to collect rock mass and discontinuities plane information. The measured discontinuities orientations on drilled rock core (oriented core) may be utilized to observe potential bench stability problem of rock slopes. Result of this study showed planar, wedge, and toppling failures potential to occur and distribute well on the rock slope at observation area.

Keywords: rock core orientation, discontinuity plane, rock slope, planar, wedge failure, toppling failure.

Literatur Geologi Daerah Penelitian

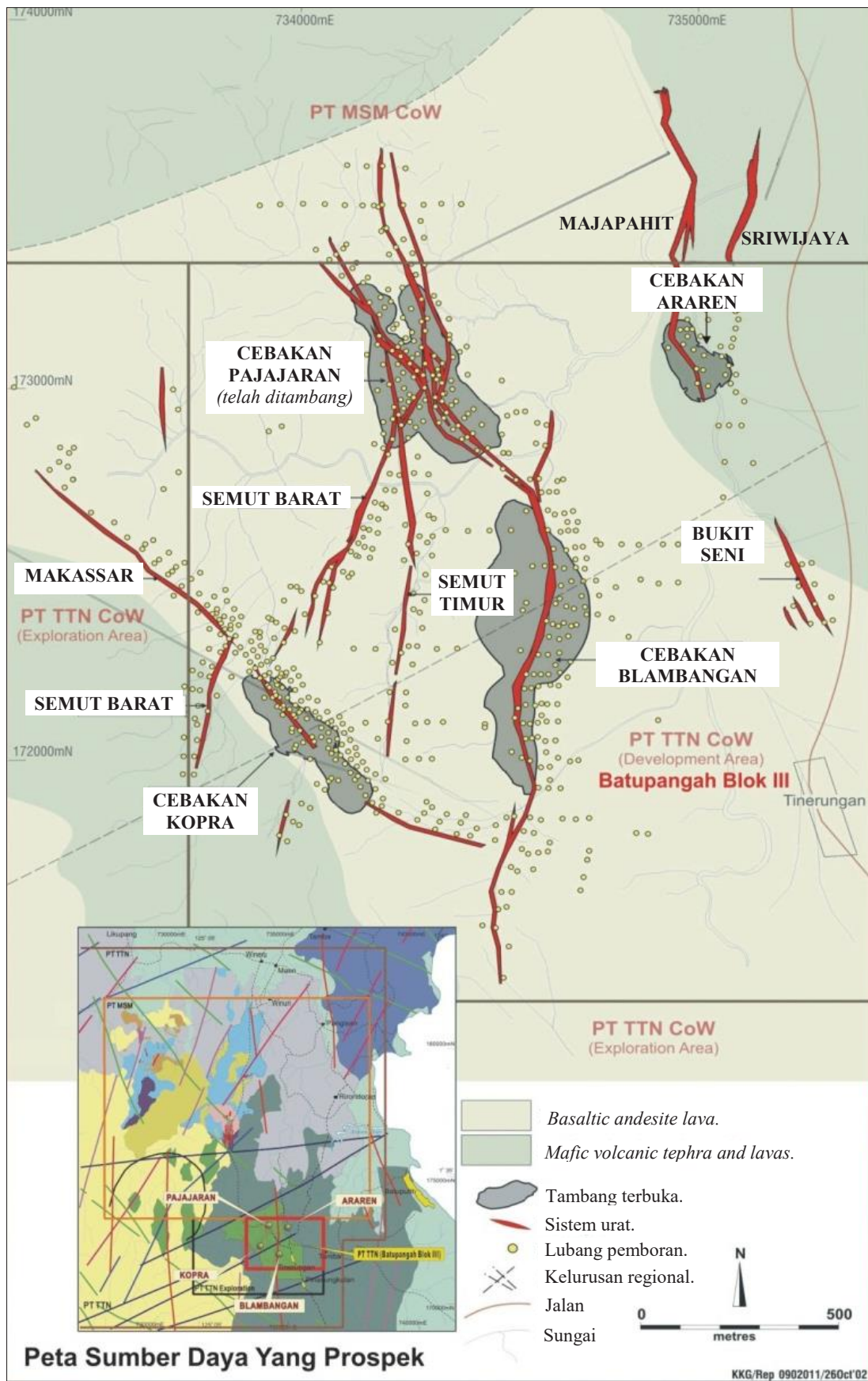
Wilayah PT. Tambang Tondano Nusajaya (PT. TTN) terdapat di sebuah jalur endapan vulkanik yang termineralisasi kuat dan daerah intrusi yang kuat mengikuti Jalur Magmatik Mindanou Timur – Sulawesi. Jalur awal Miosen – Kuartar tersebut terbentuk oleh tumbukan ke arah barat terhadap lempeng bagian timur Asia Tenggara, (Grose, 1997). Cebakan emas terbentuk dalam lapisan andesit vulkanik kala Miosen Akhir – Pliosen yang tertutup lapisan tefra Kuartar dan endapan vulkanik andesit porfiritik sebagai batuan penyusun utama. Penyebaran dan sifat geologi dari semua jenis urat dan cebakan emas secara keseluruhan hampir sama.

Bagian struktur utama dari daerah cebakan Batupangah adalah *brittle fault* dan rekahan-rekahan yang menunjukkan arah mineralisasi utara-selatan dan baratlaut-tenggara. Struktur ini disimpulkan sebagai patahan blok normal (*normal block faults*) dengan kemiringan umumnya lebih besar dari 60 derajat. Grose (1997) menjelaskan bahwa pergerakan patahan mendatar dekstral yang kecil telah membuka beberapa patahan yang menyebabkan

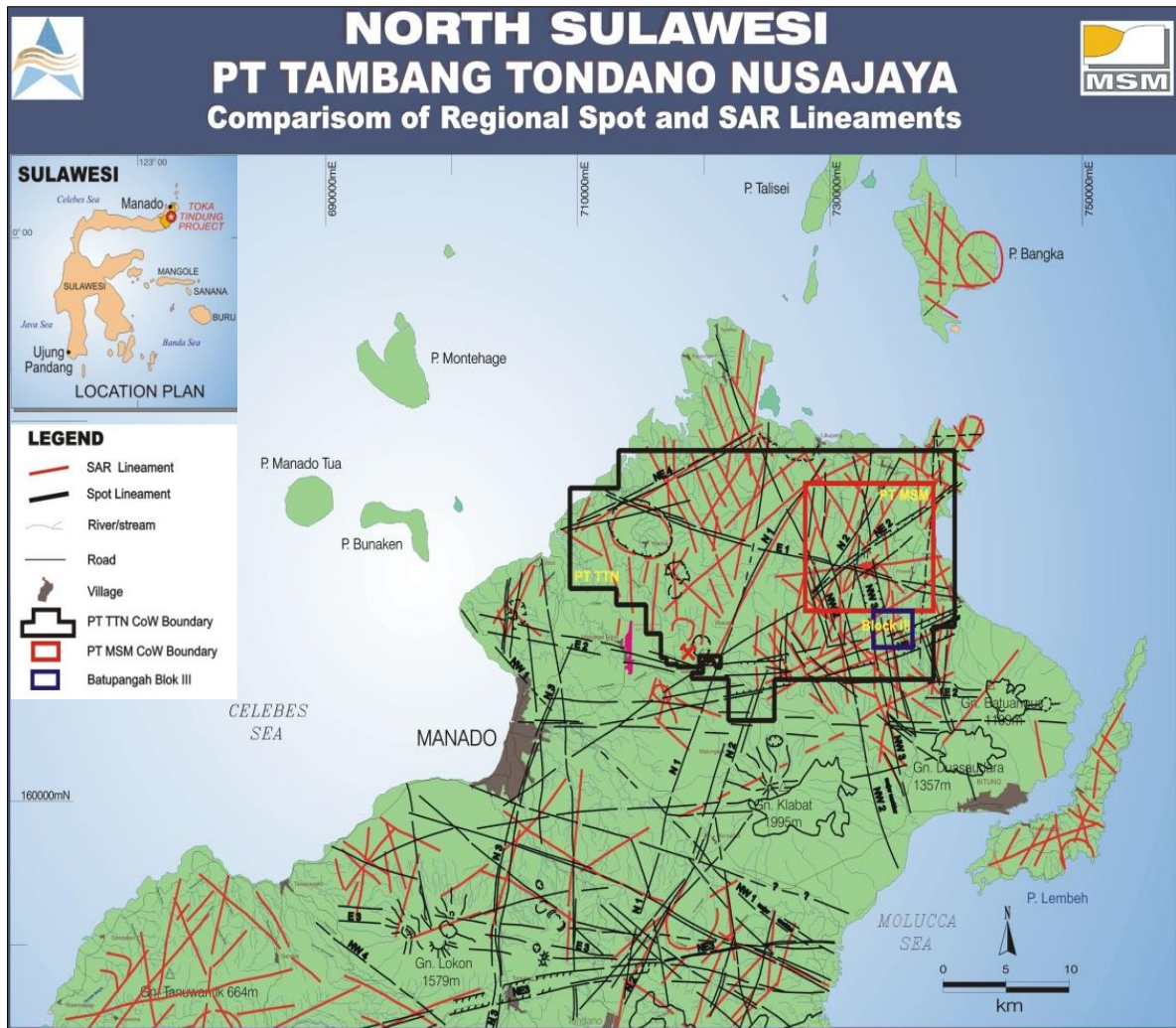
penebalan signifikan pada bagian dari mineralisasi urat, terutama di lipatan (*flexure*) pada struktur batuan induk (*host rock*).

Cebakan emas terbentuk dari dua urat yang hampir sejajar dengan lebar 1m hingga 7m berarah utara-selatan. Pengeboran eksplorasi dengan total panjang kedalaman lebih dari 15.000 m di sepanjang *strike vein* dengan kedalaman titik bor antara 150 m hingga 350 m dilakukan pada cebakan urat bagian barat (Majapahit) dan di bagian timur (Sriwijaya). Urat Sriwijaya berada kurang lebih 100 m sebelah timur dari urat Majapahit, urat tersebut bersambung di bagian selatan. Sistem urat di Araren miring hampir vertikal ke arah timur (Gambar 1).

Analisa struktur regional dari pola kelurusan foto ditunjukkan dalam Gambar-2. Dua koridor rekahan berarah utara-utara timur laut yang dapat terlihat pada foto, yaitu koridor rekahan berarah selatan tenggara dan yang kedua utara-utara timur laut yang mencakup prospek Araren. Interpretasi struktur gambar SPOT mengidentifikasi arah kelurusan yang sama, namun set berarah baratlaut lebih banyak terlihat (Lockett, 1996).



Gambar 1. Daerah cebakan Batupangah (Anonim, 2006).



Gambar 2. Perbandingan pola kelurusan citra SAR (*synthetic Aperture Radar*) dan SPOT (Anonim, 2006).

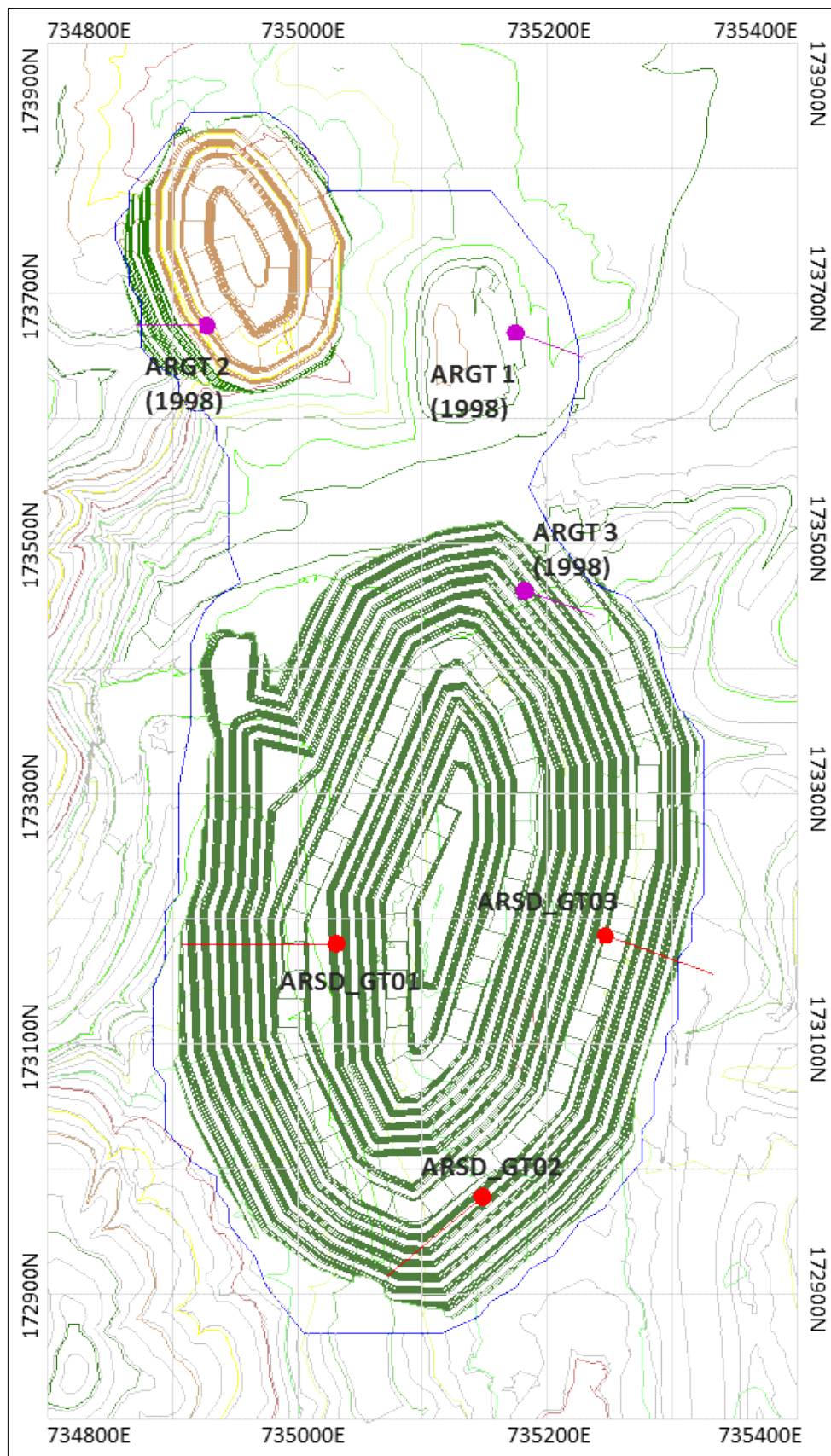
Metode Penelitian

Persiapan. Mengumpulkan informasi yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya mengenai hal yang berhubungan dengan penelitian. Persiapan dan studi peta yang dibutuhkan di antaranya adalah peta topografi dan rancangan tambang terbuka. Menentukan

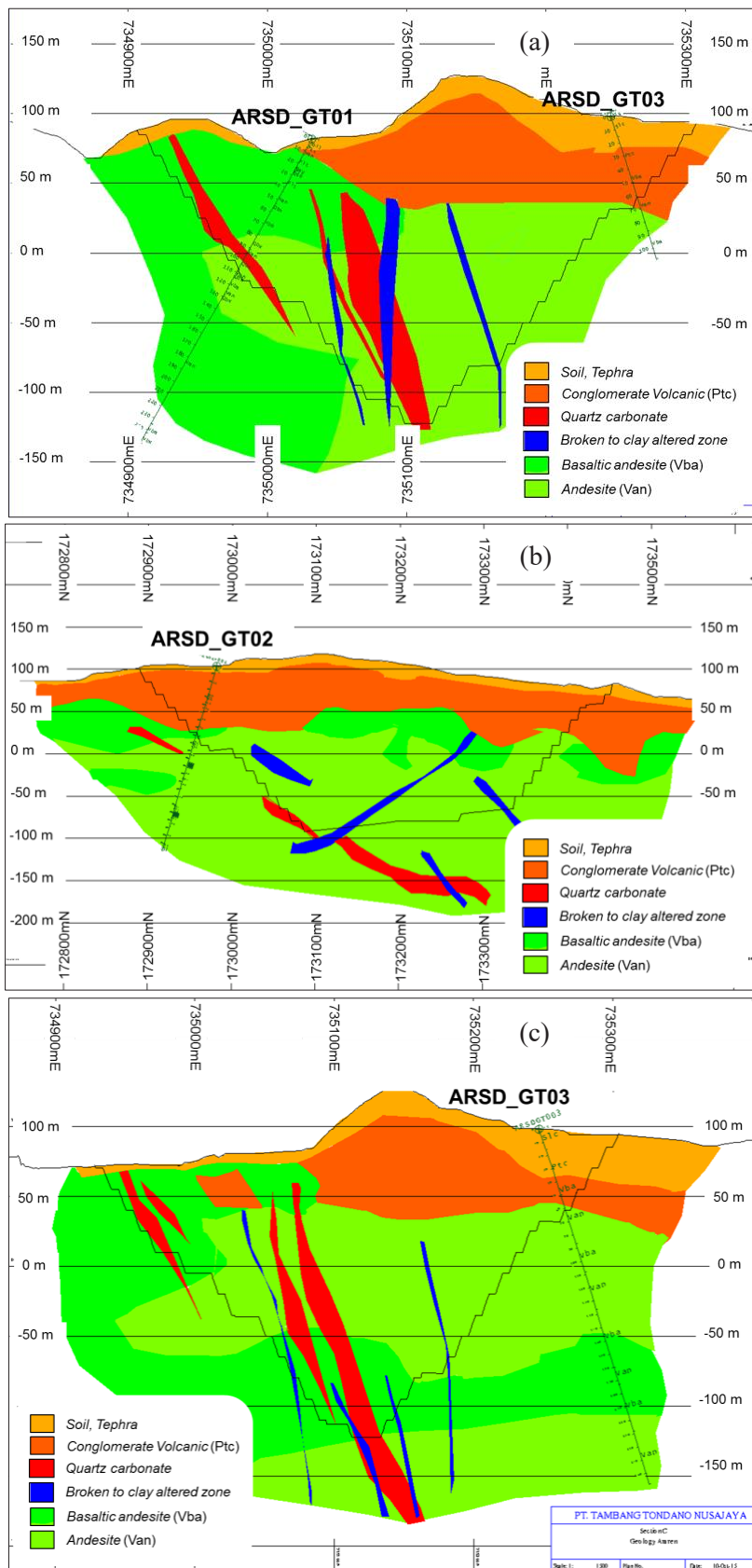
lokasi dan rancangan pemboran geoteknik dilakukan pada tahap ini. Rancangan lubang bor pada 2015 diperlihatkan pada Tabel 1. Gambar 3 memperlihatkan posisi lubang pemboran geoteknik pada 1998 dan 2015 terhadap rancangan tambang terbuka. Gambar 4 (a), (b), dan (c) memperlihatkan penampang melintang setiap lubang pengeboran.

Tabel 1. Rancangan pemboran Geoteknik.

Nomor ARSD Lubang Bor	Koordinat			Azimuth (N...°E)	Kemiringan (...°)	Panjang (m)
	mN	mE	Elevasi (m)			
GT01	173179.68	735031.34	82	270	60	250.2
GT02	172977.64	735148.46	103.87	230	65	239.1
GT03	173186.17	735246.57	97.78	110	70	268.1



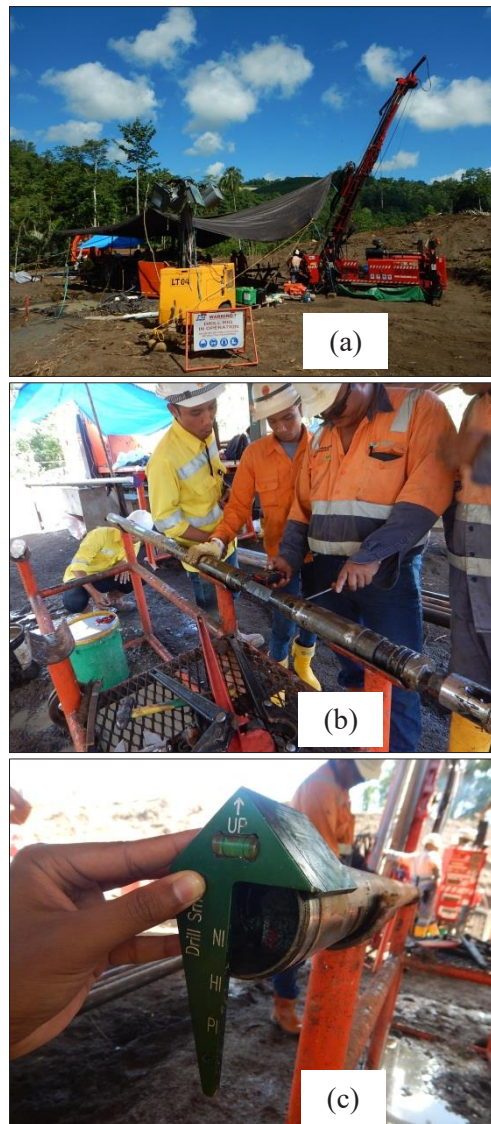
Gambar 3. Posisi lubang pemboran geoteknik pada rancangan tambang terbuka Araren (Anonim, 1998).



Gambar 4. Penampang melintang (searah lubang bor) dan interpretasi geologi; (a) ARSD_GT01, (b) ARSD_GT02, dan (c) ARSD_GT03.

