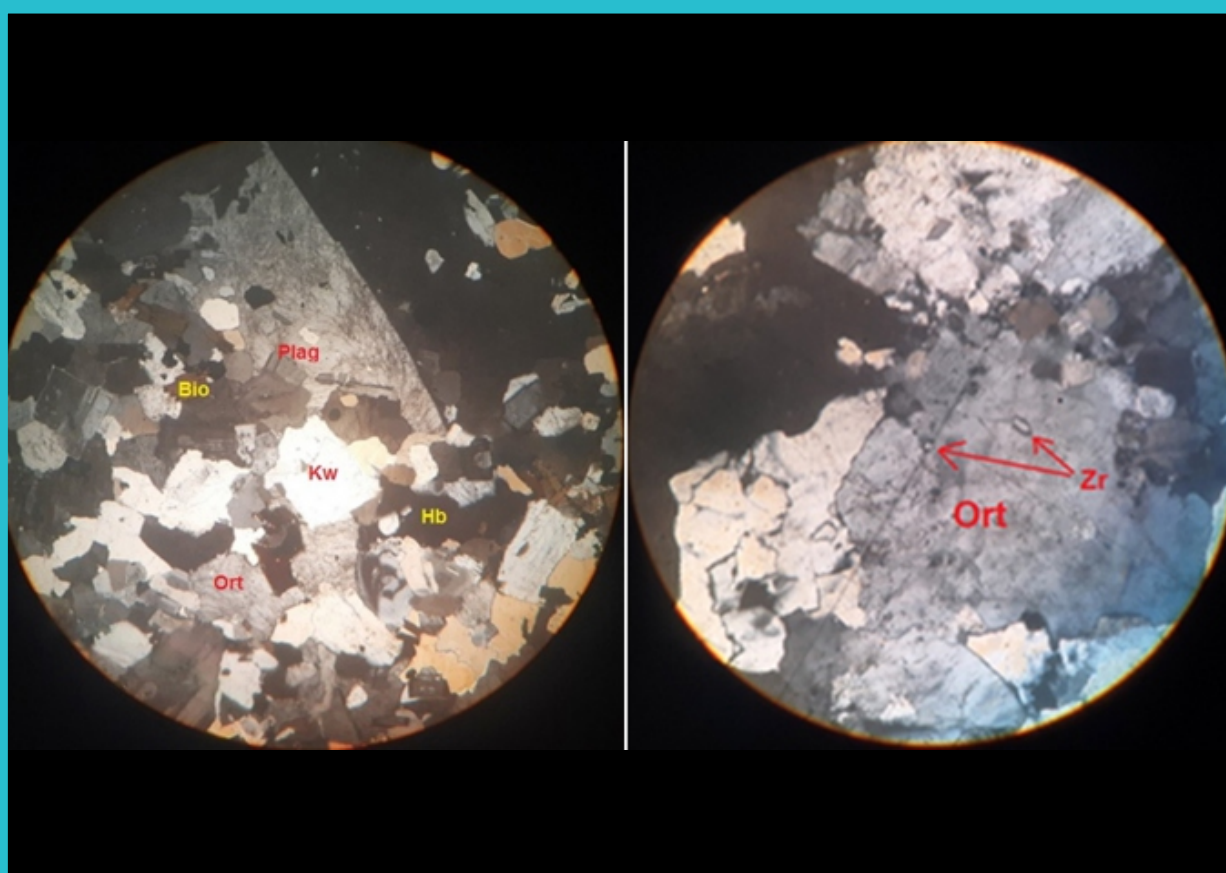


buletin

SUMBER DAYA GEOLOGI

ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

Volume 16 No. 3, November 2021



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Badan Geologi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 16	No. 3	Halaman 152 - 233	Bandung November 2021	Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 200/M/KPT/2020
--------------------------------	---------	-------	----------------------	--------------------------	---

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Foto sayatan tipis Batuan Granodiorit Hornblenda Biotit

Keterangan: Bio = biotit, Plag = plagioklas, Kw = kuarsa, Hb = hornblenda,
Ort = ortoklas, Zr = zirkon (Ngadenin, dkk., 2021)

Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 200/M/KPT/2020

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

DEWAN REDAKSI

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

Alamat sekretariat dan pengiriman naskah

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

PENGANTAR REDAKSI

Di penghujung Tahun 2021 Buletin Sumber Daya Geologi kembali hadir dengan lima makalah ilmiah tentang mineral dan panas bumi. Kelima makalah tersebut berupa hasil kajian tentang potensi mineralisasi radioaktif pada batuan granit, pengaruh struktur terhadap sistem panas bumi, pemanfaatan penginderaan jauh untuk menentukan wilayah prospek panas bumi dan penentuan wilayah prospek mineral logam berdasarkan sampel geokimia tanah serta karakteristik alterasi dan mineralisasi cebakan tembaga.

Makalah pertama berupa kajian pada batuan berkomposisi granitik untuk diketahui tipe cebakan mineral radioaktif berdasarkan karakteristik radioaktivitas, kadar uranium dan mineralogi batuan. Hasil kajian memperoleh data bahwa mineral radioaktif yang terdapat pada batuan granitik terdiri dari zirkon, monasit, alanit, thorit dan brannerit sedangkan cebakan mineral radioaktif yang berpotensi terbentuk di Pulau Sulawesi berupa cebakan thorium tipe plaser pada delta dan pantai yang ada saat ini.

Makalah kedua menyajikan identifikasi daerah prospek panas bumi menggunakan metode penginderaan jauh berdasarkan analisis citra landsat 8 dan DEMNas. Metode ini mampu mendelineasi luasan wilayah prospek berdasarkan kriteria tertentu yang selanjutnya perlu ditindaklanjuti dengan pembuktian di lapangan.

Bahasan kajian selanjutnya berupa identifikasi pengaruh struktur geologi terhadap sistem panas bumi daerah Nage, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Metode yang dipergunakan berupa pengamatan struktur geologi melalui analisis kelurusan topografi, kelurusan sungai, *fitur melingkar* dan densitas kelurusan (*fracture fault density*) dengan menggunakan citra DEMNAS dan pengukuran secara langsung di lapangan. Berdasarkan konfigurasi sesar, manifestasi, dan alterasi hidrotermal disimpulkan terdapat tiga aliran fluida di daerah tersebut.