Pelaksanaan pemboran. Pemboran inti dimulai pada 18 Maret 2015 dan selesai pada 14 April 2015 dengan total 757,4 m panjang lubang bor. Dilakukan dengan mesin bor Hanjin 7000 rig, menggunakan ukuran standard *wireline core barrel* PQ3 (diameter inti batuan 83 mm) dan HQ3 (diameter inti batuan 61,1 mm), *wireline triple-tube* untuk memaksimalkan perolehan inti (*core recovery*). Lumpur pemboran digunakan untuk meningkatkan perolehan inti batuan. Inti batuan yang berhasil diorientasi (menggunakan alat digital ORIFINDER *Core Orientation System*) diberikan tanda pada bagian dasar lubang. Tanda ini digunakan untuk

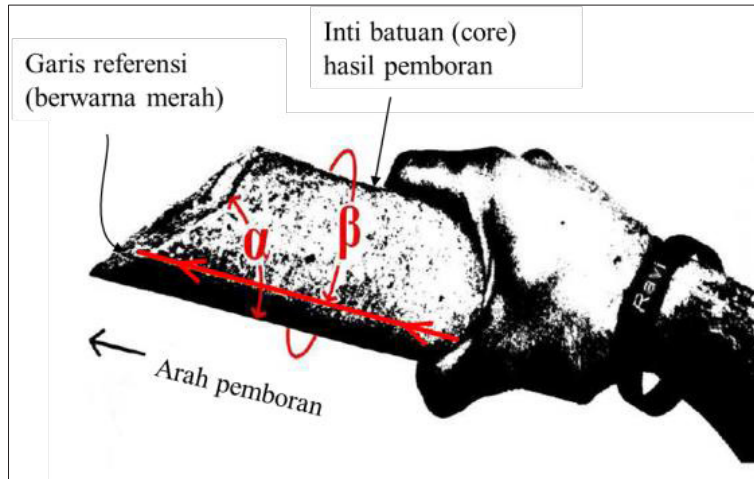
menggambar garis lurus sebagai referensi di sepanjang inti batuan hasil pemboran. Inti batuan dihasilkan dari lubang bor diletakkan pada rel besi baja berbentuk V untuk memudahkan saat pengambilan dan pengukuran data. Panjang inti batuan hasil pemboran (*run*) di lokasi pengamatan bervariasi mulai dari 40 cm hingga maksimum 1,5 m. Kondisi batuan yang menguntungkan dan teknik pemboran yang baik dapat memberikan panjang inti batuan maksimum. Survei kamera dilakukan setiap 30 m panjang lubang setiap selesai dibor. Gambar 5 (a), (b), dan (c) memperlihatkan kondisi pada penjelasan di atas.



Gambar 5. (a) Pelaksanaan pemboran geoteknik, (b) Orientasi inti batuan menggunakan alat orientasi digital ORIFINDER *Core Orientation System*, (c) Bagian dasar inti batuan ditandai untuk menentukan garis referensi.

Pengumpulan data (*logging*). Pengumpulan data pembedan, massa batuan, dan bidang diskontinuitas dilakukan sebelum inti batuan hasil pembedan dimasukkan ke dalam kotak penyimpanan (*core box*). Inti batuan yang diorientasi menggunakan metoda alfa (dapat memakai busur derajat) dan beta

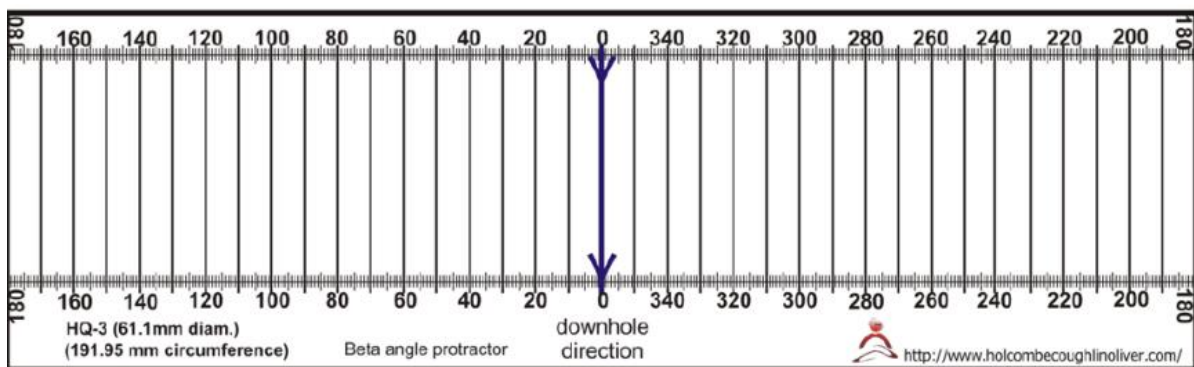
(Gambar 6) memakai *protractor* yang tersedia (Gambar 7). Dokumentasi foto dilakukan dengan menyertakan nama lubang bor, tanggal, kedalaman dan interval panjang lubang bor, serta nomor kotak penyimpanan. Semua inti batuan disimpan di *Core Shed* (Gambar 8).



Gambar 6. Pengukuran sudut alfa dan beta pada inti batuan (Cylwik *et al.*, 2011, dalam Ureel *et al.*, 2013).

Keterangan : Sudut alfa (α) adalah besaran sudut antara sumbu inti batuan terhadap kemiringan bidang diskontinuitas, berkisar antara 0° dan 90° . Sudut beta (β) adalah besaran sudut di sekeliling inti batuan antara garis referensi

(ditandai pada bagian bawah inti batuan dengan alat Orifinder) dan bagian ujung elips atau besar kemiringan maksimum bidang diskontinuitas, berkisar antara 0° dan 360° . Metoda pengukuran β selalu melihat ke arah pembedan.



Gambar 7. *Protractor* untuk mengukur sudut beta (HCO, 2010).

Pengolahan data. Orientasi bidang diskontinuitas yang terukur pada inti batuan hasil pembedan (alfa, α dan beta, β) dikonversi menjadi kemiringan dan arah

kemiringan sebenarnya di alam (*dip* dan *dip direction*) memakai perangkat lunak DIPS versi 6.016 (Rocscience, 2014).



Gambar 8. Dokumentasi foto inti batuan di Core Shed.

Hasil dan Pembahasan

Orientasi inti batuan (pengukuran alfa dan beta) dilakukan dengan baik pada lubang pemboran ARSD_GT01 yang pertemuannya dengan rancangan lereng tambang terjadi pada batuan Andesit. Kondisi berbeda pada lubang bor ARSD_GT02 dan 03 yang terdapat kontak litologi antara

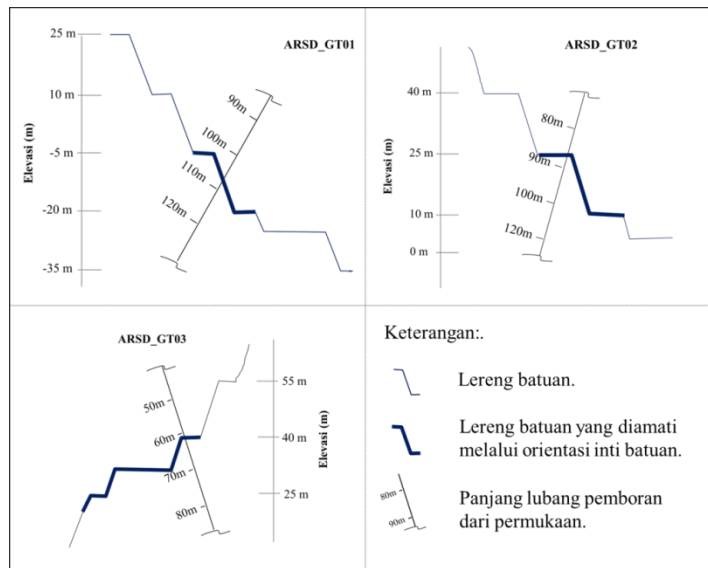
konglomerat vulkanik dengan Andesit dan Basalt. Pada Tabel 2 di bawah memperlihatkan ringkasan orientasi inti batuan lebih baik di ARSD_GT01. Beberapa kegagalan melakukan orientasi bidang diskontinuitas disebabkan karena tidak dapat meletakkan tanda dan garis referensi pada inti batuan yang rusak atau hancur.

Tabel 2. Ringkasan orientasi inti batuan.

Nomor ARSD Lubang Bor	Pengamatan pada meter pemboran		Total panjang inti batuan (m)	Panjang inti batuan yang diorientasi (m)	Persentasi inti batuan yang diorientasi	Total bidang diskontinuitas yang diorientasi
	Dari (m)	Ke (m)				
GT01	95.36	126.76	31.4	30.4	97	193
GT02	80.65	110.19	29.54	15.64	53	87
GT03	48.55	90.2	41.65	15.15	36	35

Tabel 3 memperlihatkan hasil olahan pilihan data orientasi alfa dan beta menjadi *dip* dan *dip direction* bidang diskontinuitas, yang terletak dekat dengan lereng tambang terbuka. Merujuk kepada hasil uji laboratorium (Anonim, 1998), bahwa nilai sudut geser dalam 30° dapat dipakai untuk analisis kinematik pada tahap rancangan lereng tambang terbuka. Syarat terbentuknya model longsoran

bidang, baji, dan rebah dapat terjadi di setiap lokasi pengamatan lubang bor. Model longsoran baji berpeluang paling besar untuk terjadi, kemudian berturut-turut diikuti dengan model longsoran bidang serta model longsoran rebah. Pada stereonet memperlihatkan masing-masing analisis kinematik pada setiap lubang bor dan lereng tambang (Tabel 4 dan Gambar 10).



Gambar 9. Pengamatan lereng melalui pembedan dan orientasi inti batuan (merujuk pada Gambar-3, sketsa tanpa skala).

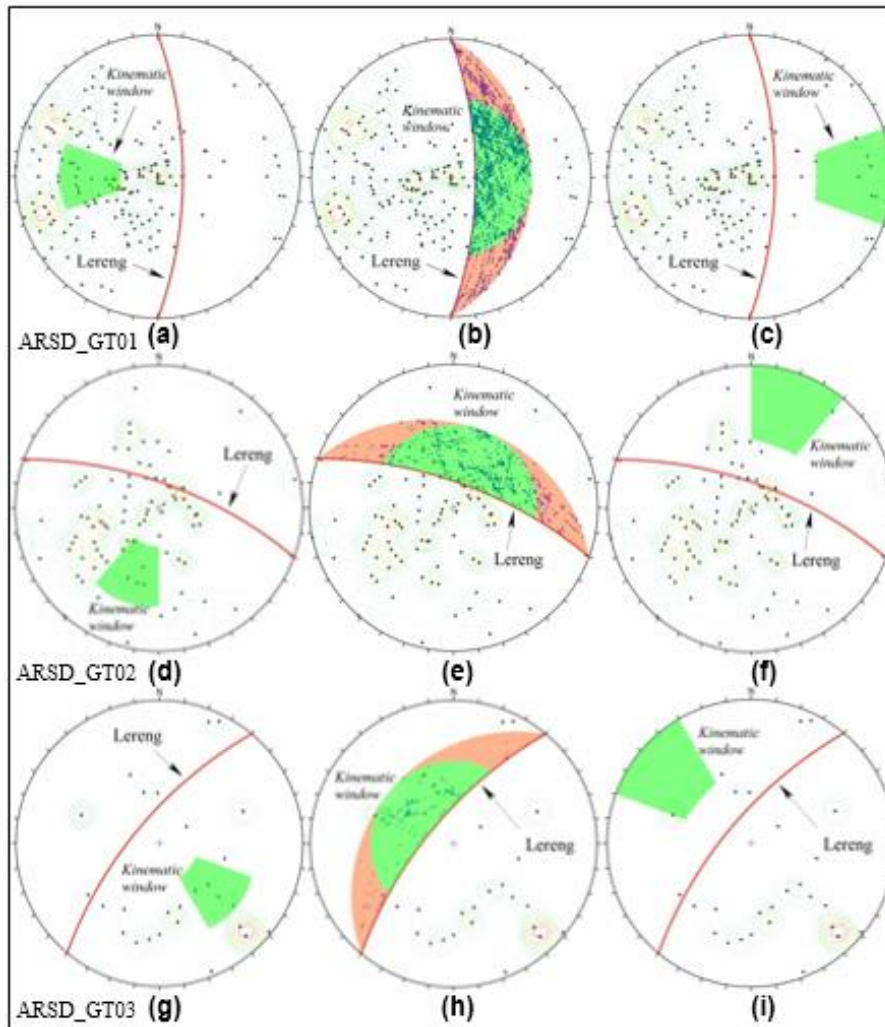
Tabel 3. Ringkasan hasil pengolahan data alfa dan beta menggunakan perangkat lunak DIPS versi 6.016.

ARSD-GT.01 Kemiringan lubang bor: 60° Azimuth: 270°						ARSD-GT.02 Kemiringan lubang bor: 65° Azimuth: 230°					ARSD-GT.03 Kemiringan lubang bor: 70° Azimuth: 110°				
No	Kedalaman (m)	Alfa	Beta	Dip	Dip Dir.	Kedalaman (m)	Alfa	Beta	Dip	Dip Dir.	Kedalaman (m)	Alfa	Beta	Dip	Dip Dir.
1	95,36	50	150	20	197	80,65	80	70	30	69	48,80	15	130	63	54
2	95,42	40	340	79	75	80,68	65	190	4	325	48,90	30	80	65	360
3	95,57	60	60	51	124	80,84	30	30	84	67	49,00	25	30	83	317
34	100,02	45	120	38	176	89,14	18	350	83	220	90,00	5	275	87	206
35	100,48	40	140	32	201	89,20	52	355	63	47	90,20	20	120	61	42
36	100,51	40	140	32	201	90,82	52	50	57	84					
85	109,60	40	350	80	82	109,99	31	40	79	84					
86	109,77	22	10	82	279	110,07	40	75	60	109					
87	110,18	35	340	84	74	110,19	65	160	8	131					
88	110,56	40	335	78	71										
192	126,24	40	260	51	15										
193	126,76	40	340	79	75										

Tabel 4. Hasil analisa kinematik perangkat lunak DIPS versi 6.016.

Nomor ARSD Lubang Bor	Elevasi lereng batuan (m)	Kemiringan lereng (...°)	Arah kemiringan lereng (N...°/E)	Model longsoran	Jumlah bidang diskontinuitas yang diamati ^{*)}	Jumlah potensi longsor (bahaya lereng)	Persentase jumlah potensi longsor (%)
GT01	-5 ke - 20	70	90	Bidang	193	23	11,9
				Rebah	193	8	4,1
				Baji	18.484	4.681	25,3
GT02	25 ke 10	70	25	Bidang	87	6	6,9
				Rebah	87	1	1,1
				Baji	3,738	817	21,9
GT03	40 ke 25	70	310	Bidang	35	5	14,3
				Rebah	35	3	8,6
				Baji	585	214	36,6

*) Model longsoran baji: Jumlah kombinasi pasangan dari setiap bidang diskontinuitas yang diamati.



Gambar-10. Stereonet bidang diskontinuitas hasil dari orientasi inti batuan dengan perangkat lunak DIPS versi 6.016 di ARSD_GT01, ARSD_GT02, dan ARSD_GT03: (a), (d), dan (g) potensi model longsor bidang; (b), (e) dan (h) potensi model longsor baji; (c), (f) dan (i) potensi model longsor rebah.

Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan

Orientasi inti batuan dapat digunakan untuk mendapatkan nilai *dip* dan *dip direction* bidang diskontinuitas bawah permukaan dari inti pemboran geoteknik.

Dari pemboran geoteknik ARSD_GT01, 02, dan 03 di lokasi tambang Araren dapat dipetakan distribusi bidang diskontinuitas yang dapat dipakai untuk penentuan potensi bahaya longsor pada lereng tambang dengan menggunakan stereonet.

Dari kajian kemantapan lereng di lokasi pengamatan didapat adanya potensi

longsor bidang, baji, dan rebah pada saat penambangan terbuka dilakukan.

Saran

Pengukuran bidang diskontinuitas di permukaan (pemetaan geologi teknik) diperlukan untuk mendukung kajian bidang diskontinuitas di bawah permukaan yang dapat dilakukan apabila telah dilakukan penambangan terbuka.

Diperlukan uji laboratorium untuk menentukan nilai kuat geser dan parameter kekuatan batuan lainnya di lokasi pengamatan untuk analisa kemantapan lereng batuan yang lebih komprehensif.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang tidak terhingga penulis ucapkan kepada pihak PT Tambang Tondano Nusajaya atas kesempatan yang diberikan untuk melaksanakan penelitian di lokasi proyek tambang emas Araren.

Daftar Pustaka

- Anonim, 1998. *Araren - Geotechnical Studies*. Laporan internal Coffey Mining Consultant, PT Tambang Tondano Nusajaya, Toka Tindung Project, tidak dipublikasi.
- Anonim, 2006. *Kajian Kelayakan Proyek Emas Batupangah*. Laporan internal tidak dipublikasi.
- Anonim, 2014. *PT Meares Soputan Mining and PT Tambang Tondano Nusajaya Exploration Monthly December 2014 Report*. Laporan internal tidak dipublikasi.
- Anonim, 2015. *PT Meares Soputan Mining and PT Tambang Tondano Nusajaya Exploration Monthly September 2015 Report*. Laporan internal tidak dipublikasi.
- Grose, P.J. 1997. *Batupangah Gold Project Feasibility Study, Appendix B – Part 1*, PT Tambang Tondano Nusajaya, Laporan internal tidak dipublikasi.
- HCO. 2010. *HCO oriented core templates*. Diunduh dari <http://www.holcombecoughlinoliver.com/>.
- HCO. 2011. *Oriented drillcore: measurement and calculation procedures for structural and exploration geologist*, Diunduh dari <http://www.holcombecoughlinoliver.com/>.
- Lockett, N.H. 1996. *Photogeological Interpretation of Black & White 1:30,000 Aerial Photographs and SPOT Imagery*. Unpublished report to PT Aurora Gold Indonesia, Toka Tindung Project, North Sulawesi.
- Rocscience. 2014. *Oriented Core and Rock Mass Classification*. Perangkat lunak DIPS tutorial. Diunduh dari https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/pdf_files/tutorials/Tutorial_05_Oriented_Core_and_Rock_Mass_Classification.pdf
- Ureel S., Momayez M., Oberling Z. 2013. Rock Core Orientation for Mapping Discontinuities and Slope Stability Analysis. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*. Volume 02.
- Wyllie, D.C., & Mah, C.W. 2004. *Rock Slope Engineering, 4th edition*. Spon Press.

Diterima	: 3 September 2015
Direvisi	: 6 Oktober 2015
Disetujui	: 26 November 2015

PENENTUAN TIPE FLUIDA, GEOTERMOMETER RESERVOIR DAN HILANG PANAS ALAMIAH BERDASARKAN ANALISIS DATA GEOKIMIA PANAS BUMI DI KABUPATEN BANJARNEGARA, JAWA TENGAH

DETERMINATION OF FLUID TYPE, RESERVOIR GEOTHERMOMETER AND NATURAL HEAT LOSS BASED ON GEOCHEMICAL DATA IN BANJARNEGARA REGENCY, CENTRAL JAVA

Chusni Ansori ^{*)}, Fitria Amalia Wardhani ^{*)}

^{*)}LIPI Karangsembung di Kebumen, Jawa Tengah
Jl. Karangsembung Km-19, Kebumen
Email: ansorich.63@gmail.com

SARI

Kabupaten Banjarnegara memiliki beberapa daerah potensi panas bumi. Manifestasi fluida panas bumi teramati pada sembilan lokasi di Kecamatan Batur, Kecamatan Wanayasa, Kecamatan Kalibening dan Kecamatan Susukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakter fluida panas bumi, temperatur reservoir dengan melakukan analisis geokimia fluida panas dan analisis kandungan anion-kation. Analisis tipe dan asal fluida ditentukan berdasarkan *plotting* pada *ternary* diagram Cl-HCO₃-SO₄ dan Cl-Li-B. Temperatur reservoir ditentukan berdasarkan perhitungan geotermometer Na-K-Ca, K-Na-Mg dan Na-K,

Berdasarkan hasil analisis, fluida panas bumi bertipe bikarbonat, klorida dan sulfat. fluida panas bumi bersumber langsung dari reservoir ataupun telah berinteraksi dengan batuan sedimen di sekitarnya. Terdapat empat reservoir panas bumi di daerah penelitian. Reservoir-1 terdapat pada bagian selatan Kabupaten Banjarnegara di Desa Gumelem Susukan, suhu reservoir 81°C, potensi hilang panas alamiah 95,5 KW. Reservoir-2 berada di sekitar Kecamatan Wanayasa dan Kalibening dengan suhu reservoir berkisar 222°C- 264°C, potensi hilang panas alamiahnya 4,691 MW. Reservoir -3 berada di Dieng bagian Utara, Kecamatan Batur dengan suhu reservoir sekitar 137°C, potensi hilang panas alamiahnya 246,4 KW. Reservoir-4 berada di Dieng bagian Selatan Kecamatan Batur dengan suhu reservoir berkisar 334°C – 374°C, potensi hilang panas alamiahnya 26,58 MW.

Kata kunci: Banjarnegara, panas bumi, geokimia, tipe fluida, geotermometer, hilang panas

ABSTRACT

Banjarnegara Regency has several locations of geothermal potential. Geothermal manifestations are observed in 9 locations of Batur, Wanayasa, Kalibening and Susukan Districts. This study aims to characterize the geothermal fluid, reservoir temperature based on fluid geochemistry and anion-cation contents. Origin and type of fluid are analyzed based on data plotting on Cl-HCO₃-SO₄ and Cl-Li-B ternary diagrams. Reservoir temperature is based on Na-K-Ca, K-Na-Mg and Na-K geothermometer calculation.

Results showed that the geothermal fluid has bicarbonate, chloride and sulfate types. This fluid is directly originated from the reservoir or has interaction with sedimentary rocks around. There are 4 identified reservoirs in the study area. Reservoir-1 is located in Gumelem Susukan Village of the southern part of Banjarnegara Regency with reservoir temperature of 81°C, and natural heat loss potential is 95.5 KW. Reservoir-2 is located around Wanayasa and Kalibening Districts with reservoir temperature between 222 – 264°C and natural heat loss potential is 4.691 MW. Reservoir-3 is located in the northern part of Dieng in Batur District with reservoir temperature of 137°C and natural heat loss potential is 246.4 KW. Reservoir-4 is located in the southern part of Dieng in Batur District with reservoir temperature between 334 – 374°C and natural heat loss potential is 26.58 MW.