Makalah keempat menyajikan tentang penggunaan sampel geokimia tanah yang diolah secara statistik univariat dan multivariat yang kemudian digabungkan dengan hasil pengamatan di lapangan. Diperoleh beberapa nilai anomali dan tiga faktor kelompok unsur serta tiga daerah prospek yang ditafsirkan berhubungan dengan adanya mineralisasi logam.

Makalah terakhir berupa hasil kajian tentang karakteristik alterasi dan mineralisasi cebakan tembaga. Kajian ini dilakukan di daerah Seteluk, Provinsi Nusa Tenggara Barat yang ditafsirkan adanya tiga jenis mineralisasi dengan karakteristik yang berbeda. Identifikasi mineralisasi didukung hasil pengamatan lapangan dan analisis sampel di laboratorium yang mendukung hipotesa tersebut.

Pada kesempatan ini, Kami mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi dan manajemen yang telah memfasilitasi pengelolaan Buletin Sumber Daya Geologi. Selain itu, ucapan terima kasih disampaikan kepada para Penulis, Editor dan Mitra Bestari atas kontribusinya sehingga Buletin Sumber Daya Geologi selalu hadir untuk para pembaca dengan menyajikan makalah-makalah ilmiah yang berkualitas.

Salam Sehat dan selalu semangat,

Dewan Redaksi

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

- 152 - 164 **STUDI POTENSI TERBENTUKNYA CEBAKAN MINERAL RADIOAKTIF
PADA BATUAN GRANITIK DI PULAU SULAWESI**
*THE STUDY ON THE POTENTIAL OF RADIOACTIVE MINERAL DEPOSITS FORMATION
IN GRANITIC ROCKS IN SULAWESI ISLAND*
Oleh : Ngadenin, Widodo, Rachman Fauzi, dan Fadiah Pratiwi
- 166 - 184 **ANALISIS CITRA SATELIT LANDSAT 8 DAN DEMNAS UNTUK IDENTIFIKASI
PROSPEK PANAS BUMI DI KABUPATEN ACEH TENGAH, PROVINSI ACEH**
*LANDSAT 8 AND DEMNAS IMAGES ANALYSES TO IDENTIFY GEOTHERMAL PROSPECT
IN CENTRAL ACEH REGENCY, ACEH PROVINCE*
Oleh : Husin Setia Nugraha, Lano Adhitya Permana, dan Sukaesih
- 186 - 199 **KARAKTERISTIK STRUKTUR GEOLOGI DAN PERANANNYA TERHADAP SISTEM
PANAS BUMI NAGE, KABUPATEN NGADA, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR**
*STRUCTURAL GEOLOGY CHARACTERISTICS AND ITS ROLES TO THE NAGE
GEOTHERMAL SYSTEM, NGADA DISTRICT, EAST NUSA TENGGARA PROVINCE*
Oleh : Devito Pradipta, Lano Adhitya Permana, dan Divi Muhammad Ramdhan
- 200 - 218 **PENENTUAN DAERAH PROSPEK MINERALISASI MENGGUNAKAN METODE
GEOKIMIA TANAH, DAERAH NANGA BANGIK, KECAMATAN BOYAN TANJUNG,
KABUPATEN KAPUAS HULU, PROVINSI KALIMANTAN BARAT**
*DETERMINATION OF MINERALIZATION PROSPECTS BY SOIL GEOCHEMISTRY METHOD
IN NANGA BANGIK AREA, BOYAN TANJUNG DISTRICT, KAPUAS HULU REGENCY,
WEST KALIMANTAN PROVINCE*
Oleh : Sulaeman, Ernowo, dan Denni Widhiyatna
- 220 - 233 **KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI CEBAKAN TEMBAGA
DI DAERAH SETELUK DAN SEKITARNYA, KABUPATEN SUMBAWA BARAT,
PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT**
*THE CHARACTERISTIC OF ALTERATION AND MINERALIZATION OF COPPER
DEPOSITS IN SETELUK AREA AND ITS SURROUNDING, WEST SUMBAWA DISTRICT,
WEST NUSA TENGGARA PROVINCE*
Oleh : Bambang Nugroho Widi dan Edya Putra

ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

GALERI FOTO

Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi

STUDI POTENSI TERBENTUKNYA CEBAKAN MINERAL RADIOAKTIF PADA BATUAN GRANITIK DI PULAU SULAWESI

THE STUDY ON THE POTENTIAL OF RADIOACTIVE MINERAL DEPOSITS FORMATION IN GRANITIC ROCKS IN SULAWESI ISLAND

Ngadenin, Widodo, Rachman Fauzi, dan Fadiyah Pratiwi

Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional
ngadenin@batan.go.id

ABSTRAK

Di Pulau Sulawesi terdapat banyak batuan granitik yang berpotensi mengandung cebakan mineral radioaktif. Tujuan penelitian ini adalah menentukan tipe cebakan mineral radioaktif berdasarkan karakteristik radioaktivitas, kadar uranium dan mineralogi yang bersumber dari batuan granitik tertentu. Data yang digunakan meliputi pengukuran radioaktivitas, kadar uranium, hasil pengamatan megaskopis dan petrografis batuan serta analisis butir mineral berat batuan granitik hasil eksplorasi uranium di Pulau Sulawesi. Batuan granitik terdiri dari granit, granit biotit, granodiorit, granodiorit biotit, granodiorit hornblenda, granodiorit biotit hornblenda, granodiorit hornblenda biotit, adamellit biotit, adamellit biotit hornblenda, adamellit hornblenda biotit, diorit, diorit hornblenda biotit dan syenit. Radioaktivitas batuan granitik 50 s.d. 1.200 c/s dan kadar uranium 0,54 s.d. 36 ppm. Mineral radioaktif yang terdapat pada batuan granitik terdiri dari zirkon, monasit, alanit, thorit dan branerit. Cebakan mineral radioaktif yang berpotensi terbentuk di Pulau Sulawesi adalah cebakan thorium tipe *placer* pada delta dan pantai yang ada saat ini.