Keywords: Banjarnegara, geothermal, geochemistry, fluid type, geothermometer, heat loss

PENDAHULUAN

Panas bumi merupakan energi yang terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas. Panas bumi menghasilkan energi yang bersih (dari polusi) dan berkesinambungan atau dapat diperbarui. Sumberdaya energi panas bumi dapat ditemukan pada air dan batuan panas di dekat permukaan bumi sampai beberapa kilometer di bawah permukaan. Bahkan jauh lebih dalam lagi sampai pada sumber panas yang ekstrim dari batuan yang mencair atau magma. Energi panas bumi tersebut muncul di permukaan dalam berbagai bentuk manifestasi berupa tanah hangat, tanah beruap, mata air panas/hangat, kolam air panas, telaga air panas, fumarol, geyser, kubangan lumpur panas, silika sinter dan batuan teralterasi (Saptadji, 2003).

Air yang muncul di permukaan dapat digunakan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan. Kegunaan data hidrokimia untuk tahap prospeksi bermanfaat untuk mendapatkan informasi mengenai : jenis reservoir, suhu reservoir, jenis batuan, besarnya *heat flow*, area yang mempunyai *heat flow* tinggi, problem lingkungan, daerah isian, penentuan lokasi sumur eksplorasi.

Konsentrasi dari unsur-unsur juga dapat digunakan untuk memperkirakan temperatur reservoir atau temperatur sumber air di bawah permukaan. Jenis Geotermometer, meliputi :

a) Silika geotermometer

Memperkirakan temperatur suatu sumber air (reservoir) dibawah permukaan bila air permukaannya jenuh dengan kwarsa, dengan persamaan :

- Proses pendinginan secara adiabatik: $t (^{\circ}\text{C}) = (1533.5/5.7 \log \text{SiO}_2) - 273$

- Proses pendinginan secara konduktif: $t (^{\circ}\text{C}) = (1315/5.205 \log \text{SiO}_2) - 273$

Memperkirakan temperatur suatu sumber air (reservoir) dibawah permukaan bila air permukaannya jenuh dengan Chalcedony : $t (^{\circ}\text{C}) = (1015.1/4.655 \log \text{SiO}_2) - 273$

b) Sodium - potassium (Na-K) Geotermometer (Saptadji, 2003)

Sangat tepat untuk air jenis-jenis alkali-klorida dengan pH netral, tidak tepat digunakan bila ada endapan travertine.

- Persamaannya: $t (^{\circ}\text{C}) = (855.6/ \log (\text{Na/K}) + 0.857) - 273$
- Persamaan Fournier; $t (^{\circ}\text{C}) = (1217/ \log (\text{Na/K}) + 1.483) - 273$
- Persamaan Giggenbach; $t (^{\circ}\text{C}) = (1390/ \log (\text{Na/K}) + 1.75) - 273$

c) Sodium - calcium - potassium Geotermometer

Digunakan untuk air yang mengandung Ca cukup banyak dan menghasilkan endapan travertin.

- $t (^{\circ}\text{C}) = [855.6/ \{ \log (\text{Na/K}) + \log (\sqrt{\text{Ca/Na}}) + 2.24 \}] - 273$

Kabupaten Banjarnegara dikenal dengan keberadaan lapangan panas bumi Dieng yang menghasilkan energi dengan kapasitas terbukti 60 Mwe. Energi tersebut telah diusahakan oleh PT Geo Dipa Energi yang dijual ke PLN serta telah terintegrasi ke sistem jaringan interkoneksi Jawa Madura Bali (Reva Sasistiya, 2008 dalam Pohan, dkk, 2008). Kendala pemanfaatan energi panas bumi tersebut adalah adanya limbah lumpur sekitar 165 ton/bln yang dibuang sebagai tanah urug (Muljani, S; 2013). Lumpur panas bumi tersebut sekitar 50 % mengandung silika amorf yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan industri (Riyanto, dkk., 2012). Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan terutama pada daerah sekitar PLTP Dieng seperti yang dilakukan oleh Layman, dkk. (2002), Ramadhan, dkk. (2013), Pohan, dkk. (2008).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik manifestasi, tipe fluida,

temperatur reservoir, dan hilang panas alamiah berdasarkan data geokimia mata air panas dan mata air hangat di Kabupaten Banjarnegara Jawa Tengah, terutama di daerah – daerah yang belum dimanfaatkan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan rekomendasi bagi pemerintah daerah untuk memanfaatkan potensi panas bumi di Kab. Banjarnegara baik secara langsung maupun secara tidak langsung.

METODE

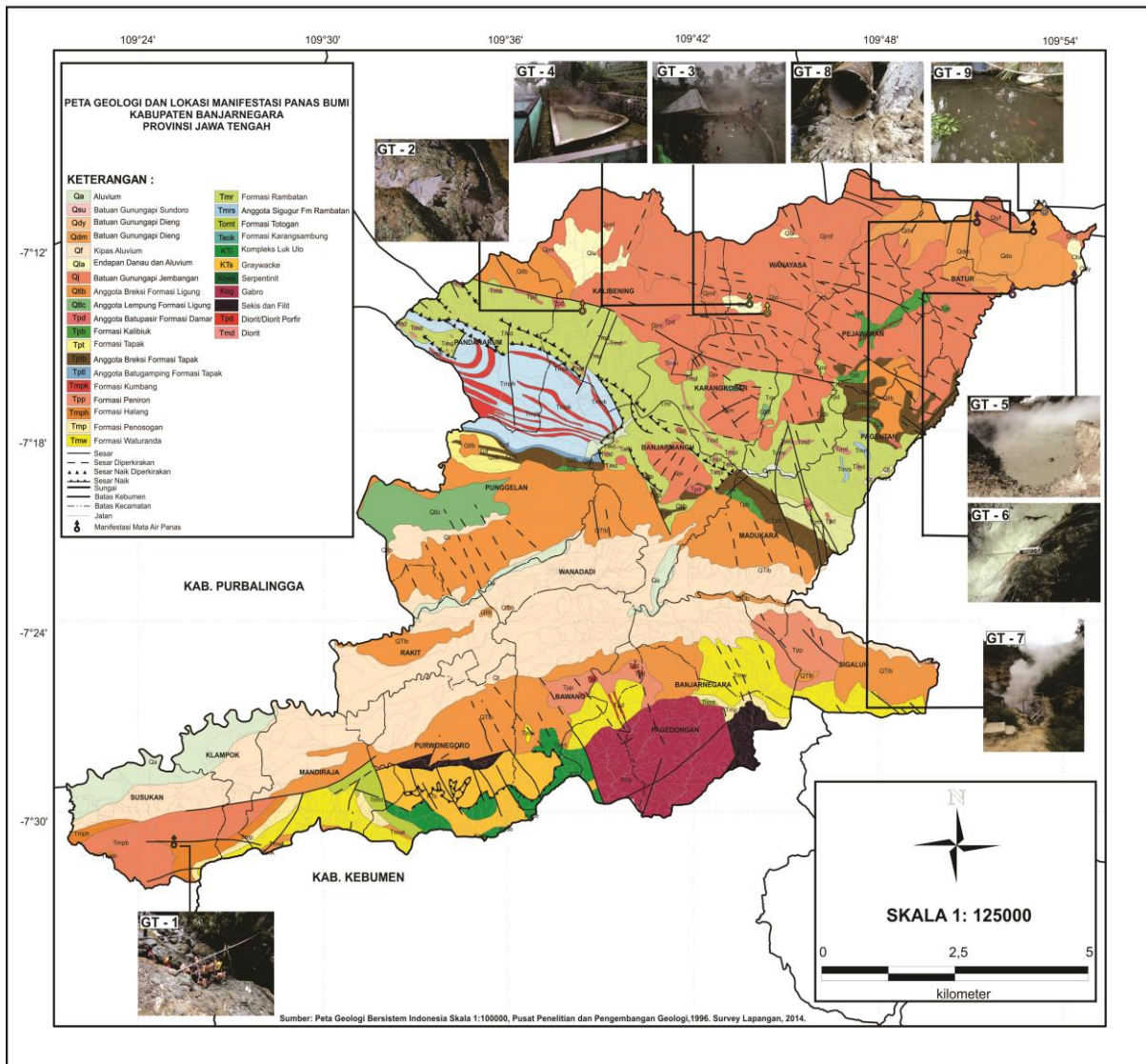
Penelitian lapangan dilakukan dengan mencari lokasi manifestasi panas bumi, pengamatan kondisi geologi, pengukuran suhu, pH, debit mata air serta pengambilan conto air. Pada conto air dilakukan analisis kation-anion di Laboratorium Pusat Sumber Daya Geologi-Bandung pada tahun 2014. Pada hasil analisis laboratorium tersebut dilakukan pengecekan tingkat kesetimbangan ionnya dan analisis menggunakan berbagai diagram ternary Nicholson (1993) dan Gigenbach (1991) dan perkiraan temperatur reservoir dengan berbagai geotermometer panas bumi.

GEOLOGI

Wilayah Kabupaten Banjarnegara termasuk dalam fisiografi Zona Pegunungan Serayu Selatan, Zona Pegunungan Serayu Utara, sebagian Zona Depresi Jawa yang memisahkan Pegunungan Serayu Utara dengan Serayu Selatan, serta gunungapi Kuartar di sekitar Dieng. Di bagian utara berupa rangkaian pegunungan dengan kelerengan dan

lembah yang curam dengan produk batuan gunungapi Kuartar. Pada bagian tengah merupakan dataran dengan lembah Sungai Serayu yang subur. Sedangkan pada bagian selatan merupakan rangkaian pegunungan yang telah mengalami tektonik kuat dengan lereng yang terjal dan curam, zona ini termasuk rangkaian Pegunungan Serayu Selatan (Van Bemmelen, 1949).

Litologi Kabupaten Banjarnegara tersusun oleh kelompok batuan tertua di Pulau Jawa (Pra Tersier) yang terdapat di sekitar perbatasan antara Kebumen dan Banjarnegara. Kemudian ke arah utara stratigrafi batuanannya semakin muda. Litologi di daerah ini sangat beragam, mulai dari batuan tektonit, batuan sedimen, batuan gunungapi, batuan terobosan dan aluvial (Condon dkk., 1996). Adapun stratigrafi daerah ini meliputi; Komplek Melang Luk Ulo, Formasi Karangsembung (Teok), Formasi Totogan (Tomf), Anggota Sigugur Formasi Rambatan (Tmrs), Formasi Rambatan (Tmr), Anggota Tuff Formasi Waturanda (Tmwt), Formasi Waturanda (Tmw), Formasi Panosogan (Tmp), Formasi Halang (Tmph), Formasi Kumbang (Tmpk), Anggota Batugamping Formasi Tapak (Tpd), Anggota Breksi Formasi Tapak (Tptb), Formasi Tapak (Tpt), Formasi Kalibiuk (Tpb), Anggota Batupasir Formasi Damar (Tpds), Formasi Damar (Qtd), Anggota lempung Formasi Ligung (Qtlb), Endapan Undak (Qt), Batuan Gunungapi Jembangan (Qj), Endapan Danau dan Alluvium (Qla), Batuan Gunungapi Dieng (Qd), Batuan Terobosan andesit (Tma) dan Diorit (Tmd) (Gambar 1).



Gambar 1. Peta geologi dan lokasi manifestasi panas bumi di Kabupaten Banjarnegara (modifikasi dari Peta Geologi Lembar Banjarnegara-Pekalongan, Condon dkk., 1996)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengambilan sampel air dilakukan pada sembilan lokasi manifestasi panas bumi di Kabupaten Banjarnegara (Gambar 1). Lokasi sampling tersebut terdapat di Desa Gumelem-Susukan (GT-1), Kalibening (GT-2), Tempuran-Wanayasa (GT-3), Kaliputih-Wanayasa (GT-4), Kawah Sikidang-Batur (GT-5), Pulosari-Batur (GT-6), Kawah Candra Dimuka (GT-7), Kawah Sileri (GT-8) dan Bitingan-Batur (GT-9). Hasil analisis hidrokimia tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil analisis hidrokimia tersebut kemudian dilakukan penghitungan kesetimbangan kation-anion untuk

mengecek apakah hasil analisis tersebut bagus atau tidak.

Tipe Fluida panas Bumi

Berdasarkan plotting pada diagram ternary Cl-HCO₃-SO₄ (Gambar 2), maka tipe fluida panas bumi di Banjarnegara meliputi tipe Klorida (GT-1 dan GT-6), Bikarbonat (GT-2, GT-3, GT-4, GT-8 dan GT-9) dan Sulfat (GT-5 dan GT-7). Tipe fluida bikarbonat

(*peripheral water*) menandakan adanya pencampuran dengan air tanah. Sedangkan *chloride water (mature water)* manandakan bahwa sumber air berasal dari reservoir, sedangkan *sulphate*

water (*volcanic water*) menandakan bahwa sumber air berkaitan dengan vulkanisme (Nicholson, 1993).

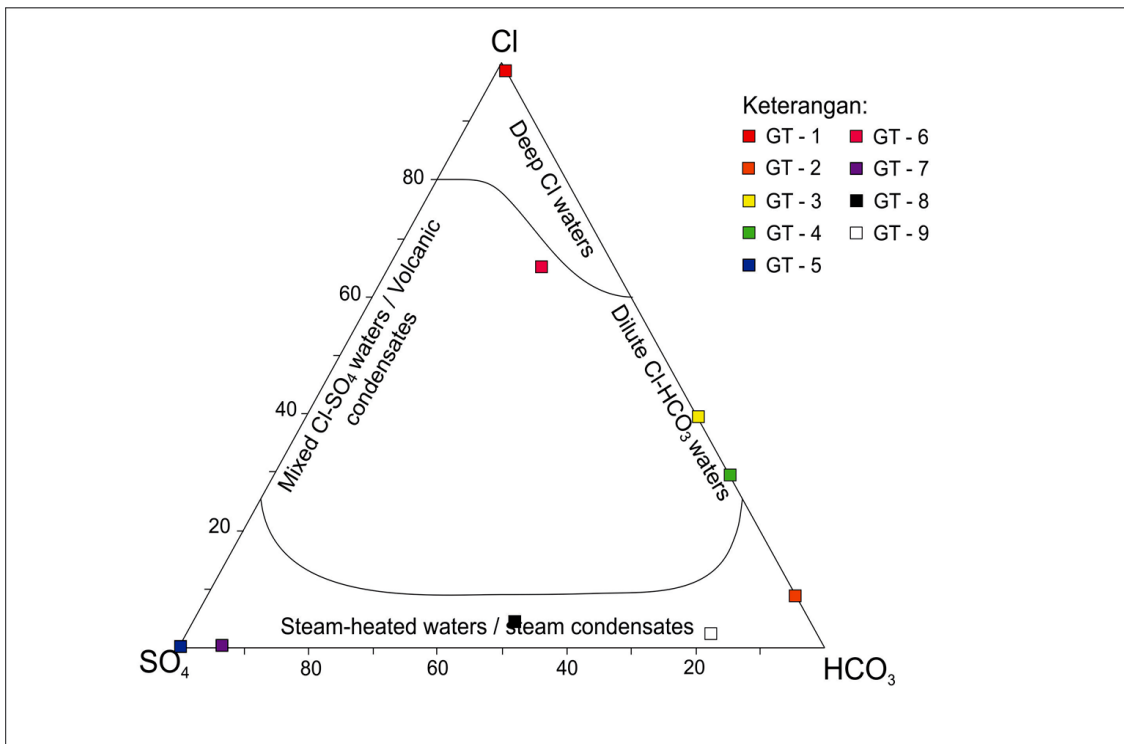
Asal Fluida

Untuk mengetahui asal fluida panas bumi, maka dilakukan pengeplotan pada diagram *ternary* Cl-Li-B yang dibuat oleh Giggenbach (1991).

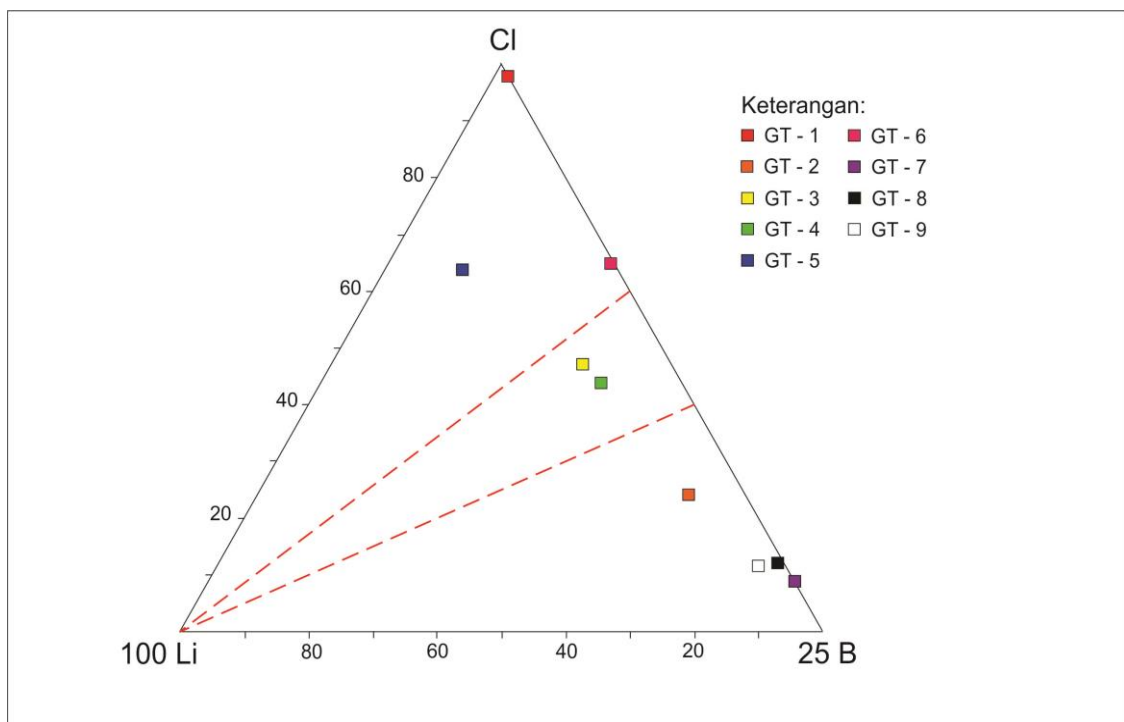
Hasil plot data pada diagram *ternary*, kandungan relatif Cl-Li-B, kandungan Cl mata air panas pada daerah penelitian mengindikasikan bahwa lokasi GT-1, GT-5, dan GT-6 fluida berasal dari reservoir. Kandungan B pada manifestasi GT-2, GT-7, GT-8, GT-9 mengindikasikan bahwa fluida telah mengalami interaksi dengan batuan sedimen yang kaya akan zat organik /evaporasi (Nicholson, 1993).

Tabel 1. Hasil analisis hidrokimia manifestasi panas bumi, Kabupaten Banjarnegara

Kode Conto	GT-1	GT-2	GT-3	GT-4	GT-5	GT-6	GT-7	GT-8	GT-9
pH	8.35	7.77	7.03	9.65	2.43	6.03	7.03	7.04	7.68
DHL/EC (umhos/cm)	3970	1459	3040	3050	2260	1580	2880	1041	706
TDS (mg/L)	4154	1164	1950	2138	2060	1812	1294	884	722
SiO ₂ (mg/L)	33.47	159.64	137.17	165.43	226.16	229.45	37.61	159.14	189.18
B (mg/L)	1.14	9.65	21.11	21.36	0.02	9.04	1.78	7.55	3.17
Al ³⁺ (mg/L)	0.01	0.01	0.01	0.01	10.75	0.01	0.01	0.08	0.01
Fe ³⁺ (mg/L)	0.02	0.20	3.62	0.14	51.16	0.04	1.28	0.68	0.00
Ca ²⁺ (mg/L)	566.01	77.25	152.11	189.74	68.13	142.17	26.38	85.27	45.40
Mg ²⁺ (mg/L)	1.13	54.76	120.95	148.25	11.33	38.78	11.15	22.72	15.49
Na ⁺ (mg/L)	336.61	191.30	384.18	352.92	18.58	95.79	6.18	86.36	87.45
K ⁺ (mg/L)	2.27	31.58	40.71	41.77	10.08	64.86	3.01	25.92	35.04
Li ⁺ (mg/L)	0.02	0.32	1.88	1.54	0.01	0.04	0.00	0.02	0.04
As ³⁺ (mg/L)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0.60	2.90	7.60	0.60	63.00	2.70	330.00	29.00	0.20
F ⁻ (mg/L)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻ (mg/L)	1412.51	86.67	639.34	538.46	2.64	426.01	4.34	26.49	10.98
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0.79	1.21	0.00	0.00	996.12	75.08	895.42	276.53	73.82
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	16.47	885.53	982.08	1288.90	0.00	153.76	60.66	298.79	361.45
CO ₃ ⁻ (mg/L)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Gambar 2. Diagram ternary Cl-HCO₃-SO₄ untuk menentukan tipe air manifestasi panas bumi (Nicholson, 1993)



Gambar 3. Diagram ternary untuk menentukan asal fluida panas bumi (Giggenbach, 1991)

Berdasarkan analisis isotop dan geokimia gas pada lapangan panas bumi Dieng maka fluida panas bumi Dieng berasal dari air meteorik yang berinteraksi dengan

batuan namun juga ada kontribusi air magmatik terhadap fluida geotermal (Prasetio dkk., 2010).

Reservoir Panas Bumi

Penentuan jenis reservoir diinterpretasikan berdasarkan sebaran manifestasi panas bumi, tipe manifestasi, kondisi topografi, tipe fluida panas bumi dan berdasarkan rasio $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4$ dan Cl/SO_4 . Pada aliran fluida menjauh dari *upflow*, maka fluida akan memiliki kesempatan yang besar untuk berinteraksi dengan batuan yang dilewati sehingga kemungkinan terjadi peningkatan HCO_3^- . Hal ini dikombinasi dengan kehilangan H_2S karena reaksi air-batuan pada aliran lateral. Dengan demikian kenaikan rasio $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ mengindikasikan aliran menjauh dari *upflow* (Nicholson, 1993).

Keluaran yang memiliki nilai rasio $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ rendah dan mengalami kenaikan mengindikasikan arah alirannya bergerak *upflow* ke *outflow* (GT-4 ke GT-2, GT 5 ke GT-6, GT-7 ke GT-9). *Upflow* ditunjukkan oleh kehadiran manifestasi fumarol pada lokasi GT-5 (reservoir 3) dan GT-7 pada reservoir 4. Fluida di reservoir 1 menunjukkan adanya proses pencampuran (*dilusi*) dengan air tanah

yang dicirikan oleh nilai Cl yang rendah pada rasio B/Cl.

Sebaran manifestasi GT-1 (Gumelem) berada pada bagian selatan Banjarnegara dan terpisah sangat jauh dengan GT-2 s.d. GT-9. Tipe manifestasi berupa pemunculan air hangat dengan kandungan klorida tinggi (yang menandakan sumber air berasal dari reservoir). Rasio $\text{B}/\text{Cl} = 0$ menandakan bahwa manifestasi GT-1 yang bersumber dari air reservoir yang telah mengalami pencampuran dengan air tanah dalam perjalanannya menuju ke permukaan bumi. Sumber panas (*heat source*) tidak terkait langsung dengan aktivitas vulkanik, namun diduga berasal dari suatu tubuh intrusi batuan beku yang dalam serta masih menyimpan panas. Dengan dijumpainya lava yang berada di sekitar manifestasi maka tubuh intrusi tersebut tidaklah jauh dari lokasi manifestasi namun pada posisi yang dalam. Anggota breksi Formasi Halang tersusun oleh material vulkanik berupa lava, breksi dan intrusi batuan beku. Oleh karena itu, manifestasi GT-1 merupakan suatu reservoir tersendiri.

Tabel 2. Kelompok reservoir dari manifestasi panas bumi di daerah penelitian

Reservoir	Kode	Perbandingan Unsur (mol %)		
		B/Cl	$\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4$	Cl/SO_4
I	GT-1 (Gumelem)	0.00	32.81	4835.12
II	GT-2 (Kalibening)	0.37	1151.75	193.70
	GT-3(Tempuran)	0.11	0.00	0.00
	GT-4 (Kaliputih)	0.13	0.00	0.00
III	GT-5 (Sikidang)	0.02	0.00	0.01
	GT-6 (Pulosari)	0.07	3.22	15.34
IV	GT-7 (Candradimuka)	1.35	0.11	0.01
	GT-8 (Sileri)	0.94	1.70	0.26
	GT-9 (Bitingan)	0.95	7.71	0.40

Manifestasi GT-2, GT-3 dan GT-4 berada pada bagian utara Banjarnegara dengan litologi berupa breksi vulkanik yang termasuk dalam batuan gunung api Jembangan. Secara topografis lokasi GT-4 berada pada posisi paling tinggi dengan suhu fluida paling tinggi, sedangkan GT-2 berada pada posisi topografi paling

rendah. Ketiga manifestasi menunjukkan tipe fluida yang sama yaitu air bikarbonat, yang menandakan bahwa ketiga manifestasi telah mengalami pencampuran dengan air tanah. Berdasarkan nilai rasio $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ (Tabel 2) maka terjadi aliran fluida yang bergerak dari *upflow* ke *outflow* (dari lokasi GT-4 ke arah GT-2).

Berdasarkan data pengukuran Magnetotelurik (MT) yang telah dilakukan tim Geoteknologi LIPI (2013) maka sistem panas bumi di Kecamatan Wanayasa terpisah dengan sistem panas bumi di Kecamatan Batur. Kedua daerah ini dipisahkan oleh patahan di sekitar Jatilawang. Berdasarkan data-data tersebut maka manifestasi GT-2, GT-3 dan GT-4 berasal dari reservoir tersendiri yang terpisah dengan sistem panas bumi di Dataran Tinggi Dieng, Kecamatan Batur.

Manifestasi GT-5 (Sikidang) dan GT-6 (Pulosari) berada di bagian selatan Dataran Tinggi Dieng dengan litologi berupa breksi dari Batuan Gunungapi Dieng. Secara topografi posisi GT-5 lebih tinggi dibanding GT-6, dan pada GT-5 juga menunjukkan adanya Fumarol yang merupakan penanda zona *upflow* dari sistem panas bumi. Berdasarkan nilai rasio $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ (Tabel 2) pada GT-6 terjadi peningkatan nilai yang menandakan adanya aliran fluida dari zona *up flow* lokasi GT-5 menuju zona *out flow* lokasi GT-6. Tipe fluida pada lokasi GT-5 bersifat sulfat (terkait dengan aktivitas vulkanisme) sedangkan lokasi GT-6 bersifat klorida yang menandakan sumber air berasal dari reservoir. Ramadhan Y, dkk. (2013) mengindikasikan bahwa manifestasi air panas GT-5 (Sikidang) dengan manifestasi GT-6 (Pulosari) berbeda reservoir. Rasio B/Cl Pulosari (GT-6) < 0.01 yang menandakan pengaruh dari proses *vulcano-magmatic*, sedangkan mata air (GT-5) B/Cl < 0.03.

Manifestasi di GT-7, GT-8 dan GT-9 berada pada Dataran Tinggi Dieng dengan litologi breksi vulkanik dari Batuan Gunungapi Dieng. Pada lokasi GT-7 (Kawah Candradimuka) terdapat manifestasi fumarol yang merupakan zona *up flow* dari reservoir IV. Nilai rasio $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ cenderung meningkat dari lokasi GT-7 ke arah GT-8 dan GT-9 (Tabel 2). Tipe fluida pada lokasi GT-7 merupakan air sulfat dengan suhu tertinggi yang menandakan sumber fluida dari aktivitas vulkanisme, sedangkan pada GT-8 dan GT-9 bersifat bikarbonat yang

menandakan adanya percampuran dengan air tanah.

Temperatur Reservoir

Air panas yang dapat digunakan untuk penghitungan geotermometer atau menghitung temperatur reservoir adalah air panas bertipe klorida (Cl). Kehadiran klorida mengindikasikan air tersebut langsung bersumber dari reservoir tanpa adanya mixing dengan batuan sampling atau fluida lainnya.

Diagram K-Na-Mg (Gambar 4) menggambarkan kesetimbangan fluida panas bumi. Berdasarkan analisis kesetimbangan K-Na-Mg terlihat bahwa hampir semua air panas berada di dekat Mg. Hal ini menunjukkan bahwa air panas bumi tersebut merupakan air *immature*. Hal ini menjadi salah satu indikasi bahwa meskipun air keluaran bertipe air klorida, yang merupakan air dari reservoir, namun sudah banyak terdilusi dengan air dekat permukaan

Manifestasi GT-1 dan GT-6 keduanya memiliki kandungan Cl yang tinggi serta pH yang netral sehingga dari kedua air ini dapat dilakukan estimasi temperatur reservoir. Geotermometer yang digunakan untuk menghitung temperatur reservoir 1 untuk GT-1 adalah K-Na-Mg dan Na-K-Ca karena manifestasi GT-1 merupakan *partial mature* dan memiliki kandungan Ca yang tinggi. Sedangkan untuk reservoir 3 pada manifestasi GT-6 adalah geotermometer Na-K-Ca karena air panas memiliki kandungan Ca yang tinggi. Formula geotermometer Na-K-Ca dari Fournier (1979) dalam Nicholson (1993) adalah sebagai berikut:

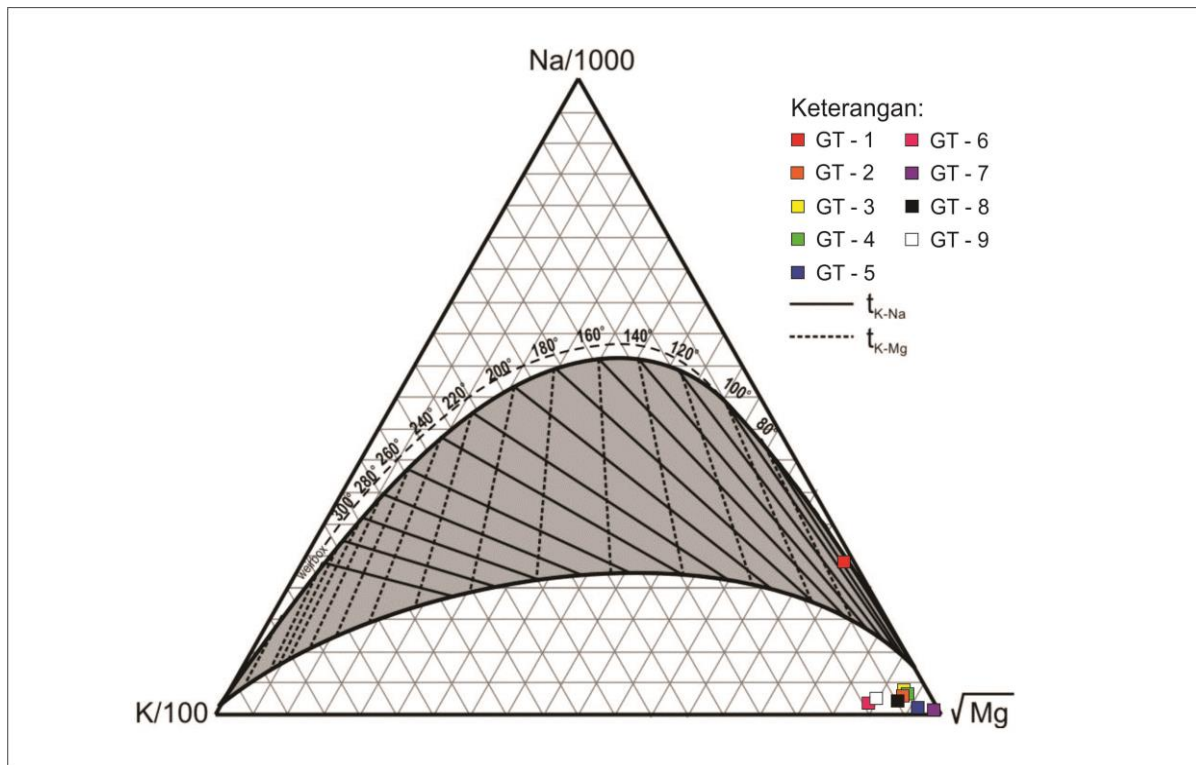
$$T_{\text{Na-K-Ca}} (\text{°C}) = (1647/(\log(\text{Na/K}) + [\beta \times \log\sqrt{(\text{Ca/Na})}] + 2.24)) - 273$$

Berdasarkan perhitungan geotermometer tersebut, reservoir I (lokasi GT-1) memiliki temperatur sekitar 81-174°C, sedangkan reservoir III sekitar 137 °C, sehingga termasuk tipe reservoir suhu sedang.

Temperatur reservoir II dan IV dihitung

menggunakan geotermometer K-Na. Geotermometer ini digunakan dengan mempertimbangkan analisis kimia air mempunyai kesetimbangan ion yang kurang baik. Keuntungan dari geotermometer ini adalah sangat sedikit terpengaruh oleh dilusi. Proses

re-equilibriumnya yang lebih lambat ketimbang silika memberikan indikasi bahwa geotermometer ini lebih baik digunakan untuk mengestimasi temperatur dari fluida yang lebih dalam (Karingithi, 2009)..



Gambar 4. Diagram ternary K, Na, Mg

Tabel 3. Hasil penghitungan geotermometri (Na-K-Ca) dan (K-Na-Mg)

No.	Reservoir	Lokasi	T (Na-K-Ca) (°C)	T (K-Na-Mg) (°C)	Tipe Reservoir
1	I	GT-1	174	81	Suhu Sedang
2	III	GT-6	137	-	Suhu Sedang

Berdasarkan geotermometer Na-K, reservoir II memiliki temperaturnya sekitar 237-276°C, sedangkan reservoir IV sekitar

374-339°C, sehingga termasuk reservoir tipe suhu tinggi.

Tabel 4. Hasil penghitungan geotermometri Na-K pada reservoir II dan IV
GEOTERMOMETER Na-K

No.	Reservoir	Lokasi	Fournier (1979)	Giggenbach (1988)	Tipe Reservoir
1	II	GT-2	264	276	Suhu Tinggi
2		GT-3	222	237	
3		GT-4	232	246	
4	IV	GT-8	334	339	Suhu Tinggi
5		GT-9	374	374	

Ramadhan dkk (2013) berpendapat bahwa suhu reservoir panas bumi pada Dataran Tinggi Dieng berkisar 225°C – 295°C.

Hilang Panas

Penghitungan hilang panas alamiah (*natural heat loss*) dalam penentuan potensi panas bumi perlu dilakukan pada keluaran manifestasi panas bumi di daerah penelitian. Hilang panas alamiah ini dihitung berdasarkan rumus yang diberikan oleh Hochstein (1994), yaitu :

$$Q = m \cdot (h_{FT} - h_{FT0}) \approx m \cdot c \cdot (T - T_0)$$

Keterangan:

Q = hilang panas (kJ/detik atau kW)

m = debit massa air panas yang keluar (kg/detik) = $V \cdot \rho$

h_{FT}, h_{FT0} = entalpi fluida (kJ/kg)

T = temperature mata air panas

T_0 = temperature udara rata-rata tahunan

c = kapasitas panas spesifik (kJ/kg. °C), c untuk air memiliki nilai rata-rata = 4,2 kJ/kg. °C

Penghitungan hilang panas alamiah disesuaikan dengan tipe manifestasi panas bumi. Rumus di atas dapat digunakan untuk keluaran langsung, yaitu mata air panas atau hangat, aliran air panas, fumarola dan *steam* yang keluar dari rekahan. Penghitungan hilang panas alamiah akan dilakukan untuk manifestasi bertipe mata air panas dan hangat.

Tabel 5. Penghitungan hilang panas pada masing-masing manifestasi

No.	KodeLokasi	Hilang Panas Bumi Alamiah					Q (kW)
		Debit	c	T udara	T fluida	T (Fluida-udara)	
1	GT-1	1.53	4.20	27	41.9	14.90	95.55
2	GT-2	16.75	4.20	25	42.6	17.60	1238.37
3	GT-3	50.18	4.20	24	39.5	15.50	3266.98
4	GT-4	2.29	4.20	24	43.4	19.40	186.24
5	GT-5	0.00	4.20	18	87.2	69.20	0.00
6	GT-6	1.57	4.20	20	57.4	37.40	246.40
7	GT-7	0.00	4.20	22	84	62.00	0.00
8	GT-8	37.46	4.20	22	59.6	37.60	5915.50
9	GT-9	115.23	4.20	22	64.7	42.70	20664.94
Total (MW)							31.61

Tabel 6. Prosentase hasil analisis dalam mol

Kode Nomor	Kode	pH	DATA KIMIA AIR (mg/kg = mg gas per kg steam)														TDS	
			Netral				Kation						Anion					
			Satuan mg/L				Satuan mg/L						Satuan mg/L					
			SiO2	B	As3+	Li+	Na+	K+	Fe+	Mg2+	Ca2+	Al3+	NH4+	Cl-	SO42-	HCO3-		F-
1	GT-1	8,35	33,47	1,14	0,00	0,02	336,61	2,27	0,02	1,13	566,01	0,01	0,60	1412,51	0,79	16,47	0,00	254
2	GT-2	7,77	159,64	9,65	0,00	0,32	191,30	31,58	0,20	54,76	77,25	0,01	2,90	86,67	1,21	885,53	0,00	102
3	GT-3	7,03	137,17	21,11	0,00	1,88	384,18	40,71	3,62	120,95	152,11	0,01	7,60	639,34	0,00	982,08	0,00	336
4	GT-4	9,65	165,43	21,36	0,00	1,54	352,92	41,77	0,14	148,25	189,74	0,01	0,60	538,46	0,00	1288,90	0,00	304
5	GT-5	2,43	226,16	0,02	0,00	0,01	18,58	10,08	51,16	11,33	68,13	10,75	63,00	2,64	996,12	0,00	0,27	366
6	GT-6	6,03	229,45	9,04	0,00	0,04	95,79	64,86	0,04	38,78	142,17	0,01	2,70	426,01	75,08	153,76	0,00	740
7	GT-7	7,03	37,61	1,78	4,00	0,00	6,18	3,01	1,28	11,15	26,38	0,01	330,00	4,34	895,42	60,66	0,00	936
8	GT-8	7,04	159,14	7,55	0,00	0,02	86,36	25,92	0,68	22,72	85,27	0,08	29,00	26,49	276,53	298,79	0,00	1010
9	GT-9	7,68	189,18	3,17	0,00	0,04	87,45	35,04	0,00	15,49	45,40	0,01	0,20	10,98	73,82	361,45	0,00	

Kode Nomor	Kode	pH	DATA KIMIA AIR (mol) ; --> (dibagi Ar/Mr)														Total Unsur/ Senyawa	
			Satuan mol				Satuan mol				Satuan mol							
			60	10,8	75	7	23	39	56	24	40	27	15	35,5	96	61		19
			SiO ₂	B	As	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻		F ⁻
1	GT-1	8,35	0,56	0,11	0,00	0,00	14,64	0,06	0,00	0,05	14,15	0,00	0,04	39,79	0,01	0,27	0,00	69,66
2	GT-2	7,77	2,66	0,89	0,00	0,05	8,32	0,81	0,00	2,28	1,93	0,00	0,19	2,44	0,01	14,52	0,00	34,11
3	GT-3	7,03	2,29	1,95	0,00	0,27	16,70	1,04	0,06	5,04	3,80	0,00	0,51	18,01	0,00	16,10	0,00	65,78
4	GT-4	9,65	2,76	1,98	0,00	0,22	15,34	1,07	0,00	6,18	4,74	0,00	0,04	15,17	0,00	21,13	0,00	68,63
5	GT-5	2,43	3,77	0,00	0,00	0,00	0,81	0,26	0,91	0,47	1,70	0,40	4,20	0,07	10,38	0,00	0,01	22,99
6	GT-6	6,03	3,82	0,84	0,00	0,01	4,16	1,66	0,00	1,62	3,55	0,00	0,18	12,00	0,78	2,52	0,00	31,15
7	GT-7	7,03	0,63	0,16	0,05	0,00	0,27	0,08	0,02	0,46	0,66	0,00	22,00	0,12	9,33	0,99	0,00	34,78
8	GT-8	7,04	2,65	0,70	0,00	0,00	3,75	0,66	0,01	0,95	2,13	0,00	1,93	0,75	2,88	4,90	0,00	21,33
9	GT-9	7,68	3,15	0,29	0,00	0,01	3,80	0,90	0,00	0,65	1,14	0,00	0,01	0,31	0,77	5,93	0,00	16,95

Kode Nomor	Kode	pH	mol %				mol %				mol %							
			60	10,8	75	7	23	39	56	24	40	27	15	35,5	96	61	19	
			SiO ₂	B	As	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	
1	GT-1	8,35	0,80	0,15	0,00	0,00	21,01	0,08	0,00	0,07	20,31	0,00	0,06	57,11	0,01	0,39	0,00	
2	GT-2	7,77	7,80	2,62	0,00	0,13	24,39	2,37	0,01	6,69	5,66	0,00	0,57	7,16	0,04	42,56	0,00	
3	GT-3	7,03	3,48	2,97	0,00	0,41	25,39	1,59	0,10	7,66	5,78	0,00	0,77	27,38	0,00	24,48	0,00	
4	GT-4	9,65	4,02	2,88	0,00	0,32	22,36	1,56	0,00	9,00	6,91	0,00	0,06	22,10	0,00	30,79	0,00	
5	GT-5	2,43	16,39	0,01	0,00	0,01	3,51	1,12	3,97	2,05	7,41	1,73	18,27	0,32	45,13	0,00	0,06	
6	GT-6	6,03	12,28	2,69	0,00	0,02	13,37	5,34	0,00	5,19	11,41	0,00	0,58	38,53	2,51	8,09	0,00	
7	GT-7	7,03	1,80	0,47	0,15	0,00	0,77	0,22	0,07	1,34	1,90	0,00	63,25	0,35	26,82	2,86	0,00	
8	GT-8	7,04	12,44	3,28	0,00	0,01	17,61	3,12	0,06	4,44	10,00	0,01	9,07	3,50	13,51	22,97	0,00	
9	GT-9	7,68	18,60	1,73	0,00	0,03	22,43	5,30	0,00	3,81	6,70	0,00	0,08	1,82	4,54	34,96	0,00	

Tabel 7. Rasio perbandingan unsur

mol %			mol %						mol %					
60	10,8	75	7	23	39	56	24	40	27	15	35,5	96	61	19
SiO ₂	B	As	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻
0,80	0,15	0,00	0,00	21,01	0,08	0,00	0,07	20,31	0,00	0,06	57,11	0,01	0,39	0,00
7,80	2,62	0,00	0,13	24,39	2,37	0,01	6,69	5,66	0,00	0,57	7,16	0,04	42,56	0,00
3,48	2,97	0,00	0,41	25,39	1,59	0,10	7,66	5,78	0,00	0,77	27,38	0,00	24,48	0,00
4,02	2,88	0,00	0,32	22,36	1,56	0,00	9,00	6,91	0,00	0,06	22,10	0,00	30,79	0,00
16,39	0,01	0,00	0,01	3,51	1,12	3,97	2,05	7,41	1,73	18,27	0,32	45,13	0,00	0,06
12,28	2,69	0,00	0,02	13,37	5,34	0,00	5,19	11,41	0,00	0,58	38,53	2,51	8,09	0,00
1,80	0,47	0,15	0,00	0,77	0,22	0,07	1,34	1,90	0,00	63,25	0,35	26,82	2,86	0,00
12,44	3,28	0,00	0,01	17,61	3,12	0,06	4,44	10,00	0,01	9,07	3,50	13,51	22,97	0,00
18,60	1,73	0,00	0,03	22,43	5,30	0,00	3,81	6,70	0,00	0,08	1,82	4,54	34,96	0,00