Kata kunci: cebakan mineral, mineral radioaktif, uranium, thorium, granitik, Sulawesi

ABSTRACT

In the Island of Sulawesi, there are many granitic rocks which have potential for containing radioactive mineral deposits. The purpose of this study is to determine the type of radioactive mineral deposits based on radioactivity, uranium grade, and mineralogy characteristics of certain granitic rocks. The data used comprise radioactivity measurement, uranium content, megascopic and petrographic observations of rocks, and grain analysis of heavy mineral of granitic rocks from uranium exploration on the island of Sulawesi. The granitic rocks consist of granite, biotite granite, granodiorite, biotite granodiorite, hornblenda granodiorite, hornblenda biotite granodiorite, biotite hornblenda granodiorite, biotite adamellite, hornblenda biotite adamellite, biotite hornblenda diorite, diorite, biotite hornblenda diorite and syenite. The radioactivity of granitic rocks is 50 to 1,200 c/s and uranium content is 0.54 to 36 ppm. Radioactive minerals found in granitic rocks consist of zircon, monazite, alane, thorite, and brannerite. The potential occurrence of radioactive mineral deposits on the island of Sulawesi are placer-type thorium deposits at the modern deltas and coasts.

Keywords: mineral deposits, radioactive minerals, uranium, thorium, granitic, Sulawesi

PENDAHULUAN

Pulau Sulawesi yang berbentuk unik dan menyerupai bentuk huruf “K” merupakan daerah dengan tektonik yang sangat kompleks karena merupakan tempat

pertemuan empat lempeng tektonik yang terdiri dari tiga lempeng besar dan satu lempeng kecil. Tiga lempeng besar yaitu Lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara, Lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat dan Lempeng

Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, sedangkan lempeng kecilnya adalah Lempeng Filipina yang bergerak ke arah selatan - tenggara. Proses tumbukan keempat lempeng tersebut mengakibatkan Pulau Sulawesi mempunyai empat lengan dengan proses tektonik yang berbeda-beda, membentuk satu kesatuan mosaik geologi. Pulau ini seolah-olah dirobek oleh berbagai sesar seperti Sesar Palu-Koro, Sesar Matano, Sesar Lawanopo, Sesar Kolaka dan Sesar Walanae. Pada zona tersebut berbagai jenis batuan bercampur sehingga posisi stratigrafinya menjadi sangat unik dan rumit.

Berdasarkan kondisi tektoniknya, Sulawesi dapat dibagi menjadi empat busur, yaitu; busur barat (*West & North Sulawesi Volcano-Plutonic Arc*), busur tengah (*Central Sulawesi Metamorphic Belt*), busur timur (*East Sulawesi Ophiolite Belt*) dan fragmen benua (*micro continents*) Blok Banggai - Sula dan Blok Tukang Besi - Buton (Gambar 1). Busur barat memanjang dari lengan utara sampai dengan lengan selatan Pulau Sulawesi. Secara umum merupakan jalur magmatik yang terdiri dari batuan vulkanik dan plutonik berumur Paleogen – Kuarter. Sebagai busur magmatik, busur barat dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu jalur utara dan barat. Jalur utara memanjang dari Buol Tolitoli sampai sekitar Manado, dan bagian barat dari Buol Tolitoli ke selatan sampai sekitar Makassar. Batuan jalur utara bersifat riodasitik sampai andesitik, terbentuk pada Miosen - Resen dengan batuan dasar basaltik yang terbentuk pada Eosen - Oligosen.

Jalur magmatik bagian barat mempunyai batuan penyusun lebih bersifat kontinen yang terdiri atas batuan gunung api - sedimen berumur Mesozoikum - Kuarter dan batuan malihan berumur Kapur. Batuan tersebut diterobos granitoid bersusunan terutama granodioritik sampai granitik.

Busur tengah berupa batuan malihan berumur Kapur yang ditumpangi oleh

batuan bantus sebagai bagian dari Blok Australia. Busur timur berupa ofiolit yang merupakan segmen dari kerak samudera berimbrikasi dan batuan sedimen berumur Trias - Miosen. Busur ini tersusun oleh batuan-batuan mafik dan ultramafik disertai batuan sedimen pelagis dan batuan bantus di beberapa tempat. Fragmen benua Blok Banggai - Sula merupakan gugusan kepulauan yang terletak di sebelah timur Sulawesi sedangkan fragmen benua Blok Tukang Besi - Buton merupakan gugusan kepulauan yang terletak di tenggara Sulawesi. Fragmen benua Banggai Sula dan Blok Tukang Besi - Buton merupakan pecahan benua yang berpindah dari timur ke arah barat karena *strike-slip faults* dari New Guinea (Sompotan, 2012; Watkinson, 2011; White *et al.*, 2017) (Gambar 1).

Ditinjau dari aspek metalogenik, di busur barat yang tersusun oleh batuan plutonik dan vulkanik berumur Paleogen – Kuarter, di beberapa tempat terdapat cebakan porfiri Cu-Au (Van Leeuwen dan Pieters, 2011; Maulana *et al.*, 2020; Hakim, 2017; Maulana *et al.*, 2013). Pada Busur Tengah yang merupakan jalur kompleks batuan malihan berumur Kapur juga ditemukan daerah prospek cebakan emas di daerah pegunungan Rumbia (Hasria *et al.*, 2017). Busur Timur yang tersusun oleh batuan-batuan mafik dan ultramafik merupakan jalur endapan bijih nikel (Kamaruddin *et al.*, 2018; Lintjewas *et al.*, 2019; Thamsi, 2016). Mineralisasi porfiri Cu-Au pada batuan granitik di Sulawesi terdapat di daerah Tombulilato Provinsi Gorontalo, dan daerah Sassak, Mangkaluku, Latuppa dan Palopo Selatan, Provinsi Sulawesi Selatan (Maulana *et al.*, 2013). Di daerah Masamba, Sulawesi Selatan didapatkan mineral radioaktif kelompok thorium yang terdiri dari monasit, zirkon dan thorit pada batuan granitik berumur Tersier (Widodo dan Ngadenin, 2020).