Kode	Lokasi	Perbandingan Unsur (mol %)											
		NH4/B	Cl/B	Na/K	B/Li	Cl/Mg	Mg/Ca	Na/Mg	HCO3/SO4	Cl/SO4	Na/Ca	Cl/HCO3	B/Cl
1	GT-1	0,38	0,00	251,44	36,94	845,08	0,00	310,84	32,81	4835,12	1,03	147,37	0,00
2	GT-2	0,22	0,37	10,27	19,55	1,07	1,18	3,65	1151,75	193,70	4,31	0,17	0,37
3	GT-3	0,26	0,11	16,00	7,28	3,57	1,33	3,31	0,00	0,00	4,39	1,12	0,11
4	GT-4	0,02	0,13	14,33	8,99	2,46	1,30	2,48	0,00	0,00	3,23	0,72	0,13
5	GT-5	2268,00	0,02	3,13	1,30	0,16	0,28	1,71	0,00	0,01	0,47	#DIV/0!	0,02
6	GT-6	0,22	0,07	2,50	146,48	7,43	0,45	2,58	3,22	15,34	1,17	4,76	0,07
7	GT-7	133,48	1,35	3,48	#DIV/0!	0,26	0,70	0,58	0,11	0,01	0,41	0,12	1,35
8	GT-8	2,77	0,94	5,65	244,68	0,79	0,44	3,97	1,70	0,26	1,76	0,15	0,94
9	GT-9	0,05	0,95	4,23	51,37	0,48	0,57	5,89	7,71	0,40	3,35	0,05	0,95

Tabel 8. Geotermometer Na-K-Ca

GEOTERMOMETER Na-K-Ca											
T0C = 1647/([log (Na/K)+b[log(Ca1/2/Na)+2.06]+2.47] -273)											
dimana t > 70°C; b=4/3, jika t < 100°C; b=1/3, jika t > 100°C; jika [log(Ca1/2/Na)+2.06] bernilai positif gunakan b=4/3; dan b=1/3 jika negatif											
No.	Lokasi	Na/K	log (Na/K)	Ca ^{1/2}	(Ca ^{1/2} /Na)	log(Ca ^{1/2} /Na)	log(Ca ^{1/2} /Na)+2.06	b[log(Ca ^{1/2} /Na)+2.06]	b[log(Ca1/2/Na)+2.06]+2.47	1647/([log (Na/K)+b[log (Ca1/2/Na)+2.06]+2.47)	1647/([log (Na/K)+b[log (Ca1/2/Na)+2.06]+2.47]-273)
1	GT-1	148,29	2,17	23,79	0,07	-1,15	0,91	1,21	3,68	447,27	174,27
2	GT-2	6,06	0,78	8,79	0,05	-1,34	0,72	0,96	3,43	479,76	206,76
3	GT-3	9,44	0,97	12,33	0,03	-1,49	0,57	0,76	3,23	510,64	237,64
4	GT-4	8,45	0,93	13,77	0,04	-1,41	0,65	0,87	3,34	493,33	220,33
5	GT-5	1,84	0,27	8,25	0,44	-0,35	1,71	2,28	4,75	346,97	73,97
6	GT-6	1,48	0,17	11,92	0,12	-0,90	1,16	1,54	4,01	410,71	137,71
7	GT-7	2,05	0,31	5,14	0,83	-0,08	1,98	2,64	5,11	322,34	49,34
8	GT-8	3,33	0,52	9,23	0,11	-0,97	1,09	1,45	3,92	419,93	146,93
9	GT-9	2,50	0,40	6,74	0,08	-1,11	0,95	1,26	3,73	441,28	168,28

Tabel 9. Geotermometer Na-K

Geotermometer Na-K										
Fournier (1979) Giggenbach (1988)										
No.	Lokasi	T°C = (1217/(log (Na/K)+1.483)-273)				T°C = (1390/(log (Na/K)+1.750)-273)				
		Na/K	log (Na/K)	log (Na/K)+1.483	1217/(log (Na/K)+1.483)	log (Na/K)+1.750	1390/(log (Na/K)+1.750)	(1390/(log (Na/K)+1.750)-273)		
1	GT-1	148,29	2,17	3,65	333,05	60,05	3,92	354,49	81,49	
2	GT-2	6,06	0,78	2,27	537,24	264,24	2,53	548,91	275,91	
3	GT-3	9,44	0,97	2,46	495,15	222,15	2,72	510,12	237,12	
4	GT-4	8,45	0,93	2,41	505,02	232,02	2,68	519,27	246,27	
5	GT-5	1,84	0,27	1,75	695,99	422,99	2,02	689,63	416,63	
6	GT-6	1,48	0,17	1,65	736,53	463,53	1,92	724,21	451,21	
7	GT-7	2,05	0,31	1,80	677,84	404,84	2,06	673,96	400,96	
8	GT-8	3,33	0,52	2,01	606,78	333,78	2,27	611,61	338,61	
9	GT-9	2,50	0,40	1,88	647,27	374,27	2,15	647,36	374,36	

Tabel 10. Geotermometer K-Mg

No.	Kode	GEOTERMOMETER K-Mg					
		T°C = 4410/[14.0-log(K ² /Mg)]-273					
		K ²	(K ² /Mg)	log(K ² /Mg)	[14.0-log(K ² /Mg)]	4410/[14.0-log(K ² /Mg)]	4410/[14.0-log(K ² /Mg)]-273
1	GT-1	5,15	4,56	0,66	13,34	330,56	57,56
2	GT-2	997,30	18,21	1,26	12,74	346,16	73,16
3	GT-3	1657,30	13,70	1,14	12,86	342,84	69,84
4	GT-4	1744,73	11,77	1,07	12,93	341,09	68,09
5	GT-5	101,61	8,97	0,95	13,05	338,00	65,00
6	GT-6	4206,82	108,48	2,04	11,96	368,59	95,59
7	GT-7	9,06	0,81	-0,09	14,09	312,98	39,98
8	GT-8	671,85	29,57	1,47	12,53	351,98	78,98
9	GT-9	1227,80	79,26	1,90	12,10	364,44	91,44

KESIMPULAN

Terdapat tiga jenis tipe fluida di daerah penelitian, yaitu tipe bikarbonat (GT-2, GT-3, GT-4, GT-8 dan GT-9), tipe klorida (GT-1, GT-6), dan tipe sulfat (GT-5 dan GT-7). Fluida pada lokasi GT-1, GT-5, dan GT-6 berasal dari reservoir; sedangkan fluida GT- 2, GT-7, GT- 8, GT- 9 telah mengalami interaksi dengan batuan sedimen yang kaya akan zat organik. Berdasarkan rasio HCO₃/SO₄, Cl/SO₄ dan B/Cl, maka reservoir panas bumi di sekitar lokasi manifestasi terdiri dari empat reservoir. Reservoir I, berada di sekitar lokasi GT-1 Desa Gumelem Wetan dengan suhu reservoir 81⁰ C (bertipe suhu sedang), hilang panas alamiahnya 95,5 kW. Reservoir II berada di sekitar GT-2, GT-3, GT-4, Kecamatan Wanayasa dan Kalibening, dengan suhu reservoir berkisar 222⁰ C- 264⁰C (suhu tinggi), potensi hilang panas alamiahnya 4,691 MW. Reservoir III berada di sekitar lokasi GT-5, GT-6 di Kecamatan Batur, dengan suhu reservoir berkisar 137⁰ C (bertipe suhu sedang), potensi hilang panas alamiahnya 246,4 kW. Reservoir IV berada sekitar lokasi GT-7, GT-8, GT-9 di Kecamatan Batur dengan suhu reservoir berkisar 334-374⁰ C (bertipe suhu tinggi), potensi hilang panas alamiahnya 26,58 MW.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Dinas PSDA dan ESDM

Kabupaten Banjarnegara atas ijin dan kesempatan melakukan kegiatan penelitian inventarisasi potensi panas bumi di Kabupaten Banjarnegara.

DAFTAR PUSTAKA

Bemmelen Van, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. Vol.1A. The Hague, Government Printing Office, Jakarta.

Condon W.H., Pardiyanto L., Ketner K.R., Amin T.C., Gafoer S., and Samodra H., 1996. *Geological Map of Banjarnegara dan Pekalongan Quadrangles, Central Java*. Geological Research and Development Centre, Bandung.

Giggenbach, W. F.,1991. *Chemical techniques in geothermal exploration*. In: Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, F. D'Amore (Ed.), UNITAR-UNDP, Rome, pp. 252-270

Karingithi, C W., 2009. *Chemical Geothermometers for Geothermal Exploration*. Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources, organized by UNU-GTP, KenGen and GDC, at Lake Naivasha, Kenya.

Muljani Sri, Setyawan H., Wibawa G., Altway A. ; 2013; *Pencucian Dua tahap Untuk Preparasi Silika Dari Lumpur Panas Bumi*; Jurnal Teknik Kimia Vol 7, No2.

Nenny Miryani Saptadji 2001. *Teknik Panas Bumi*; Departemen

- Perminyakan, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknokolli Mineral, ITB, Bandung.
- Nicholson, K.N., 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques*. Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, 263pp.
- Prasetio R., Abidin Z. , Yulizar Y; 2010. *Isotope and Gas Geochemistry of Dieng Geothermal Field, Indonesia*; Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.
- Pohan, Mangara P, Herman Danny Z, R Hutamadi. 2008. *Penelitian Mineral Ikutan pada Lapangan Panas Bumi daerah Dieng, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah*. Artikel Pusat Sumberdaya Geologi. Bandung.
- Ramadhan.,K. Herdianita , 2013. *Hotwater Geochemistry for Interpreting The Condition of Geothermal Reservoir, Dieng Plateau Case, Banjarnegara-Wonosobo Regency, Central Java*; Indonesian Journal of Geology, Vol. 8 No. 2 June 2013: 89-96
- Riyanto N., Sumardi, Indra Perdana; 2012. *Kinetika Pelarutan Silika Amorf dari Lumpur Panas Bumi Dieng*; Jurnal Rekayasa Proses, Vol. 6, No. 1, 2012
- Layman, E B., Agus, I, dan Warsa, S. 2002. *The Dieng Geothermal Resource, Central Java, Indonesia*. Procceding Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 26, September 22-25.

Diterima	: 20 Agustus 2015
Direvisi	: 1 Oktober 2015
Disetujui	: 15 November 2015

**BIOLEACHING FOR THE RECOVERY OF METALS
PEMISAHAN UNSUR LOGAM DENGAN BIOLEACHING****Rita Susilawati**

Center for Geological Resources
Jl Soekarno Hatta no 444 Bandung 40254
Email: rita.susilawati@uqconnect.edu.au

ABSTRACT

A simple laboratory experiment has been conducted in order to demonstrate the ability of bacteria to leach the metal elements from insoluble ores or solid substrates. The experiment was conducted in a leaching column that was set up using 5 cc syringe that contained 1 cc of glass wool and 3.5cc of mine tailings. The basal salt was used as an inoculation media while mine tailing was used as a leaching subject and a source of bacterial leaching. Bacterial leaching was isolated using the most probable number (MPN) technique. Overall, the results of the experiment showed the capability of bioleaching process to recover metals from the mine tailings.

Keywords: bacteria, bioleaching, metals

SARI

Kemampuan bakteri untuk memisahkan unsur-unsur logam (bioleaching) dari tailing diperlihatkan melalui eksperimen sederhana yang dilakukan di laboratorium. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan kolom yang dibuat dari syringe berukuran 5cc yang telah diisi oleh 1cc benang kaca dan 3.5cc tailing. Tailing digunakan sebagai objek pemisahan dan juga sumber dari bakteri peluruh logam, sementara garam basal digunakan sebagai media untuk merangsang pertumbuhan bakteri tersebut. Isolasi bakteri pemisah logam yang terkandung dalam tailing dilakukan dengan menggunakan teknik MPN (Most Probable Number). Secara umum, eksperimen yang dilakukan berhasil menunjukkan kemampuan bakteri dalam memisahkan logam-logam yang terkandung dalam tailing.

Kata kunci: bakteri, bioleaching, logam

INTRODUCTION

In general, bioleaching is a process described as being the use of microorganisms to transform elements (metal) from insoluble ores or solid substrates so that the elements can be extracted from a material when water is filtered through it. In this process, the mobilization of metal ion occurred either directly by the metabolism of leaching bacteria or indirectly by ferric iron (Fe^{3+}) that is regenerated from ferrous iron (Fe^{2+}) by bacterial oxidation (Escobar *et al.*, 2010). Bioleaching is mainly applied in the recovery of low grade sulfide ores and concentrates, that cannot be processed economically by conventional methods (Suzuki, 2001). Bioleaching is also used as a natural bioremediation control to heavy metal pollution in sulfuric mine waste (Southam & Beveridge, 1992). A variety of acidophilic and chemoautolithotrophic bacteria such as *Thiobacillus thiooxidans* (sulfur) and *Thiobacillus ferrooxidans* (both iron and sulfur) as well as *Leptospirillum ferrooxidans* facilitate metal solubilization from solid wastes or other solids (Escobar *et al.*, 2010 ; Suzuki, 2001 ; Mielke *et al.*, 2003). The bacteria can catalyze the oxidation of elemental sulfur or reduced sulfur compounds to sulfuric acid and obtain energy from the oxidation of elemental sulfur or reduced sulfur compound, and cause bioacidification and

solubilization of heavy metals (Southam & Beveridge, 1992). Examples of metals extracted by bioleaching are Copper from Chalcopyrite, Zinc from Sphalerite, Uranium from Uraninite and Gold from gold bearing Arsenopyrite.

Using simple laboratory experiment, the paper aims to demonstrate the capability of bioleaching process to recover metal ions from mine tailings. The paper also discusses several key factors that may need to be considered for optimizing the recovery of metals through bioleaching.

METHODS

Material

In this experiment, mine tailings was used as a leaching subject and a source of bacterial leaching. Mine tailings sample was provided by Geomicrobiology Lab at the School of Earth Sciences, University of Queensland, Australia and no information provided about the source location of the tailing. The basal salt was used as an inoculation media, which containing (per L of deionized water): 0.4 gr $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0.1 gr K_2HPO_4 , 0.4 gr $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.33 gr $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and 18 mg $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pH 2.3. Bioleaching experiment was carried out in a simple leaching column that was set up using 5 cc syringes. The syringe contained 1 cc of glass wool and 3.5 cc of tailings (Figure 1).



Figure 1. Leaching column for bioleaching experiment (left) and tubes prepared for enumeration of iron oxidizing bacteria (right)

Enumeration of Bacteria using Most Probable Number (MPN) Method

In the laboratory, bacterial leaching which are the dominant iron and sulfur oxidizing bacterium from the tailings were isolated using the MPN technique (Cochran, 1950). One gram of mine tailings subjected to tenfold serial dilution (10^{-1} to 10^{-5}) and diluted into 5 steriles 16x100 mm test tubes (with push caps) containing 9 mL of basal salt media. Inoculation was done with transferring 0.5 mL of each fold dilution into 50 sterile 13x100 mm test tubes (with push caps), containing 4.5 mL of basal media. The tubes are then divided into 2 groups. The first 25 tubes prepared for enumeration of iron oxidizing bacteria (e.g: *Acidithiobacillus ferrooxidans*) where additional 0.5 mL sterile $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (33.3 gr/100mL, pH 2.3) was added into each tubes as a source of energy. The second group also consist of 25 tubes and prepared for enumeration of sulfur oxidizing bacteria (e.g: *Acidithiobacillus thiooxidans*) where a thin film of S^0 was added into each tubes after the bacteria have been inoculated. All culture tubes were then incubated for 2 weeks under stationary conditions at room temperature. At the end of inoculation, tubes were scored for positive growth and iron and sulfur oxidizing bacteria population density was calculated.

Bioleaching Experiment

Table 1. Result of bacterial enumeration using MPN method

	Dilution fold				
	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
Iron oxidizing bacteria	0	0	0	0	0
Sulfur oxidizing bacteria	4	3	3	4	3
MPN of sulfur oxidizing bacteria	$0.45 \times 10^2 \times 2 = 90$ MPN/gr of tailings				

Bioleaching Experiment

In this experiment, the function of the bacteria is to create a chemical environment suitable for metal extraction. In order to figure out the influence of bacteria on leaching chemical

Four mL of basal salts (pH = 2.3) was added to the bioleaching column (Figure 1) at the start of the experiment (T=0) while 2 mL was added in each subsequent week to promote the growth of iron and sulfur oxidizing bacteria. The column was incubated for 4 weeks in room temperature. The leachate was collected each week for inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP AES) elemental analysis. The pH of pool leachate was also recorded each week.

Carbonate Analysis

The amount of carbonates in the tailings was determined using a simple gravimetric procedure as described by Bauer *et al.* (1972). The method estimates soil capacity to neutralize acid, or to produce CO_2 on treatment with acid (HCl), and then calculate the weight of carbonate present on the assumption that it is all present as $CaCO_3$ (Calcite).

RESULTS

Bacterial Enumeration

Positive growth was only observed in sulfur oxidizing bacterial tubes (Table 1), while all iron oxidizing bacterial tubes reveal negative results. Using MPN method, it is calculated that the number of sulfur oxidizing bacteria present in the tailings was 90 MPN/gr of tailings.

environment, the pH of the leachates was analyzed regularly as well as the metal ion leached each week (Table 2). The amount of Iron and Sulfur in the media added to the column (C2 and C3) was also calculated (Table 3), which are 0.9 ppm and 0 ppm for sulfur and iron respectively.

Tabel 2. ICP EMS results of leachate solution

Date collected	Time (days)	Composition of the leachate from columns with 3.45gr tailings (ppm)										
		pH	As	Cu	Ni	Pb	Zn	Ca	Fe	Na	S	Si
Aug. 28, 2013	0.00	7.15	0.12	0.28	0.50	0.63	127.16	421.71	0.00	3476.07	5445.37	2.61
Sept. 4, 2013	7.00	6.67	0.10	0.14	0.34	0.17	83.11	439.37	0.02	1117.57	3144.35	5.18
Sept. 11, 2013	14.00	5.52	0.09	0.14	0.32	0.25	59.63	469.84	0.00	162.09	1300.58	3.55
Sept. 18, 2013	21.00	6.02	0.07	0.08	0.28	0.03	50.64	511.52	0.00	70.10	943.19	3.41

Table 3. Iron and sulfur in media

Element	Media	%wt element	C1(ppm)	C2(ppm)	C3(ppm)
Fe	FeSO ₄ .7H ₂ O (18 mg/L)	6.50	1.17	0.00	0.00
S	MgSO ₄ .7H ₂ O (400 mg/L)	13.01	52.04	0.21	0.10
S	FeSO ₄ .7H ₂ O (18 mg/L)	11.53	2.08	0.01	0.00
S	(NH ₄) ₂ SO ₄ (400 mg/L)	24.27	97.07	0.39	0.19
Total S			151.18	0.60	0.30

C1= concentration in 1 L media; C2=concentration in 4 mL media added to the column;
 C3= concentration in 2 mL of media added to the column

Whereas the basal salt media has acidic pH, the leachate at time 0 shows neutral pH. Overall, there is a tendency that the pH of the leachate decreased, from 7.15 at time 0 to 6.02 at day 21 (Figure 2). During the course of 21 days, 26.71% of Zinc leached from the column while negligible

amount of Arsenic, Copper and Lead recovered from the column (Table 4). Except for Calcium, our data shows the decreasing trend in the amount of elements leached during this experiment (Figure 3).

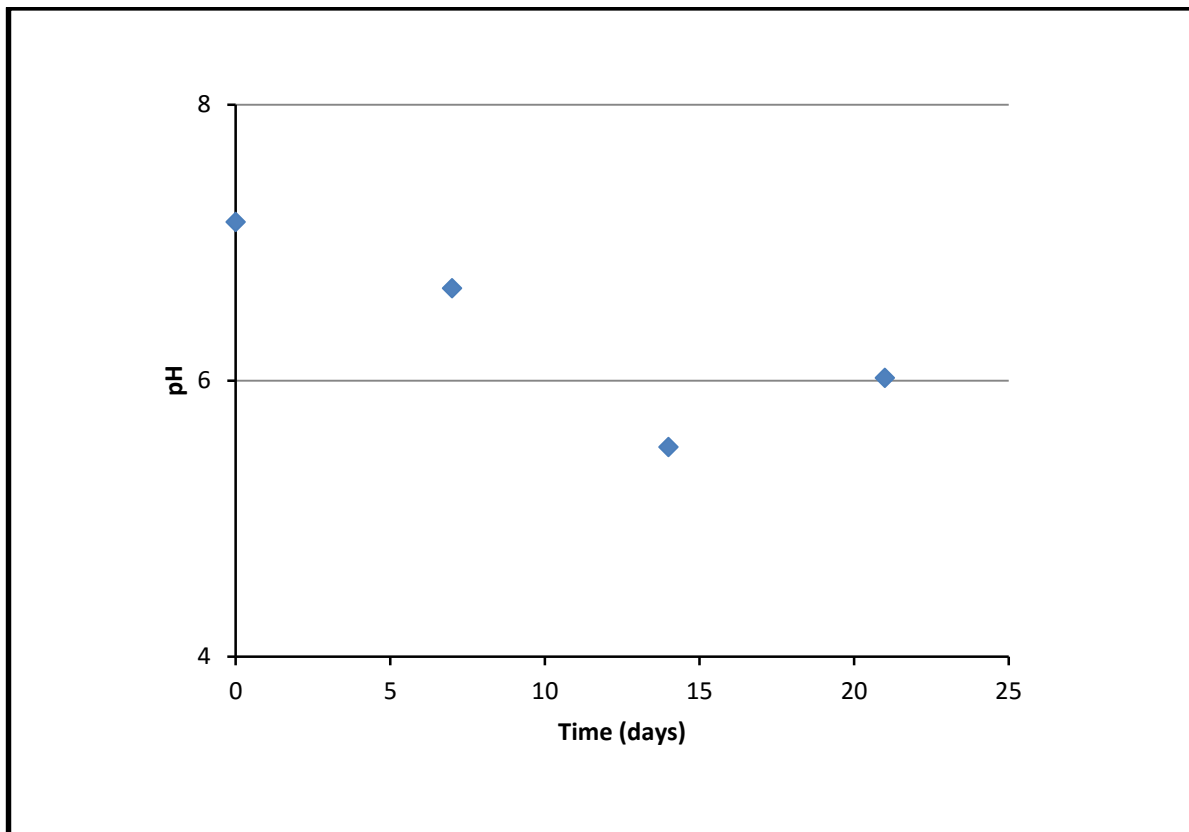


Figure 2. pH of the leachate monitored during the experiment

Tabel 4. Element leached from 3.45 gr tailings

	As	Cu	Pb	Zn
Original concentration of element in 3.45 gr tailings (ppm)	1100	4000	9000	1200
Time (days)	Element leached %			
	As	Cu	Pb	Zn
0	0.01	0.01	0.01	10.60
7	0.01	0.00	0.00	6.93
14	0.01	0.00	0.00	4.97
21	0.01	0.00	0.00	4.22
cumulative	0.03	0.02	0.01	26.71

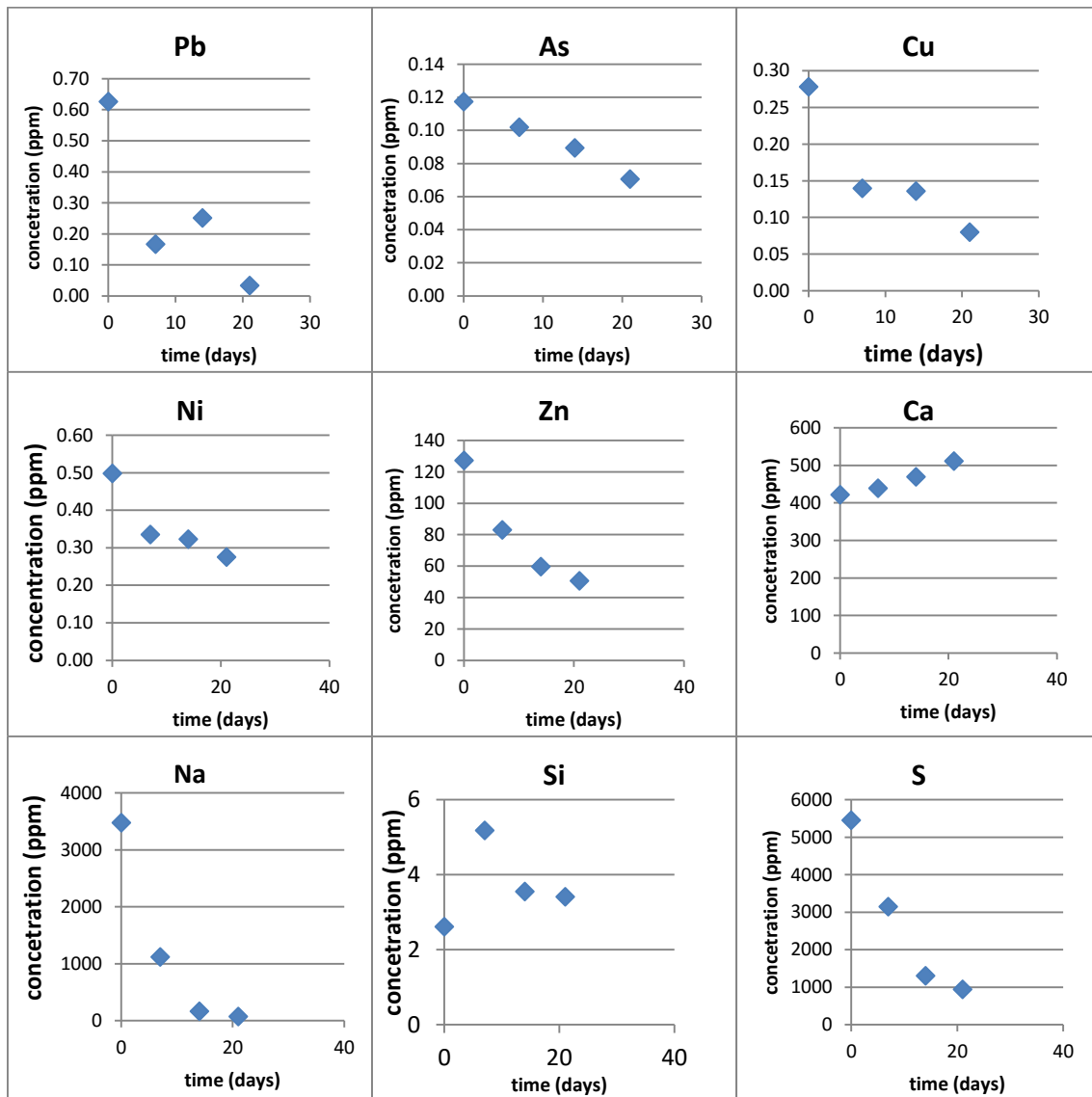


Figure 3. Concentration of elements released from the leachate solution monitored every week

Carbonate Experiment

The amount of carbonate present in the tailings (with the assumption all carbonate present in the form of CaCO₃), calculated following the formula (Bauer, 1972):

Weight of CO₂ = W₂ - W₃, Percent of CaCO₃ equivalent = (W₂- W₃) x 227.4/(W₂-W₁)
 where :

W₁ = Weight of HCl, beaker and tray
 W₂ = Weight of HCl, beaker, tray and original tailings
 W₃ = Weight of HCl, beaker, tray and tailings after being reacted with HCl for 90 minutes

Based on the above formula, the percentage of carbonate present in the tailings is 31.88 (Table 5).

Tabel 5. Carbonate analysis

Original tailings (mg)	1045.43
W1 (mg)	28896.94
W2 (mg)	29942.37
W3 (mg)	29795.80
%wt Carbonate	31.88

Minerals in the tailings

In this experiment, no XRD analysis conducted to identify mineral present in the tailings. However, the ICP EMS data analysis reveals the presence of some element that may associated with several Sulphides, Oxides, Silicates and Carbonate minerals as listed in Table 6.

Table 6. Possible mineral present in the tailings

Sulphides	Oxides	Silicates	Carbonate, Sulphates and Salts
Pyrite FeS ₂	Hematite Fe ₂ O	Quartz SiO ₂	Calcite CaCO ₃
Pyrrhotite FeS	Limonite FeO.OH.nH ₂ O		Dolomite CaMg(CO ₃) ₂
Chalcopyrite CuFeS ₂			Cerussite PbCO ₃
Arsenopyrite FeAsS			Halite NaCl
Sphalerite (Zn,Fe)S			Gypsum CaSO ₄ . 2H ₂ O
Galena PbS			

DISCUSSION

In this experiment, bacterial enumeration using MPN methods reveals very low concentration of iron oxidizing bacteria. The outcome with all negative tubes in each dilution of iron oxidizing bacteria tubes suggests bacterial count less than 0.18 MPN/gr of tailings. Low concentration of bacteria, thought to be related to sampling issue. Bacterial mostly attached to its substrate (tailings). Solid particle of the tailings that sank to the bottom of the tubes is more likely has high concentration of bacteria. Inoculum mostly sampled from the middle of the tubes; as such the bacterial concentration in 0.5 mL inoculum taken from those part possible are very low.

In general, the result of this experiment which is shown by the concentration of the element found in the leachate during the course of 21 days of experiment, as well as the changes of the pH of the leachate over time, suggest that biogenic process occurred in this column and that chemical reactions is unlikely working alone in this system. The process is explained below.

When tailings sample containing sulfide mineral and its indigenous iron and sulfur oxidizing bacteria is contacted with basal medium pH 2.3, two possible bioleaching

mechanisms can be occurred, which are direct and indirect mechanisms (Sand *et al.*, 2001 ; Suzuki, 2001). In direct mechanism, microorganism will directly oxidize and solubilize metals (reaction 1). In this process, the sulfur is biologically oxidized to sulfate without any detectable intermediate occurring (reaction 2). In contrast, in indirect mechanism, sulfide mineral is oxidized by ferric iron which is regenerated from ferrous iron. Ferrous iron can be generated from pyrite oxidation (reaction 5) and can be re oxidized to ferric iron by iron-oxidizing microorganisms (reaction 4). In this mechanism, microorganism has a role simply in regeneration of ferric iron from ferrous iron. Ferric iron can also be hydrolyzed (reaction 6) and can chemically react with pyrite to generate ferrous iron and elemental sulfur (reaction 7). Under acidic conditions the oxidations of sulfide minerals by iron oxidizing bacteria can be 10⁶ times faster than the abiotic rate (Escobar *et al.*, 2010).

- a) $MS + H_2SO_4 + 1/2O_2 \rightarrow M^{2+} + SO_4 + S^0 + H_2O$ M=divalent metal
- b) $S^0 + 3 \frac{1}{2} O_2 (ac) + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+$
- c) $MS + 2Fe^{3+} \rightarrow M^{2+} + 2Fe^{2+} + S^0$
- d) $2Fe^{2+} + 1/2O_2 + 2H^+ \rightarrow 2Fe^{3+} + H_2O$

- e) $2 \text{FeS}_2 + 3 \text{O}_2 (\text{ac}) + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{FeSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{S}$ chemical reaction
- f) $\text{Fe}^{+3} + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe} (\text{OH})_3 (\text{s}) + 3\text{H}^+$ chemical reaction
- g) $\text{FeS}_2 (\text{s}) + \text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 \rightarrow 3\text{Fe}^{2+} + 3\text{SO}_4 + 2\text{S}^0$ chemical reaction

The pH of the column decrease from time 0 to day 14, however on day 21 the pH is slightly increase. Overall, during the experiment the pH of the column stand in the range of 5 to 7. The decreasing pH indicates that acid was generated in the column. The oxidations of ferrous iron to ferric iron increase the ferric iron concentration. As ferric iron accumulates, hydrolyses occurred and acid produced which further lower the pH of the column environment (reaction 6). Acid can also be produced from sulfur oxidation (reaction 2). The increase of the pH at day 21 is likely caused by accumulation of ferrous iron, which consumes a lot of acid to produce ferrous iron (reaction 4). The occurrence of carbonate mineral in the tailings, which is quite significant (31.88%), is also thought to act as a buffer which may prevent further acidic condition of the column. Carbonate minerals may form protective layer on mineral surface that can decrease the metal dissolution process (Deveci *et al.*, 2003). Study has noticed that the occurrence of carbonate minerals such as Calcite (CaCO_3), Dolomite [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], Ankerite [$\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$] and Siderite (FeCO_3) in sulfide bearing mineral deposit can help to prevent the formation of low pH drainage from the waste contaminant area (Al *et al.*, 2000).

In this experiment, almost no Iron was found in the leachate, suggesting that Iron was heavily used in the oxidation process of other mineral. As significant amount of Zinc found in the leachate, it is quite likely that Iron was used for the oxidation of Sphalerite. Furthermore, among other element, Sulfur concentration in the leachate is the greatest, even after Sulfur from the media has been taken into account (Table 3), suggesting that a lot of Sulfur produced during the biosolubilization of metal sulfide (reaction

3). On the other hand, the increasing Ca concentration in the leachate solution each week was thought to be related to the pH of the leachate. The decreasing of pH was likely increase the solubility of Ca. Study on Ca and Mg concentrations in the leachate from permanent meadow soils in Western Lithuania also showed the same phenomena where Ca solubilization increased with decreasing pH (Butkute R, 2006).

Negligible amount of Lead, Arsenic and Copper leached from the column (Table 2), suggest that the low concentration of Iron and Sulfur oxidizing bacterial in the column are too low to drive the bioleaching process of all base metal in the tailings. Bacterial leaching is very important to accelerate the metal leaching. For instance, the Copper solubilization has increase significantly when more stock culture added to the bioleaching system, suggesting that the large amount of bacteria can accelerate the Copper leaching (Yang *et al.*, 2009). It should be noted that the ferrous ion can also be oxidized to ferric ion only by oxygen from air, but this process was very slow (Yang *et al.*, 2009). The poor solubilization of Lead is common, as under bioleaching condition, Lead forms Anglesite (PbSO_4), a poorly soluble complex with sulfate which tend to accumulates in residual solid (Viera *et al.*, 2007).

The pH of the column is also thought not favorable for optimal growth of microbial leaching which then slow the bioleaching process. The optimum pH for the growth of acidophilic bacteria involved in bioleaching ranges from 1.5 to 3.0. High proton concentration is needed to drive certain chemical reactions during bioleaching which can only be provided if the pH maintained to be acidic. Additionally, high precipitation of Jarosite may also occur in pH over 2.0. Jarosite has been known can influence the mechanisms of Copper extraction from the ores during bioleaching process (Gentina and Acevedo, 2003). Acid neutralization by carbonate minerals may also cause a reduction in the concentration of dissolved metals (Al *et*

al., 2000). In neutral pH, metals partition from the aqueous phase to mineral surfaces mostly occurred due to precipitation, co-precipitation and adsorption processes (Al *et al.*, 2000). As the surfaces of carbonate minerals are highly reactive, the concentration of dissolved metals in the system will be influenced by co-precipitation and adsorption reactions at carbonate mineral surfaces (Al *et al.*, 2000).

In this experiment, considerably higher concentration of Zinc is also observed in the leachate. Approximately 27 % of Zinc leached during 21 days of experiment. Within this condition, all Zinc in 3.45 gr tailings can be expected to solubilize in approximately 79 days. The higher solubilization rate of Zinc compare to other elements is thought to be related to sulfide mineral electrode potential. Sulfide minerals vary in susceptibility to bio oxidation (Olson *et al.*, 2003). Dissolution of metal sulfides depends on their electrochemical potential. The mineral with the lowest potential tends to oxidize first (Olson *et al.*, 2003). Study noticed that sulfides mineral like Sphalerite (ZnS) have low electrode potentials which make this mineral readily bio oxidized (Olson *et al.*, 2003). However, it is observed that the concentrations of Zinc leached from the column decrease over time. Study noticed that when zinc sulfide is oxidized by ferric ions, a product layer of elemental sulfur is formed on the surface of the mineral and the diffusion of ferrous ions across this sulfur layer becomes the rate-limiting step (Viera *et al.*, 2007). In the absent of sulfur oxidizing bacteria, the passivation of the Sphalerite surface by a layer of elemental sulfur may slow the leaching process, however in the presence of sulfur oxidizing bacteria this condition may remain occurred if the rate of elemental sulfur oxidation is inadequate (Viera *et al.*, 2007). The decreasing concentration of sulfur leached overtime in this experiment, occurred as some sulfur possibly layered the surface of mineral as explained above. To increase the recovery of Zinc during bioleaching of sulfides ores, Saririchi *et al.* (2012) has suggested to do the continuous

inoculation of the ores with the solution of *A. ferrooxidans* type which should be maintained until the bioleaching process become self-sustaining.

Finally, in order to achieve optimum performance of the bioleaching column in this experiment, several factors should be taken into account. These factors are temperature, acidity, oxidizing conditions, availability of nutrients, oxygen and carbon dioxide as well as surface area and presence of toxic ions (Deveci *et al.*, 2003).

Bioleaching processes are temperature and pH dependent, with optimum metal dissolution occurring in a particular range where the bacterial strain is most active. The acidity of the bioleaching environment is possibly controlled by the oxidation of iron, sulfur and metal sulfides as well as dissolution of carbonate minerals (Kumar & Nagendran, 2007 ; Suzuki, 2001). The optimum growth of the bacteria can be maintained with provision of nutrient salts. Metal dissolution will also depend to the quantity of nutrients and the availability of substrate (Olson *et al.*, 2003 ; Saririchi *et al.*, 2012 ; Viera *et al.*, 2007 ; Yang *et al.*, 2009).

Most bacterial leaching are autotrophic aerobes. The activity of these bacteria depends largely on the availability of oxygen and CO₂ which are important to complete the cycle of they respiration. The oxygen levels below 1-2 mg/L can negatively affect the oxidizing activity of bacteria (Deveci *et al.*, 2003). The surface area (particle size) may improve the bioleaching rate while increasing concentrations of ions such as Cl⁻ may also negatively affect the oxidative activity of bacteria (Viera *et al.*, 2007). High concentration of Ag, anions of Te, As and Se (50-100mg/L) has been proven to have inhibitory effect on the iron oxidizing activity of the bacteria (Deveci *et al.*, 2003). Moreover, the salinity of process water may also suppress the bioleaching activity of mesophilic bacteria (Deveci *et al.*, 2003). In addition, mineral species as well as ore composition and structure also

affect the rate and extension of the metal extraction by bioleaching from reduced sulfur compounds. For instance, the secondary copper minerals are easier to bioleach than the primary ones (Gentina and Acevedo, 2003).

CONCLUSIONS

This experiment has demonstrated the capability of bioleaching process for recovery of metals from the tailings. While the amount of Lead, Arsenic and Copper leached from the column are negligible, significant amount of Zinc leached from the column. Low concentration of iron and sulfur oxidation bacteria in the inoculum thought to be the major factor that suppresses the bioleaching activity in this experiment. Adding more microbial leaching or nutrient to the column, may increase the performance of the bioleaching column. It is also important to maintain the pH to be in the range of 1.5 to 2. Other than nutrient and pH, temperature, oxidizing conditions, oxygen and carbon dioxide, surface area as well as the presence of toxic ions are several key factors that may need to be considered for optimizing the recovery of metals through bioleaching process.

ACKNOWLEDGMENT

The experiment reported in this paper is part of Geomicrobiology course taught at the School of Earth Sciences, University of Queensland, Australia in 2013. Thanks to Evelyn my geomicrobe lab partner and Maija my lab supervisor. The author also thanks the editor for their constructive reviews to the paper.

REFERENCES

- Bauer HP, Beckett PHT, Bie SW (1972) A rapid gravimetric method for estimating calcium carbonate in soils. *Plant Soil*, **37**, 689-690.
- Butkute, R (2006) Calcium and magnesium concentrations in the leachate from permanent meadow soils. *Grassland Science in Europe*, **11**, 718-720.
- Cochran WG (1950) Estimation of Bacterial Densities by Means of the "Most Probable Number". *Biometrics*, **6**, 105-116.
- Deveci H, Akcil A, Alp I (2003) Parameters for control and optimization of bioleaching of sulfide minerals. In: *Process control and optimization in Ferrous and Non Ferrous Industry* (eds Kongoli F, Sawamiphad K), Turkey.
- Escobar B, Buccicardi S, Morales G, Wiertz J (2010) Biooxidation of ferrous iron and sulphide at low temperatures: Implications on acid mine drainage and bioleaching of sulphide minerals. *Hydrometallurgy*, **104**, 454-458.
- Kumar RN, Nagendran R (2007) Influence of initial pH on bioleaching of heavy metals from contaminated soil employing indigenous Acidithiobacillus thiooxidans. *Chemosphere*, **66**, 1775-1781.
- Mielke R, Pace D, Porter T, G S (2003,) A critical stage in the formation of acid mine drainage: colonization of pyrite by Acidithiobacillus ferrooxidans under pH-neutral conditions. *Geobiology*, **1**, 81-90.
- Olson GJ, Brierley JA, Brierley CL (2003) Bioleaching review part B. *Appl Microbiol Biotechnol*, **63**, 249-257.
- Sand W, Gehrke T, Jozsa P-G, Schippers A (2001) (Bio)chemistry of bacterial leaching—direct vs. indirect bioleaching. *Hydrometallurgy*, **59**, 159-175.
- Saririchi T, Azad RR, Arabian D, Molaie A, Nemati F (2012) On the optimization of sphalerite bioleaching; the inspection of intermittent irrigation, type of agglomeration, feed formulation and their interactions on the bioleaching of low-grade zinc sulfide ores. *Chemical Engineering Journal*, **187**, 217-221.
- Southam G, Beveridge T (1992) Enumeration of thiobacilli within pH-neutral and acidic mine tailings and their role in the development of secondary mineral soil. *Applied and environmental microbiology*, **58**, 1904-1912.

Suzuki I (2001) Microbial leaching of metals from sulfide minerals. *Biotechnology Advances*, **19**, 119-132.

Viera M, Pogliani C, Donati E (2007) Recovery Of Zinc, Nickel, Cobalt And Other Metals By Bioleaching. In: *Microbial Processing of Metal*

Sulfides (eds Donati E, Sand W). Springer Netherlands, pp. 103-119.

Yang T, Xu Z, Wen J, Yang L (2009) Factors influencing bioleaching copper from waste printed circuit boards by *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Hydrometallurgy*, **97**, 29-32.