Berdasarkan hasil evaluasi data keterdapatan mineralisasi porfiri Cu-Au pada batuan granitik di daerah Tombulilato, Gorontalo dan daerah Sassak, Mangkaluku, Latuppa dan Palopo

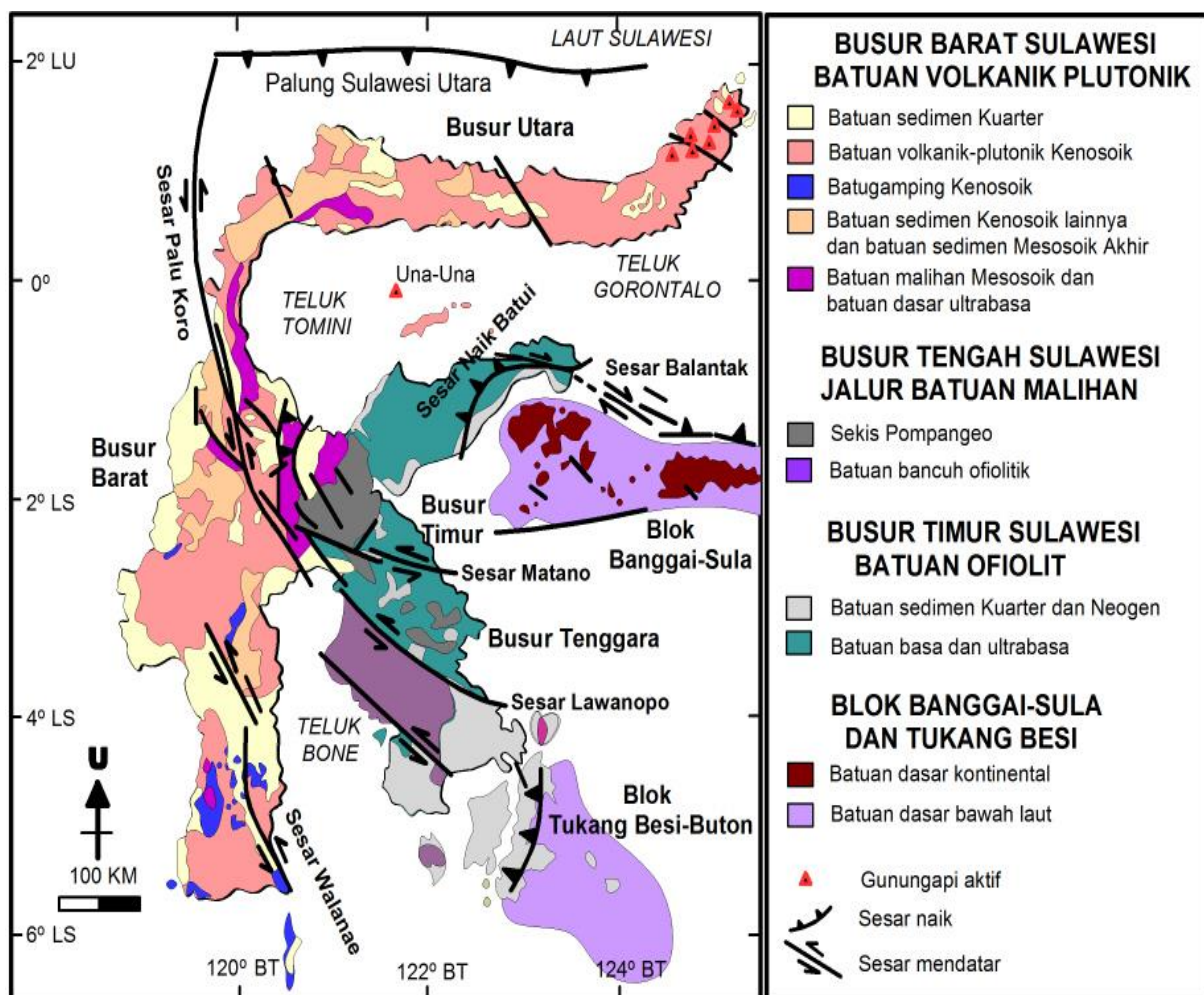
Selatan, Sulawesi Selatan serta keterdapatannya mineral radioaktif kelompok thorium pada batuan granitik di daerah Masamba, Sulawesi Selatan maka diharapkan akan diketahui potensi terbentuknya cebakan mineral radioaktif pada batuan granitik di Pulau Sulawesi. Tujuan penelitian ini adalah menentukan tipe cebakan mineral radioaktif yang berpotensi terbentuk berdasarkan karakteristik radioaktivitas dan mineralogi yang bersumber dari batuan granitik tertentu di Pulau Sulawesi.