Diterima	: 13 Agustus 2015
Direvisi	: 9 Oktober 2015
Disetujui	: 10 November 2015

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan kali ini kami ucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas revid-revid yang kritis terhadap makalah-makalah dalam edisi ini. Secara khusus terima kasih kami untuk Dr. Eng. Suryantini, ST, M.Sc atas telaah yang kritis terhadap tulisan mengenai panas bumi dan kepada Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc, atas revid tentang kajian geoteknik dan geologi untuk tulisan lainnya, dan juga atas saran-sarannya bagi perbaikan buletin ini.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 10 Nomor 1, 2, dan 3 Tahun 2015

ISSN 1907 - 5367

INDEKS PENULIS

Andri Eko Ari Wibowo
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta No.444, Bandung
Email: andri.bdg@gmail.com

Arif R. Darana
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran
Geotetra Research Group
Email: arif.rahmansyahd@gmail.com

Asep Sugianto
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta No.444 Bandung
Email: asep.soegie@gmail.com

Bambang Pardiarto
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: b.pardiarto@yahoo.com

Bayu Sayekti
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: sayekti_bayu@yahoo.co.id

Chusni Ansori
Peneliti LIPI Karangsembung di Kebumen,
Jawa Tengah
Jln. Karangsembung Km-19, Kebumen
Email: ansorich.63@gmail.com

Dede Iim Setiawan
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta No.444, Bandung

Dicky Muslim
Laboratorium Geologi Teknik, Fak. Teknik
Geologi, Universitas Padjadjaran
Jln. Raya Bandung - Sumedang km 7,
Jatinangor
Email: dickgeo_86@gmail.com
Dicky_muslim@unpad.ac.id

Dikdik Risdianto
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: dikrisdi@yahoo.com

Euis Tintin Yuningsih
Fakultas Teknik Geologi UNPAD
Jln. Dipati Ukur No. 35 Bandung

Fitria Amalia Wardhani
Peneliti LIPI Karangsembung di Kebumen,
Jawa Tengah
Jln. Karangsembung Km-19, Kebumen

Galuh Yuliani
Chemistry Study Program, Universitas
Pendidikan Indonesia,
Dr. Setiabudi 229 Bandung, Indonesia
Email: gyuliani@gmail.com, galuh@upi.edu

Immanuel Seru
Program Pascasarjana, FTG-UNPAD
Program Pasca Sarjana (S2), Fakultas
Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran,
Bandung
Jln. Dipati Ukur No. 35, Bandung, 40132
Email: Imanuel.Seru@yahoo.co.id

Irvan Sophian
Laboratorium Geologi Teknik, Fak. Teknik
Geologi, Universitas Padjadjaran
Jln. Raya Bandung - Sumedang km 7,
Jatinangor
Email: irvan.s@unpad.ac.id

Kisman
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: kismanst@yahoo.com

Mega Fatimah Rosana
Fakultas Teknik Geologi UNPAD
Jln. Dipati Ukur No. 35 Bandung

Mochamad Nurhadi
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: mochamadnurhadi@gmail.com

Muhammad Kholid
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: kholid_di@yahoo.com

Nur Khoirullah
Program Pascasarjana, Fak. Teknik Geologi,
Universitas Padjadjaran
Jln. Raya Bandung - Sumedang km 7,
Jatinangor
Email: nurkhoirullah@yahoo.co.id

Penny Oktaviani
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: penny.oktaviani@gmail.com

Reza Mochammad Faisal
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: reza_mfaisal@yahoo.com

Rita Susilawati
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: winkwinkproud@gmail.com

Robet Lumban Tobing
Pusat Sumber Daya Geologi

Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: trebor_dim@yahoo.co.id

Sukaesih
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta No.444 Bandung
Email: s_esih@yahoo.co.id

Soepriadi
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta No.444 Bandung

Tony Rahadinata
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta No.444 Bandung

Undang Mardiana
Fakultas Teknik Geologi UNPAD
Jln. Dipati Ukur No. 35 Bandung

Yadvi Arma
PT. Timah. Tbk
Email: yadvi.amna@pttimah.co.id

Yuanno Rezky
Pusat Sumber Daya Geologi
Jalan Soekarno Hatta No.444, Bandung

Zulfiadi Zakaria
Laboratorium Geologi Teknik, Fak. Teknik
Geologi, Universitas Padjadjaran
Jln. Raya Bandung - Sumedang km 7,
Jatinangor
Email: zulfiadi.z@unpad.ac.id

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 10 Nomor 1, 2, dan 3 Tahun 2015

ISSN 1907 - 5367

INDEKS KATA KUNCI

- adsorben*, 103, 106, 107, 108, 109
 Alterasi, 153
Andesit Porfiri, 129, 131- 137, 138, 139, 140
 Argilik, 153, 158, 160 - 163, 165, 167, 179
 Audio Magnetotellurik, 141
 Bacteria, 213 - 215, 219, 220, 221, 222
 bahan keramik, 23, 33
 Banjarnegara, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 210, 211
 bidang diskontinuitas, 185, 192, 193, 194, 195
 bioleaching, 213, 214, 220, 221, 222, 221
 Bukit Asam, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87
Coal, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111
coal utilization, 1, 11, 14
 Dolok Marawa, 89, 90, 91, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 141, 142, 143, 145, 149, 150, 151, 236, 238
epithermal volcanic-hosted, 55, 67, 68
 feldspar, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 33
 G. Talang - Killi, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43
 gaya berat, 89, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 100, 101
 geokimia organik, 15
 Geologi, 87, 89, 101, 111, 126, 129, 131, 132, 133, 140
 Geokimia, 151, 165, 167, 168, 173, 181, 182, 183, 197, 199, 203, 233
 geologi teknik, 129
 geotermometer, 197 - 199, 205, 206
 graben, 141, 149, 150, 156
 gradien panas bumi, 153
 hilang panas, 197, 199, 207, 210
 kekar, 97, 129, 132, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140
 kekuatan batuan, 129, 137, 139
 kematangan, 15
 kondisi inisial, 35, 40
 Koefisien korelasi, 55, 68, 69
 klaster anomali, 55, 68
 Lempung, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33
 lereng batuan, 185, 194, 195
lignit, 84, 85, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
 longsoran baji, 185, 193 - 195
 longsoran bidang, 185, 193, 195
 longsoran rebah, 185, 193, 195
 Mekanik, 45, 46, 48, 50, 52
 metalogenik, 167
 metals, 213, 214, 219, 220, 221, 222, 221
mineral matter, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14
 mineralisasi, 167, 168, 172, 177 - 182, 186
 multivariat, 167, 168, 176, 177, 181
natural state, 35, 36, 39, 40, 44
non-mineral inorganic, 71, 72, 73, 84, 85, 86, 87
 non-vulkanik, 111, 112, 113
 orientasi inti batuan, 185, 193, 194, 195
out flow, 35
 univariat, 167, 168, 173, 177, 181
 Panas Bumi, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 89, 90, 91, 92, 97, 100-101, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 141, 142, 143, 144, 145, 149, 150, 153, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 210
 Pemodelan, 3D, 89, 93, 96
 pengolahan limbah cair, 113
 petrografi organik, 15

INDEKS KATA KUNCI

sesar aktif Palu Koro, 111, 112, 113, 114
Sifat Fisik, 45, 46, 48, 50, 52,
Simulasi Numerik, 35, 36, 38, 39, 40, 43, 44
SPT, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52
Sumani 153, 154, 155, 156, 164, 165
Sumatera, 89, 90, 101, 102, 141, 142, 143,
151, 153, 154, 164, 166, 237, 239

Tahanan jenis, 141, 142
Tanah, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52
Timah, 45, 46, 49, 52
tipe fluida, 197, 198, 202, 203, 204, 210
TOC, 15, 18, 19, 20, 21
tipe kerogen, 15
up flow, 35

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit: Mei, Agustus, dan November Tahun 2015

ISSN 1907 - 5367

DDC: 662.66

Rita Susilawati
(Center for Geological Resources)

MINERAL MATTER IN COAL

KANDUNGAN MINERAL DALAM BATUBARA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2015 Vol. 10 No. 1 Hal. 1 - 14

The term "mineral matter" in coal is defined as all inorganic, non-combustible material that is in or associated with coal which include discrete crystalline mineral particles, dissolved ions and other inorganic components in the pore water or surface water of the coal, and inorganic elements combined within the organic compounds of the coal macerals. The minerals existing in coal are a result of processes that occur throughout the entire history of coal formation. Its distribution is influenced by biological, hydrological and geochemical factors. Quartz and the clay minerals are the most widespread and abundant mineral found in coal. Another common minerals are feldspars and carbonate in the form of siderite, calcite and dolomite and sulfide minerals such as pyrite. Coal mineral matter analysis and characterization are useful for various reasons, particularly to take as much as benefit from coal utilization and to avoid any negative influence of coal inorganic components to the environment.

Keywords: coal, mineral matter, coal utilization

DDC: 547.83

Robet Lumban Tobing
(Center for Geological Resources)

CHARACTERISTICS OF GAS SHALE IN DAKEBO FORMATION, AT WAGHETE AREA - PAPUA PROVINCE

KARAKTERISTIK SERPIH GAS DI FORMASI DAKEBO, DAERAH WAGHETE, PROVINSI PAPUA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2015 Vol. 10 No. 1 Hal. 15 - 22

Dakebo Formation is found in Akimeugah Basin. The formation is interpreted as Pliocene in age and it is sedimented on alluvial fan and flood plain environment, composed by conglomerate, sandstone, sandy shale, mudstone and lignite. In megascopic view, samples of rock in this area are blackish gray. Among shale beds there are thin sandstones and limestones layers as well as remains of brownish to blackish plants. The organic geochemistry and maceral analyses indicate that samples of rock contain organic material with fair to very good classification as source rocks, and consist of vitrinite and liptinite macerals. The presence of vitrinite maceral is 'rare to major' and liptinite is 'rare to common'. Based on the TOC analysis, abundance of the organic material is about 3.11% to 12.62% with type II and type III kerogen. T_{max} value is about 401°C to 431°C and R_v is 0.28% to 0.31% indicated that organic material is immature. Kerogen type II has prone to produce oil and type III has prone to produce gas

Keywords: organic geochemistry, organic petrography, TOC, kerogen type, maturity

DDC: 666.3.7

Bayu Sayekti dan Penny Oktaviani
(Pusat Sumber Daya Geologi)

PROSPEK PEMANFAATAN LEMPUNG FORMASI MUARAENIM DAN TUF FORMASI RANAU SEBAGAI BAHAN BAKU KERAMIK DI KABUPATEN OGAN KOMERING ULU SELATAN, PROVINSI SUMATERA SELATAN

THE PROSPECT OF CLAY DEPOSIT FROM MUARAENIM FORMATION AND TUFF FROM RANAU FORMATION AS CERAMIC RAW MATERIAL IN OGAN KOMERING ULU SELATAN REGENCY, SOUTH SUMATERA PROVINCE

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2015 Vol. 10 No. 1 Hal. 23 - 34

Endapan lempung Formasi Muaraenim di daerah Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan terdapat sebagai *overburden* di bagian atas lapisan batubara, dan sebagai *interburden* di antara dua lapisan batubara. Formasi Ranau terdiri dari tuf riolitan, tuf batuapung, tuf padu dengan sisipan batulempung berkarbon.

Berdasarkan evaluasi hasil pengujian awal melalui pembakaran pada suhu tinggi 1.400°C menunjukkan bahwa lempung dari Formasi Muaraenim di daerah penyelidikan dapat digunakan sebagai bahan baku keramik bodi *stoneware*, sedangkan felspar diagenetik (tuf feldspatik) dapat dimanfaatkan untuk bahan pelebur (*flux*) dalam bodi keramik pada proses pembakaran.

Percobaan prototip ubin, dengan rasio komposisi campuran lempung dan felspar diagenetik (tuf feldspatik) 1 : 1 menunjukkan hasil dapat dibuat ubin keramik berglasir kelas II berbasis bodi "stone ware" dengan suhu pembakaran 1.150°C. Sumberdaya lempung dan felspar yang cukup berlimpah ini dapat dimanfaatkan dan prospek untuk dikembangkan sebagai bahan baku alternatif siap pakai untuk industri keramik.

Kata kunci: lempung, felspar, bahan keramik.

DDC: 550.836.2

Dikdik Risdianto, Moch. Nurhadi, Muhammad Kholid dan Yuano Rezky
(Pusat Sumber Daya Geologi)

SIMULASI NUMERIK SISTEM PANAS BUMI GUNUNG TALANG - KILLI KABUPATEN SOLOK, PROVINSI SUMATERA BARAT

NUMERICAL SIMULATION OF GUNUNG TALANG-KILLI GEOTHERMAL SYSTEM IN SOLOK REGENCY, WEST SUMATERA PROVINCE

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2015 Vol. 10 No. 1 Hal. 35 - 44

Simulasi numerik di daerah panas bumi Gunung Talang - Killi menggunakan program simulator TOUGH2 dengan Equation of State (EOS-1), satu fasa, disusun berdasarkan konseptual model hasil survei geologi, geokimia, dan geofisika (3-G) serta pengeboran landaian suhu sumur TLG-1. Parameter yang

digunakan antara lain permeabilitas, porositas, konduktivitas panas dan kapasitas panas batuan. Penyebaran litologi secara lateral dan vertikal disusun berdasarkan grid blok menjadi beberapa lapisan yang mendekati konfigurasi litologi dalam model konseptual. Kondisi inisial dan batas kondisi diberikan berdasarkan data yang tersedia.

Hasil simulasi yang didapatkan setelah dilakukan proses kalkulasi beberapa kali (trial and error) dengan merubah beberapa parameter simulasi dan hasil yang paling baik dikalibrasi dengan hasil pengukuran temperatur sumur pengeboran landaian suhu TLG-1.

Mengingat keterbatasan data yang dimiliki, hasil simulasi ini merupakan proses inisial (permulaan) simulasi untuk sistem panas bumi Gunung Talang - Killi dan masih harus dilakukan update berdasarkan data lanjutan.

Kata kunci: Panas Bumi, Simulasi Numerik, kondisi inisial, *natural state*, Gunung Talang - Killi, *up flow*, *out flow*.

DDC: 546.811

Nur Khoirullah¹, Irvan Sophian², Zufaldi Zakaria², Dicky Muslim², Yadvi Arma³

(¹Program Pascasarjana, FTG-UNPAD, ²Laboratorium Geologi Teknik, FTG-UNPAD, Jl. Raya Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor ³PT Timah. Tbk)

KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK TANAH MENGANDUNG MINERAL TIMAH DI DAERAH LAUT PAYAKUNDUR, PROVINSI KEPULAUAN RIAU

THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF SOILS CONTAINING TIN MINERALS OFF PAYAKUNDUR SEA, KEPULAUAN RIAU PROVINCE

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2015 Vol. 10 No. 1 Hal. 45 - 54

Sifat fisik dan mekanik material (batuan ataupun tanah) merupakan sifat penting dalam memahami kekuatan dan karakteristik material. Daerah penelitian terletak pada Laut Payakundur dikenal sebagai *Tin Belt of Sumatera* yang kaya akan kandungan timah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik tanah yang dapat menunjang data pemboran geologi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan penelitian lapangan melalui uji penetrasi standar dan sampel yang diambil diuji di laboratorium guna mendapatkan nilai sifat fisiknya.

Karakteristik tanah yang ditemukan diklasifikasikan ke dalam USCS menjadi tanah CL, CH, SC, dan SW. Nilai kadar air berkisar dari 13-80%. Nilai berat jenis berkisar dari 2,53-2,74. Nilai berat isi berkisar dari 14,7 sampai 21,5 KN/m³. Nilai N-SPT lapangan dikoreksi menjadi 70 % energi standar. Karakteristik sifat fisik tanah lokasi penelitian banyak dipengaruhi oleh air, sehingga menyebabkan nilai kadar air yang cukup tinggi terutama pada tanah lempung. Pada satuan SW terdapat mineral *cassiterite* dan didominasi oleh bentuk butiran yang subangular yang diinterpretasikan tertransportasi dekat dari sumbernya. Korelasi dari nilai N-SPT dapat mengetahui nilai mekanika tanahnya namun uji laboratorium untuk mekanika tanah tetap diperlukan

Kata kunci: Timah, SPT, Tanah, Sifat Fisik dan Mekanik

DDC: 549.133

Kisman dan Bambang Pardiarto

(Pusat Sumber Daya Geologi)

TIPE CEBAKAN MINERAL BERDASARKAN DATA GEOKIMIA TANAH DI GUNUNG RAWAN PERBATASAN SARAWAK - KABUPATEN SANGGAU, PROVINSI KALIMANTAN BARAT

MINERAL DEPOSIT TYPE BASED ON SOIL GEOCHEMICAL DATA IN GUNUNG RAWAN AREA OF SARAWAK BORDER, SANGGAU REGENCY, WEST KALIMANTAN PROVINCE

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2015 Vol. 10 No. 1 Hal. 55 - 70

Gunung Rawan merupakan salah satu titik tapal batas daerah perbatasan antara Malaysia dan Indonesia di Pulau Kalimantan (Borneo). Sebagian daripada gunung tersebut yaitu daerah Kedup-Sarawak sudah diketahui mengandung cebakan emas primer. Zona pemineralan ini diperkirakan menerus ke wilayah Kabupaten Sanggau. Dalam kerangka kerjasama penyelidikan dengan JMG-Malaysia, Pusat Sumber Daya Geologi melakukan penyelidikan di daerah Gunung Rawan untuk mengetahui penyebaran zona pemineralan tersebut. Litologi di daerah penyelidikan berupa breksi tufa yang umumnya sudah mengalami ubahan silisifikasi, propilitisasi dan argilitisasi dengan jenis mineral ubahan kaolinit, halloysit dan muskovit, mengandung pirit dan kalkopirit. Analisis koefisien korelasi terhadap unsur-unsur Au, As, Sb dan Hg dari geokimia tanah menunjukkan kekerabatan positif yang mencerminkan genesa dalam satu sistim. Terdapat empat kluster anomali unsur yaitu Cu-Hg, Au-Sb-As, Hg-Sb dan Cu-Au-As-Ag yang tersebar dominan dalam satuan batuan gunung api. Kluster anomali unsur Cu-Hg dengan pemineralan kalkopirit dan Au-Sb-As dengan pemineralan pirit terkonsentrasi di sekitar puncak Gunung Rawan yang diduga masih berhubungan dengan proses pemineralan yang terjadi di wilayah Kedup, Sarawak. Pemineralan tersebut diduga merupakan tipe *epithermal volcanic - hosted*.

Kata kunci: Koefisien korelasi, kluster anomali, *epithermal volcanic-hosted*.

DDC:

Rita Susilawati
(Centre for Geological Resources)

NON-MINERAL INORGANIC CONSTITUENTS OF BUKIT ASAM COAL NATURE AND MODE OF OCCURRENCE

NON-MINERAL INORGANIK KONSTITUEN DALAM BATUBARA BUKIT ASAM, KETERDAPATAN DAN CARA KEJADIAN

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2015 Vol. 10 No. 2 Hal. 71 - 87

The nature and mode of occurrence of the non-mineral inorganic fractions in coal from the Bukit Asam coalfield South Sumatra Basin Indonesia were analysed using a combination of selective leaching, low temperature ashing, XRD, XRF and electron microprobe techniques. Geologically the rank of coal at Bukit Asam was influenced by igneous intrusion. Fourteen coal samples were used in this study. Samples are chosen to represent different rank levels as well

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit: Mei, Agustus, dan November Tahun 2015

ISSN 1907 - 5367

as seam horizons. The inorganic elements, in the form of dissolved salts, exchangeable ions and organometallic complexes, although present in small proportions, contribute significantly to the mineral matter components of Bukit Asam low rank coal. Electron microprobe analysis showed small but significant concentrations of inorganic elements (Al, Ca and Fe) occurring in the individual macerals in two sub bituminous and two-semi anthracite samples. There is a tendency for some of the elements, particularly Ca and Al to be lost from the organic matter with rank advance. The concentrations of elements indicated by the microprobe are relatively in good agreement with the levels of element mobility indicated by selective leaching of the same whole-coal samples. The results of this study also suggest that non-mineral inorganic was likely act as a precursor for the reactions resulting in the formation of new minerals in the high rank coals at Bukit Asam.

Keywords : non-mineral inorganic, coal, Bukit Asam

DDC:

Asep Sugianto dan Tony Rahadinata
(Pusat Sumber Daya Geologi)

PEMODELAN GAYA BERAT 3D DAERAH PANAS BUMI
DOLOK MARAWA KABUPATEN SIMALUNGUN,
SUMATERA UTARA

*3D GRAVITY MODELING OF DOLOK MARAWA
GEOTHERMAL FIELD IN SIMALUNGUN REGENCY,
NORTH SUMATERA*

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2015 Vol. 10 No. 2 Hal. 89 - 102

Daerah panas bumi Dolok Marawa merupakan salah satu daerah prospek panas bumi di Sumatera bagian utara. Daerah panas bumi tersebut berada pada zona patahan Sumatera dengan manifestasi permukaan berupa sekelompok mata air panas yang memiliki temperatur antara 37°C hingga 65°C. Serangkaian survei gaya berat telah dilakukan di daerah ini pada tahun 2006 dan 2015. Sebanyak 257 data gaya berat telah diukur dari daerah ini, dengan cakupan luas pengukuran sekitar 16 km x 13 km. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi densitas batuan melalui pemodelan 3D pada data gaya berat dengan menggunakan perangkat lunak Grablox. Hasil pemodelan memperlihatkan suatu blok berdensitas rendah yang bentuknya berarah barat-laut-tenggara dan berimpit dengan zona patahan. Densitas batuan rendah tersebut bernilai sekitar 2,4 g/cm³ dan dianggap sebagai batuan rekahan yang mengisi zona patahan. Hasil pemodelan juga memperlihatkan suatu blok berdensitas tinggi di bawah bukit Dolok Bahtopu. Blok densitas tinggi ini diinterpretasikan sebagai suatu tubuh intrusi andesitik dan mungkin bertindak sebagai sumber panas bagi sistem panas bumi Dolok Marawa.

Kata kunci: gaya berat, pemodelan 3D, panas bumi, Dolok Marawa, Sumatera

DDC:

Galuh Yuliani
(Chemistry Study Program, Universitas Pendidikan
Indonesia, Dr. Setiabudi 229 Bandung, Indonesia)

POTENTIAL APPLICATION OF LIGNITE AS
ADSORBENTS IN INDUSTRIAL WASTEWATER
TREATMENT: A MINI REVIEW

*POTENSI PEMANFAATAN LIGNITE SEBAGAI
ADSORBEN PADA INDUSTRI PENGOLAHAN LIMBAH:
SEBUAH MINI REVIEW*

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2015 Vol. 10 No. 2 Hal. 103 - 110

Low rank coal (or lignite) is a low grade, wet, low cost and highly abundant coal. The high moisture content of lignite limits its application as high-heating value fuel and also creates barrier for its export as fuel. However, this property should not necessarily hinder its use in the water industry. Similar to activated carbons, lignite has the theoretical ability to treat the wastewater by adsorbing contaminants from aqueous solution. This review paper highlights the potential use of lignite in wastewater treatment industry.

Keywords: low rank coal, lignite, adsorbent, wastewater treatment.

DDC:

Andri Eko Ari Wibowo, Mochamad Nurhadi, Yuanno Rezky,
Dudi Hermawan, Dede Iim Setiawan
(Pusat Sumber Daya Geologi)

PENENTUAN KESAMAAN RESERVOAR SISTEM PANAS
BUMI KADIDIA DAN KADIDIA SELATAN KABUPATEN
SIGI, PROVINSI SULAWESI TENGAH BERDASARKAN
METODA GEOKIMIA

*DETERMINATION OF RESERVOIR SIMILARITY OF
KADIDIA AND KADIDIA SELATAN GEOTHERMAL
SYSTEMS BASED ON GEOCHEMICAL METHOD IN SIGI
REGENCY, CENTRAL SULAWESI PROVINCE*

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2015 Vol. 10 No. 2 Hal. 111 - 127

Pembentukan sistem panas bumi di daerah Kadidia dan Kadidia Selatan diperkirakan berhubungan dengan aktivitas tektonik yang masih aktif yaitu pada segmen sesar Palu Koro. Hal ini memungkinkan sistem panas buminya mempunyai manifestasi dan reservoir yang bertemperatur tinggi. Litologi daerah ini didominasi oleh batuan plutonik dengan jenis granit dengan bagian depresinya diisi oleh endapan permukaan.

Ditemukannya manifestasi air panas dan tanah panas bertemperatur mendidih di Kadidia Selatan mengindikasikan sistem ini mempunyai temperatur reservoir yang tinggi. Panas yang tinggi ini dipicu oleh

aktivitas tektonik yang masih aktif yang memanaskan kembali batuan granit. Temperatur reservoir daerah Kadidia Selatan diperkirakan 240°C dengan pembentukan fluida panas bumi yang berasal dari pencampuran dengan fluida magmatis. Sedangkan daerah Kadidia yang memiliki temperatur yang lebih rendah, sistem panas bumi ini diperkirakan berhubungan dengan sirkulasi dalam dimana air meteorik terpanaskan oleh batuan panas yang kemudian muncul di permukaan sebagai air panas, dengan temperatur reservoir daerah Kadidia diperkirakan 130°C s.d 140°C.

Sistem panas bumi Kadidia dan Kadidia Selatan diperkirakan mempunyai reservoir yang berbeda. Hal ini terlihat dari karakteristik geokimia fluida yang berbeda seperti komposisi unsur-unsur utama, unsur-unsur konservatif, daya hantar listrik, dan isotop. Litologi batuan yang berbeda serta adanya sesar yang membatasi kedua sistem ini juga menegaskan bahwa kedua daerah ini mempunyai reservoir yang berbeda. Namun untuk mengetahui apakah kedua daerah ini mempunyai sistem yang sama atau tidak, belum dapat diketahui karena membutuhkan kajian lebih lanjut.

Kata kunci: panas bumi, non-vulkanik, sesar aktif Palu Koro.

DDC:

Arif R. Darana^{1,2}, Dicky Muslim¹
(¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran dan ²Geotetra Research Group)

Karakteristik Dan Kualitas Potensi Andesit Di Daerah Kecamatan Soreang Dan Sekitarnya, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

The Characteristics and Quality of Andesite in Soreang District, Bandung Regency, West Java Province
Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2015 Vol. 10 No. 2 Hal 129 - 140

Komoditas mineral *non-logam* merupakan salah satu sumberdaya alam yang berharga. Salah satu yang menjadi komoditi ini ialah batuan beku andesit. Komoditas tersebut terdapat di Bandung bagian selatan yang tepatnya berada di daerah Kecamatan Soreang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Untuk mengetahui bagaimana karakteristik dan kualitas potensi tersebut maka dilakukanlah penelitian yang menggunakan tiga metode, yaitu: 1. Metoda lapangan untuk memetakan keadaan geologi daerah tersebut dan mengambil sampel, 2. Metoda laboratorium, untuk menganalisis sampel secara petrografis, 3. Metoda studio untuk menyusun hasil analisis lapangan dan laboratorium. Hasil yang didapatkan ialah pada daerah penelitian terdapat satuan batuan yang terdiri dari: Satuan Breksi Vulkanik Monomik (Tmbvm), Satuan Lava Andesit Porfiri (Tmla), Satuan Intrusi Andesit Porfiri (Tppa), Satuan Breksi Vulkanik (Tpbv), Endapan piroklastik (Kv) dan Aluvium (Ka). Potensi Andesit Porfiri ini terdapat pada satuan Tppa, yang terbagi dalam tiga kelas kekuatan batuan, yaitu *very strong*, *strong*, dan *weak*. Varietas kualitas ini diakibatkan adanya pelapukan yang melibatkan interaksi antara faktor-faktor fisika dan kimia, dalam membentuk kekar-kekar untuk menjadi jalan air sebagai proses perubahan mineral utama menjadi mineral lempung, sehingga membuat diferensiasi kualitas batuan Andesit Porfiri.

Kata kunci: Geologi, geologi teknik, Andesit Porfiri, kekar, kekuatan batuan.

DDC:

Asep Sugianto dan Tony Rahadinata
(Pusat Sumber Daya Geologi, Jl. Soekarno-Hatta No. 444, Bandung 40254)

STRUKTUR TAHANAN JENIS SISTEM PANAS BUMI DOLOK MARAWA-SUMATERA UTARA BERDASARKAN DATA AUDIO MAGNETOTELLURIK

RESISTIVITY STRUCTURE OF DOLOK MARAWA GEOTHERMAL SYSTEM, NORTH SUMATERA DERIVED FROM AUDIO MAGNETOTELLURIC DATA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2015 Vol. 10 No. 3 Hal. 141 - 151

Tahanan jenis batuan merupakan salah satu sifat fisika batuan yang dapat digunakan untuk menganalisis suatu sistem panas bumi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai tahanan jenis batuan adalah metode audio magnetotellurik (AMT). Metode tersebut telah diaplikasikan di daerah panas bumi Dolok Marawa, Sumatera Utara untuk mendelineasi struktur tahanan jenis bawah permukaan yang berkorelasi dengan sistem panas bumi. Pengukuran AMT dilakukan pada 61 titik ukur yang membentuk 6 lintasan berarah baratdaya-timurlaut dengan jarak antar titik ukur sekitar 500 m hingga 1000 m. Hasil pemodelan AMT 2D memperlihatkan struktur tahanan jenis bawah permukaan yang membentuk suatu graben di sekitar mata air panas Tinggi Raja. Di bagian atas terdapat kelompok nilai tahanan jenis rendah <20 Ohm.m dengan ketebalan sekitar 500 m yang diinterpretasikan sebagai batuan ubahan (batuan penudung). Di bagian bawahnya terdapat kelompok nilai tahanan jenis lebih tinggi sekitar 30-100 Ohm.m yang diinterpretasikan sebagai zona dengan temperatur tinggi (zona prospek). Secara lateral, zona tersebut dibatasi oleh kontras nilai tahanan jenis rendah dan tinggi di sebelah baratdaya, baratlaut, timurlaut, dan tenggara.

Kata kunci: Tahanan jenis, Audio Magnetotellurik, Dolok Marawa, Sumatera, graben, panas bumi

DDC:

Sukaesih¹, Yuano Rezky¹, Mega F. Rosana², dan Undang Mardiana²
(¹Pusat Sumber Daya Geologi, Jl. Soekarno-Hatta No. 444, Bandung 40254 dan ²Fakultas Teknik Geologi UNPAD, Jl. Dipati Ukur No. 35, Bandung, 40132)

ALTERASI DI SUMUR PENGEBORAN SMN-1 DAN SMN-2 DI DAERAH PANAS BUMI SUMANI, KABUPATEN SOLOK, PROPINSI SUMATERA BARAT

ALTERATION ON SMN-1 AND SMN-2 DRILLING WELLS AT SUMANI GEOTHERMAL AREA, SOLOK REGENCY, WEST SUMATERA PROVINCE

Buletin Sumber Daya Geologi

BULETIN SIMBER DAYA GEOLOGI

Terbit: Mei, Agustus, dan November Tahun 2015

ISSN 1907 - 5367

BSDG November 2015 Vol. 10 No. 3 Hal. 153 - 166

Daerah penelitian berada di lokasi sumur pengeboran SMN-1 dan lokasi sumur pengeboran SMN-2 berada di daerah panas bumi Sumani, Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat. Penelitian dilakukan untuk mengetahui tipe alterasi bawah permukaan dalam lingkungan sistem panas bumi daerah Sumani. Metode yang digunakan adalah melakukan deskripsi megaskopis, mikroskopis dan analisis karakterisasi terhadap batuan inti dari sumur SMN-1 (702 meter) dan SMN-2 (428 meter). Dilakukan juga pengukuran suhu pada sumur SMN-1 dan SMN-2 untuk mengetahui anomali gradien geothermal.

Berdasarkan hasil penelitian diketahui jenis-jenis mineral yang terbentuk dalam batuan bawah permukaan dan tipe ubahan serta korelasi zonasi alterasi bawah permukaan. Mineral ubahan yang dijumpai dalam batuan inti sumur SMN-1 terdiri dari; montmorilonit, smektit, sulfat, silika, halit, hematit, oksida vanadium, arsenat, karbonat, zeolit, illit, pirofilit, klorit, muskovit, dan opal. Mineral ubahan yang terbentuk dalam sumur SMN-2 terdiri dari; kaolinit, montmorilonit, smektit, hematit, posfat, silikat, zeolit dan karbonat. Berdasarkan hasil pengelompokan mineral ubahan yang terbentuk dalam batuan bawah permukaan, sumur SMN-1 didominasi oleh tipe argilik (hingga kedalaman 100 meter) dan tipe propilitik (100-702 meter), sedangkan Sumur SMN-2 merupakan tipe ubahan argilik.

Gradien geothermal dari permukaan hingga kedalaman 700 m di sumur SMN-1 menunjukkan rata-rata 12,86°C/100 meter, sedangkan di sumur SMN-2 diperoleh rata-rata 7°C/100 meter.

Kata kunci: Alterasi, argilik, propilitik, gradien panas bumi, Sumani

DDC:

Reza Mochammad Faisal¹, Soepriadi¹, Mega Fatimah Rosana², dan Euis Titin Yuningsih²
(¹Pusat Sumber Daya Geologi, Jl. Soekarno-Hatta No. 444, Bandung 40254 dan ²Program Pascasarjana, FTG-UNPAD Jl. Dipati Ukur No. 35, Bandung, 40132)

ANALISIS FAKTOR DAN UNIVARIAT DALAM PENENTUAN POTENSI MINERALISASI CU, PB, ZN DI HALMAHERA BAGIAN BARAT, MALUKU UTARA

FACTOR ANALYSIS AND UNIVARIATE TO DETERMINE Cu, Pb, Zn MINERALIZATION POTENTIAL IN THE WESTERN PART OF HALMAHERA, NORTH MALUKU

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2015 Vol. 10 No. 3 Hal. 167 - 183

Penelitian geokimia dengan menggunakan metode analisis kandungan unsur dari perconton endapan sungai aktif -80 mesh merupakan salah satu fase awal eksplorasi terutama untuk menemukan cebakan mineral logam. Halmahera bagian barat 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.

Penafsiran data geokimia di wilayah penelitian telah dilakukan dengan pendekatan analisis multivariat yaitu analisis faktor. Diperoleh asosiasi unsur yang berhubungan dengan unsur target Cu, Pb, Zn dengan Co, Fe, Ag dan Au. Litologi daerah penelitian berupa batuan vulkanik berkomposisi andesit dan basalt. Terdapat indikasi mineralisasi berupa sulfida pirit dan batuan terubah yang berupa silisifikasi, propilitisasi dan argilik. Di Halmahera bagian Barat diperkirakan mineralisasi logam yang terbentuk adalah bijih sulfida hidrotermal.

Keywords: Geokimia, multivariat, univariat, metalogenik, mineralisasi

DDC:

Immanuel Seru¹, Zufaldi Zakaria², dan Dicky Muslim²
(¹Program Pascasarjana (S2), FTG-UNPAD Jl. Dipati Ukur No. 35, Bandung dan ²Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung)

ORIENTASI INTI BATUAN HASIL PEMBORAN PADA RANCANGAN LERENG TAMBANG EMAS TERBUKA ARAREN DI PT. TAMBANG TONDANO NUSAJAYA, SULAWESI UTARA

ROCK CORE ORIENTATION ON THE OPEN PIT SLOPE DESIGN OF ARAREN GOLD MINE, PT. TAMBANG TONDANO NUSAJAYA, NORTH SULAWESI

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2015 Vol. 10 No. 3 Hal. 185 - 196

Makalah ini mempresentasikan pendekatan penyelidikan geoteknik untuk mengetahui sebaran orientasi bidang diskontinuitas di bawah permukaan melalui pemboran geoteknik dengan orientasi inti batuan (*rock core orientation*) sebagai tahap awal pada rancangan lereng tambang emas terbuka Araren. Tiga lubang bor ditempatkan pada bagian timur, selatan, dan barat pada rancangan lereng akhir tambang terbuka. Metoda pemboran inti dimulai dari permukaan untuk mengumpulkan informasi massa batuan dan bidang diskontinuitas. Orientasi bidang diskontinuitas pada inti batuan hasil pemboran (*oriented core*) digunakan untuk mengamati potensi masalah kestabilan jenjang pada lereng batuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi longsoran bidang, baji, dan rebah berpeluang terjadi dan tersebar pada lereng tambang di lokasi pengamatan.

Kata kunci: orientasi inti batuan, bidang diskontinuitas, lereng batuan, longsoran bidang, longsoran baji, longsoran rebah

DDC:

Chusni Ansori dan Fitri Amalia Wardhani
(LIPI Karangsembung, Jl. Karangsembung Km-19, Kebumen, Jawa Tengah)

PENENTUAN TIPE FLUIDA, GEOTERMOMETER RESERVOIR DAN HILANG PANAS ALAMIAH

BULETIN SIMBER DAYA GEOLOGI

Terbit: Mei, Agustus, dan November Tahun 2015

ISSN 1907 - 5367

BERDASARKAN ANALISIS DATA GEOKIMIA PANAS BUMI DI KABUPATEN BANJARNEGARA, JAWA TENGAH

DETERMINATION OF FLUID TYPE, RESERVOIR GEOTHERMOMETER AND NATURAL HEAT LOSS BASED ON GEOCHEMICAL DATA IN BANJARNEGARA REGENCY, CENTRAL JAVA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2015 Vol. 10 No. 3 Hal. 197 - 211

Kabupaten Banjarnegara memiliki beberapa daerah potensi panas bumi. Manifestasi fluida panas bumi teramati pada sembilan lokasi di Kecamatan Batur, Kecamatan Wanayasa, Kecamatan Kalibening dan Kecamatan Susukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakter fluida panas bumi, temperatur reservoir dengan melakukan analisis geokimia fluida panas dan analisis kandungan anion-kation. Analisis tipe dan asal fluida ditentukan berdasarkan *plotting* pada *ternary* diagram Cl-HCO₃-SO₄ dan Cl-Li-B. Temperatur reservoir ditentukan berdasarkan perhitungan geotermometer Na-K-Ca, K-Na-Mg dan Na-K,

Berdasarkan hasil analisis, fluida panas bumi bertipe bikarbonat, klorida dan sulfat. fluida panas bumi bersumber langsung dari reservoir ataupun telah berinteraksi dengan batuan sedimen di sekitarnya. Terdapat empat reservoir panas bumi di daerah penelitian. Reservoir-1 terdapat pada bagian selatan Kabupaten Banjarnegara di Desa Gumelem Susukan, suhu reservoir 81°C, potensi hilang panas alamiah 95,5 KW. Reservoir-2 berada di sekitar Kecamatan Wanayasa dan Kalibening dengan suhu reservoir berkisar 222°C- 264°C, potensi hilang panas alamiahnya 4,691 MW. Reservoir -3 berada di Dieng bagian Utara, Kecamatan

Batur dengan suhu reservoir sekitar 137°C, potensi hilang panas alamiahnya 246,4 KW. Reservoir-4 berada di Dieng bagian Selatan Kecamatan Batur dengan suhu reservoir berkisar 334°C - 374°C, potensi hilang panas alamiahnya 26,58 MW.

Kata kunci: Banjarnegara, panas bumi, geokimia, tipe fluida, geotermometer, hilang panas

DDC:

Rita Susilawati
(Center for Geological Resources, Jl. Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254)

BIOLEACHING FOR THE RECOVERY OF METALS

PEMISAHAN UNSUR LOGAM DENGAN BIOLEACHING

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2015 Vol. 10 No. 3 Hal 213 - 223

A simple laboratory experiment has been conducted in order to demonstrate the ability of bacteria to leach the metal elements from insoluble ores or solid substrates. The experiment was conducted in a leaching column that was set up using 5 cc syringe that contained 1 cc of glass wool and 3.5cc of mine tailings. The basal salt was used as an inoculation media while mine tailing was used as a leaching subject and a source of bacterial leaching. Bacterial leaching was isolated using the most probable number (MPN) technique. Overall, the results of the experiment showed the capability of bioleaching process to recover metals from the mine tailings.

Keywords: bacteria, bioleaching, metals



Pengambilan sampel gas dan air bertemperatur 99,89 °C di kawah Gunung Sirung oleh Tim Survei Penyelidikan Geokimia Panas Bumi Pulau Pantar, Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur (Nizar Muhamad Nurdin, 2015)



Proses menurunkan mesin bor untuk persiapan pemboran dalam CBM dan Batubara di Daerah Tamiang Layang, Kabupaten Barito Timur, Provinsi Kalimantan Barat (Raden Maria Ulfa, 2015)



Fotomikrografi sayatan tipis batuan ultramafik terdapat mineral logam kromit, dari Daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Posisi Paralel Nikol, menggunakan lensa okuler 10X dan Oby 2,5 X (Sukaesih, 2015)



Pecahan-pecahan endapan lempung yang mengering di bekas Tambang Timah Lubuk Besar, Bangka Tengah (Lia Novalia Agung, 2015)



Kegiatan penyelidikan REE dan mineral ikutannya di Danau Sembuluh, Kabupaten Seruyan dan Lamandau, Provinsi Kalimantan Tengah (Sulaeman, 2015)



Endapan belerang pada manifestasi tanah panas, foto diambil secara makro, Mataloko, Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur (Andri Eko Ari Wibowo, 2015)



Mata air panas di bawah laut dengan temperatur air panas terukur 52,4°C,
Kepulauan Banda, Kabupaten Maluku Tengah, Maluku
(Andri Eko Ari Wibowo, 2015)



Hembusan uap dan endapan travertin yang berundak yang terlihat di kawasan
Kawah Biru (Kolam Panas) Tinggi Raja, Desa Dolok Marawa, Kecamatan Silau
Kahean, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara (Asep Sugianto, 2015)



Batuan ubahan hasil interaksi fluida termal dengan batuan di daerah Mapos, Nusa Tenggara Timur (Dudi Hermawan, 2015)



Sebaran pasir kuarsa di Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Bangka Belitung (Bayu Sayekti, 2015)



Pengambilan sampel batubara, Daerah Bonehau, Sulawesi Barat
(Muhammad Abdurachman Ibrahim, 2015)



Endapan travertin yang berundak-undak terbentuk akibat mata air panas, banyak mengandung karbonat. Dusun Bahoan, Desa Dolok Marawa, Kecamatan Silau Kahean, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara (Asep Sugianto, 2015)

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 Geologi. 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 dialihbahasa/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 (sebelas) 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 (lima) orang, nama dan alamat institusi bagi masing-masing penulis; disarankan dibuat catatan kaki yang berisi nomor telepon, faxsimile serta e-mail.
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 (empat) hingga 6 (enam) kata. <i>Abstract</i> atau abstrak yang ditulis di bawah abstrak atau <i>abstract</i> menggunakan italic font.

<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 hingga sehingga pembaca dapat memahami dan mengevaluasi hasil penyelidikan/penelitian yang berkaitan dengan topik makalah/karya tulis.</p>
<p>IV</p>	<p>Metode (<i>Method</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 Analisis (<i>Results and Analysis</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. Font huruf/angka untuk keterangan tabel, gambar dan foto berukuran minimum 6 (enam) point</p>
<p>VI</p>	<p>Pembahasan atau Diskusi (<i>Discussion</i>).</p>	<p>Berisi tentang 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>VII</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>VIII</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>IX</p>	<p>Acuan (<i>References</i>)</p>	<p>Acuan ditulis dengan menggunakan sistem nama tahun (Harvard), nama penulis/pengarang yang tercantum didahului oleh nama akhir (surname), 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 Quaternary evolution of The Bandung Basin, West Java, Indonesia*. Ph.D Thesis at Dept. of Quaternary 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 merubah 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 (satu) eksemplar naskah asli baik hard copy maupun soft copy kepada :

Sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi
Bidang Informasi, Pusat Sumber Daya Geologi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung, 40254
Telepon. (022) 520 2698, 522 6270
Fax. (022) 522 6270, 522 6263
Email : buletinpsdg@gmail.com

Alamat Redaksi :
Buletin Sumber Daya Geologi
Bidang Informasi
Jalan Soekarno-Hatta No. 444 Bandung, 40254
Telp. (022) 5226270, 5202698, Fax. (022) 5206263,
Website : www.esdm.go.id/, <http://psdg.bgl.esdm.go.id/>,
e-mail : psdg@bgl.esdm.go.id