METODOLOGI

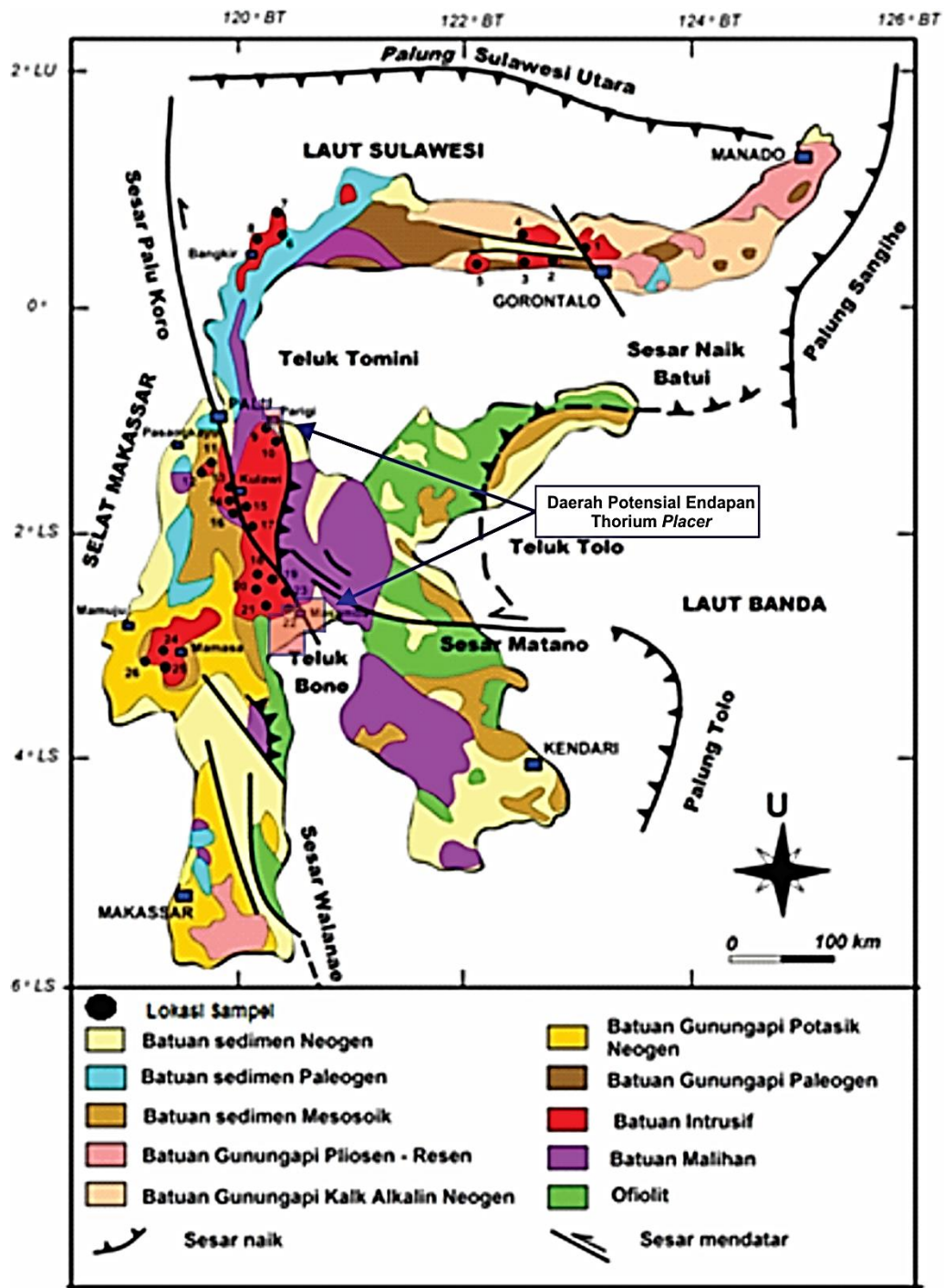
Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengukuran radioaktivitas, kadar uranium, hasil pengamatan mikroskopis dan megaskopis batuan serta hasil analisis

butir mineral berat yang diambil dari batuan granitik di busur barat Pulau Sulawesi (Sampurno dkk., 1986; Soetarno dkk., 1983; Sampurno dkk., 1983; Jalil dkk., 1984; Siregar dkk., 1983; Sarwiyana dkk., 1980).

Pengukuran radioaktivitas batuan dilakukan menggunakan detektor sinar gamma SPP 2NF. Nilai radioaktivitas yang terukur merupakan radiasi sinar gamma alami yang berasal dari konsentrasi potasium (K), uranium (U), atau thorium (Th) pada batuan dan unsur nuklida turunannya (Syaeful dkk., 2014). Analisis kadar uranium dilakukan dengan menggunakan alat fluorimeter. Lokasi pengambilan sampel batuan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta Busur Tektonik Sulawesi
(Modifikasi dari Sompotan (2012), Watkinson (2011) dan White *et al.* (2017))



Gambar 2. Peta Geologi Regional Sulawesi modifikasi dari Van Leeuwen dan Pieters (2011) dan Maulana et al. (2020) serta lokasi pengambilan sampel batuan granitik

TEORI PEMBENTUKAN CEBAKAN MINERAL RADIOAKTIF

Cebakan mineral radioaktif terdiri dari cebakan uranium dan cebakan thorium serta logam tanah jarang. Secara umum cebakan uranium dapat dikelompokkan menjadi 15 tipe yaitu intrusif, *granite*

related, kompleks breksi oksida besi polimetalik, *volcanic related*, metasomatit, metamorfik, ketidakselarasan Proterozoikum, *collapse breccia pipe*, batupasir, *paleo quartz pebble conglomerate*, *surficial*, lignit batubara, karbonat, fosfat dan serpih hitam

(*International Atomic Energy Agency/IAEA*, 2018).

Cebakan uranium tipe intrusif adalah cebakan uranium yang terdapat pada berbagai batuan intrusi seperti granit, pegmatit, monsonit dan syenit peralkalin. Cebakan uranium tipe intrusif dapat berupa cebakan anatektik atau cebakan plutonik. Pada cebakan anatektik batuan pembawa uranium adalah pegmatit dan atau alaskit. Mineral uraninit terdapat pada korok pegmatit granitik dan pegmatit syenitik dalam batuan sedimen atau batuan beku yang termetamorfosakan hingga fasies amfibolit. Umumnya kadar uranium pada cebakan ini adalah rendah (100 s.d. 1.000 ppm) (IAEA, 2018). Kadar minimum untuk penambangan uranium konvensional adalah 0,03% atau 300 ppm sedangkan untuk penambangan uranium metode *in situ leaching* (ISL) adalah 0,01% atau 100 ppm (IAEA, 1998).

Cebakan uranium plutonik terdiri dari tiga kelompok yaitu kelompok monsonit kuarsa, kompleks peralkalin dan karbonatit. Cebakan plutonik adalah cebakan yang terkait dengan diferensiasi magmatik. Kadar uranium dan thorium pada cebakan tipe plutonik sangat rendah hingga rendah. Uranium tersebar di berbagai batuan magmatik intrusif. Cebakan ini dikategorikan sebagai *unconventional resources* oleh IAEA. Di dalam kelompok monzonit kuarsa konsentrasi uranium dengan kadar sangat rendah tersebar merata pada kompleks granitik hingga monzonitik kuarsa pada cebakan porfiri tembaga. Uranium terdapat dalam mineral uraninit atau uranothorianit. Karena kandungan uraniumnya yang sangat rendah (20 s.d. 50 ppm), uranium hanya dapat diperoleh sebagai produk sampingan dari pelindian Cu–Au–Mo (IAEA, 2018).

Di dalam kompleks peralkalin, uranium kadar rendah tersebar merata di granit

peralkalin atau kubah syenit. Uranium biasanya dijumpai dalam mineral streenstrupin, eudyalit atau monasit. Contoh cebakan tipe ini adalah cebakan uranium di Pocos de Caldas, Brasil. Kadar uranium rendah hingga sangat rendah (5 s.d. 25 ppm U). Di batuan karbonatit, uranium tersebar merata dalam bentuk mineral uranothorianit, perovskit, piroklor, dan mineral yang mengandung unsur tanah jarang dalam kompleks karbonatit. Cebakan uranium tipe ini ditemukan di Phalabora, Afrika Selatan sebagai produk sampingan dari produksi tembaga. Contoh lain dari intrusi karbonatit yang mengandung uranium adalah Araxa dan Catalo, Brasil, dan Sokli, Finlandia. Kadar rata-rata uranium berkisar antara kadar rendah hingga sangat rendah (5 s.d. 20 ppm U) (IAEA, 2018).

Cebakan thorium dan logam tanah jarang dapat dikelompokkan menjadi cebakan primer dan cebakan sekunder (IAEA, 2019). Cebakan primer terdiri dari kompleks batuan beku dan terobosan alkali, karbonatit, syenit dan batuan asosiasinya, alkali granit, pegmatit dan urat-urat pada batuan terobosan alkali, korok charnokit-leukotonalit, oksida besi dan hidrotermal magmatik, metasomatit derajat tinggi dan cebakan yang belum jelas asalnya. Cebakan sekunder terdiri dari cebakan paleo *placer* Pra Kambrium dan cebakan *placer* delta dan pantai saat ini.

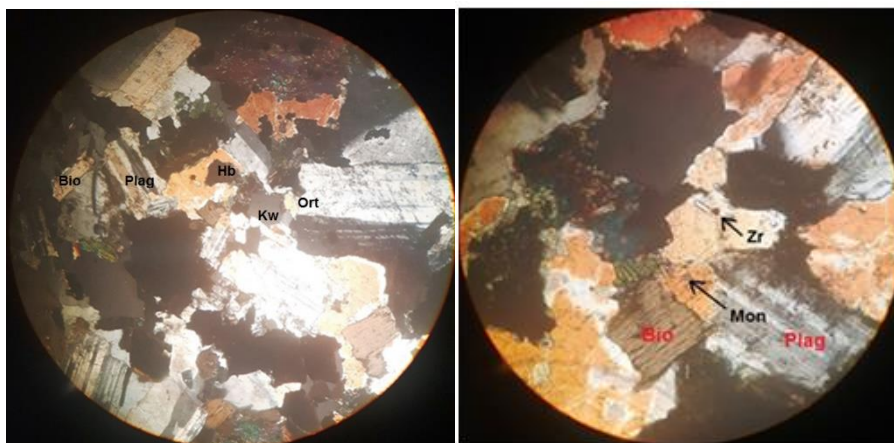
HASIL

Data hasil eksplorasi mineral radioaktif di Sulawesi terdiri dari data pengukuran radioaktivitas, kadar uranium, analisis petrografi dan pengamatan megaskopis batuan pada 25 sampel serta analisis butir mineral berat pada satu sampel pelapukan granit biotit (Tabel 1 dan Gambar 3 s.d. 5). Pengukuran radioaktivitas menggunakan SPP 2NF dilakukan pada sampel – sampel yang mewakili lokasi singkapan yang menunjukkan nilai anomali yang signifikan.

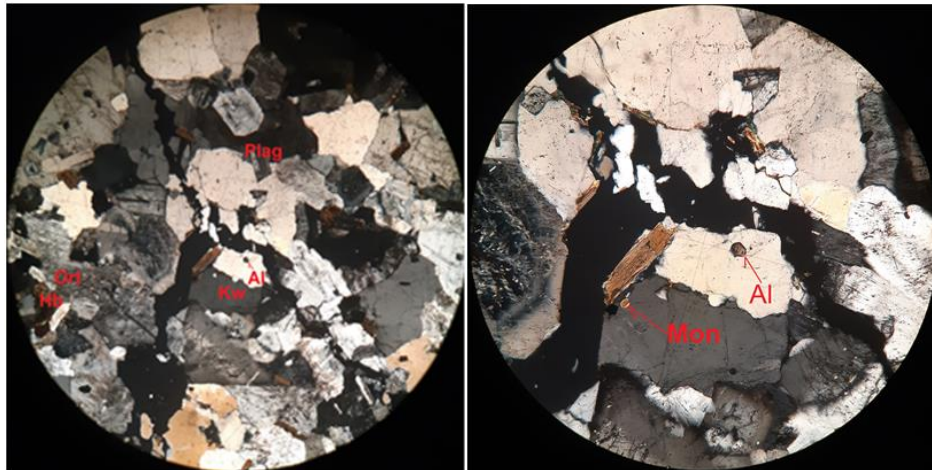
Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Radioaktivitas, Analisis Kadar Uranium, Analisis Petrografi, Analisis Butir Mineral dan Pengamatan Megaskopis di Busur Barat Pulau Sulawesi (Sampurno dkk., 1986; Soetarno dkk., 1983; Sampurno dkk., 1983; Jalil dkk., 1984; Siregar dkk., 1983; Sarwiyana dkk., 1980)

Nomor Sampel	Nama Batuan	Radio aktivitas (c/s)	Kadar Uranium (ppm)	Komposisi Mineral	Keterangan
1	Granodiorit	50	1,66	Plagioklas 40%, K.felspar 10%, kuarsa 30%, biotit 9%,hornblenda 10%, mineral opak 1%	Analisis Petrografi
2	Diorit hornblenda biotit	75	2,31	Plagioklas 30%, kuarsa 8%, K. Felspar 5%, hornblenda 10%, biotit 5%, masa dasar 40%, mineral opak 2%	Analisis Petrografi
3	Granodiorit	100	1,32	K. Felspar 40%, plagioklas 22%, kuarsa 23 %, klorit 10%, mineral opak 2%, apatit dan titanit 1%, oksida besi 2%.	Analisis Petrografi
4	Diorit hornblenda biotit	120	4,96	Plagioklas 25%, hornblenda 7%,biotit 5%, piroksen 2%, kuarsa 0,6%, mineral opak 0,4%, masa dasar 60%	Analisis Petrografi
5	Granodiorit	75	0,54	Kuarsa 15%, K. Felspar 20%, plagioklas 51%, hornblenda 4%, biotit 3%, mineral opak 6%, zirkon dan apatit 1%	Analisis Petrografi
6	Adamelit biotit	180	5,66	Ortoklas 38%, plagioklas 22%, kuarsa 25%, biotit 8%, apatit 2%, mineral opak 4%, zrkon dan monasit 1%	Analisis Petrografi
7	Adamelit hornblenda biotit	200	12,47	Plagioklas 30%, ortoklas 29%, kuarsa 22%, hornblenda 7%, biotit 6%, apatit 1%, zirkon dan monasit 1%, mineral opak 2%, oksida besi 2%	Analisis Petrografi
8	Granit biotit	480	16,96	Ortoklas 44%, kuarsa 25%, plagioklas 18%, biotit 7%, apatit 1%, epidot 1%, titanit 1%, mineral opak 3%	Analisis Petrografi
9	Granit biotit	400	7,58	Ortoklas, plagioklas, kuarsa, biotit, hornblenda, mineral opak	Pengamatan Megaskopis
10	Granit biotit	400	16,39	Ortoklas, plagioklas, kuarsa, biotit, hornblenda, mineral opak	Pengamatan megaskopis
11	Granit	250	11,35	Ortoklas 62%, kuarsa 30%, plagioklas 5%, biotit 2%, monasit 1%	Analisis Petrografi
12	Granodiorit hornblenda	225	11,04	Plagioklas 43%, ortoklas 20%, kuarsa 10%, hornblenda 14%, mineral opak 6%, alanit 5%, apatit 1%, zirkon dan monasit 1%	Analisis Petrografi
13	Adamelit biotit hornblenda	200	14,4	Ortoklas 40%, plagioklas 28%, kuarsa 15%, biotit 10%, hornvblenda 5%, apatit 1%, mineral opak 1%.	Analisis Petrografi
14	Granodiorit biotit hornblenda	400	11,11	Ortoklas 10%, plagioklas 45%, kuarsa 15%, biotit 12%, hornblenda 6%, kalsit 5%, apatit 1%, zirkon 1%, klorit 5%, mineral opak 4%.	Analisis Petrografi

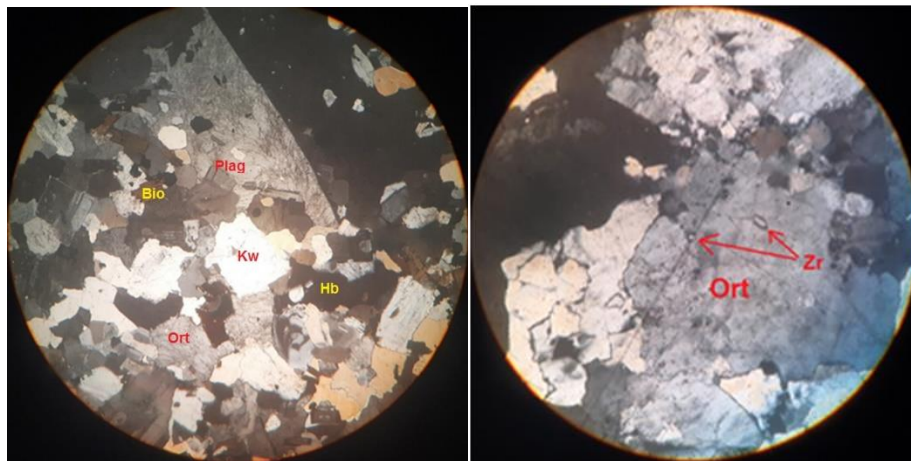
Nomor Sampel	Nama Batuan	Radio aktivitas (c/s)	Kadar Uranium (ppm)	Komposisi Mineral	Keterangan
15	Granodiorit biotit hornblenda	400	6,40	Ortoklas 10%, plagioklas 45%, kuarsa 15%, biotit 12%, hornblenda 6%, apatit 2%, monasit 1%, klorit 3%, spene 5%, mineral opak 1%.	Analisis Petrografi
16	Granodiorit hornblenda biotit	1200	30	Kuarsa 16%, plagioklas 39%, ortoklas 9%, biotit 9%, hornblenda 16%, spene 4%, apatit 2%, monasit+zirkon+thorit 1%, mineral opak 4%.	Analisis Petrografi
17	Adamelit biotit	450	8,4	Kuarsa 30%, ortoklas 26%, plagioklas 30%, biotit 9%, apatit 2%, mineral opak 2%, zirkon+ monasit+ rutil 1%	Analisis Petrografi
18	Granit biotit	250	30,92	Kuarsa 15%, Plagioklas 18%, K.Felspar 50%, biotit 12%, titanit 3%, apatit+zirkon 1%, mineral opak 1%	Analisis Petrografi
19	Granit biotit	300	12,38	Kuarsa 15%, ortoklas 26%, plagioklas 45%, biotit 10%, muskovit 1%, fluorit 1%, mineral opak 1%, zirkon+apatit 1%	Analisis Petrografi
20	Granodiorit biotit	200	12,31	Kuarsa 20%, plagioklas 45%, K.Felspar 15%, biotit 15%, titanit 3%, zirkon+apatit 1%, mineral opak 1%	Analisis Petrografi
21	Granit Biotit	300	19,9	Kuarsa 12%, plagioklas 20%, ortoklas 55%, biotit 10%, epidot 1%, zirkon 1%, mineral opak 1%.	Analisis Petrografi
22	Adamelit biotit hornblenda	200	9,68	Kuarsa 15%, plagioklas 35%, ortoklas 31%, biotit 10%, hornblenda 7%, zirkon 1%, mineral opak 1%	Analisis Petrografi
23	Granit biotit	350	7,26	Monasit, zirkon, apatit, ilmenit, titanit, alanit, brannerit, thorit	Analisis Butir Mineral Berat
24	Diorit	250	3,7	Plagioklas , hornblenda, biotit , piroksen, mineral opak	Pengamatan megaskopis
25	Granit	240	7,7	Ortoklas, plagioklas, kuarsa, biotit, mineral opak	Pengamatan megaskopis
26	Syenit	750	36	Ortoklas, plagioklas, biotit, kuarsa, mineral opak	Pengamatan megaskopis



Gambar 3. Foto sayatan tipis batuan sampel nomor 7. Keterangan: Bio = biotit, Plag = plagioklas, Kw = kuarsa, Hb=hornblenda, Ort = ortoklas, Zr = zirkon, Mon=monasit



Gambar 4. Foto sayatan tipis batuan sampel nomor 12. Keterangan: Plag = plagioklas, Kw = kuarsa, Hb = hornblenda, Ort = ortoklas, Mon = monasit, Al = alanit



Gambar 5. Foto sayatan tipis batuan sampel nomor 16. Keterangan: Bio = biotit, Plag = plagioklas, Kw = kuarsa, Hb = hornblenda, Ort = ortoklas, Zr = zirkon

PEMBAHASAN

Dari 15 tipe cebakan uranium dan 12 tipe cebakan thorium yang ada (Bruneton, 2014), jenis cebakan yang berpotensi terbentuk pada batuan granitik di Sulawesi adalah cebakan uranium tipe intrusif (*intrusive deposits*) serta cebakan thorium tipe *placer*. Cebakan uranium tipe intrusif dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu cebakan sub tipe pegmatit alaskit anatektik dan cebakan sub tipe plutonik.

Cebakan Uranium Tipe Intrusif - Sub tipe Pegmatit Alaskit Anatektik

Batuan pembawa uranium untuk cebakan pegmatit alaskit anatektik adalah alaskit (leukogranit). Mineral radioaktif yang

terdapat dalam alaskit adalah uraninit dengan kadar uranium 100 s.d. 1.000 ppm (IAEA, 2018). Alaskit atau leukogranit merupakan granit tipe S yaitu granit yang terbentuk dari hasil pelelehan sebagian batuan para metamorfik (Zhao *et al.*, 2011), atau pelelehan dari batuan meta sedimen (Zhang *et al.*, 2019), atau hasil anateksis batuan pelitik (Zhao *et al.*, 2013), secara mineralogi alaskit umumnya berupa granit dua mika (Zhao *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2013). Beberapa penulis menyimpulkan bahwa granit di busur barat Pulau Sulawesi adalah granit tipe I (Maulana *et al.*, 2016). Granit Masamba dan Mamasa merupakan granit tipe I (Maulana *et al.*, 2016; Kurniady dkk., 2019).

Batuan pembawa uranium pada batuan granitik di Pulau Sulawesi terdiri dari granit, granodiorit, diorit, adamelit dan syenit. Mineral radioaktif terdiri dari zirkon, monasit, alanit, thorit dan brannerit (Tabel 1). Kadar uranium 0,54 ppm s.d. 36 ppm. Dengan melihat indikator batuan pembawa uranium bukan alaskit serta tidak ditemukannya uraninit dan kadar uraniumnya dibawah 100 ppm maka dapat dinyatakan bahwa di Pulau Sulawesi tidak berpotensi terbentuk cebakan tipe intrusif subtype pegmatit alaskit anatektik.

Cebakan Uranium Tipe Intrusif - Subtipe Plutonik

Cebakan uranium tipe intrusif - subtype plutonik dibagi menjadi tiga kelompok yaitu kelompok monzonitik kuarsa, kompleks peralkalin dan karbonatit. Batuan pembawa uranium untuk kelompok monzonitik kuarsa adalah batuan granitik hingga monzonitik kuarsa yang terdapat pada cebakan porfiri tembaga, kadar uranium sangat rendah (20 s.d. 50 ppm). Mineral indikatornya adalah uraninit atau uranothorianit (IAEA, 2018). Pada cebakan uranium tipe intrusif - subtype plutonik - kelompok monzonitik kuarsa, uranium merupakan produk samping dari cebakan tembaga porfiri.

Batuan granitik di Sulawesi terdiri dari granit, granodiorit, diorit, adamelit dan syenit (Tabel 1). Kadar uranium 5,66 s.d. 36 ppm. Mineral radioaktif terdiri dari zirkon, monasit, alanit, thorit dan brannerit. Menurut penelitian terdahulu pada beberapa tempat pada batuan granitik di Sulawesi terdapat mineralisasi tembaga porfiri yaitu di daerah Sassak, Mangkaluku, Latuppa dan Palopo Selatan, Sulawesi Selatan (Maulana *et al.*, 2013).

Walaupun terdapat mineralisasi tembaga porfiri pada batuan granitik di Pulau Sulawesi dengan kadar uranium yang memenuhi syarat antara lain granit biotit pada sampel nomor 18 dengan kadar 30,92 ppm dan syenit pada sampel nomor 26 dengan kadar 36 ppm (Tabel 1 dan

Gambar 2), tetapi tidak terdapat mineral uraninit atau uranothorianit sebagai mineral indikator pembentukan cebakan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa cebakan uranium kelompok monzonitik kuarsa tidak berpotensi terbentuk di Sulawesi.

Batuan pembawa uranium pada kelompok kompleks peralkalin, adalah granit peralkalin atau kubah syenit. Kadar uranium rendah hingga sangat rendah (5 s.d. 25 ppm U). Uranium biasanya dijumpai dalam mineral streenstrupin, eudyalit atau monasit (IAEA, 2018). Syenit dengan kadar uranium 36 ppm ditemukan di daerah Mamasa, Sulawesi Barat. Menurut penelitian terdahulu batuan granitik di daerah Mamasa merupakan granit tipe I. Tidak ditemukan mineral monasit sebagai salah satu mineral indikator radioaktif pada cebakan ini. Mineral radioaktif yang terdapat pada granit Mamasa adalah zirkon dan alanit (Maulana *et al.*, 2014). Walaupun terdapat syenit dengan kadar 36 ppm sebagai batuan pembawa uranium di daerah Mamasa tetapi karena tidak terdapat monasit sebagai mineral indikator maka cebakan uranium tipe intrusif - subtype plutonik - kelompok kompleks peralkalin tidak berpotensi terbentuk pada batuan granitik yang tersebar di daerah Mamasa, Sulawesi Barat.

Di kelompok karbonatit, batuan pembawa uranium adalah karbonatit yaitu batuan beku dengan komposisi mineral karbonat terutama kalsit dan dolomit lebih besar dari 50%, ditambah mineral silikat, fosfat dan oksida (Simandl and Paradis, 2018). Mineral sebagai indikator pada kelompok karbonatit adalah uranothorianit, perovskit, piroklor, dan mineral yang mengandung unsur tanah jarang dalam kompleks karbonatit. Kadar rata-rata uranium berkisar antara kadar rendah hingga sangat rendah (5 s.d. 20 ppm) (IAEA, 2018). Cebakan uranium tipe intrusif - subtype plutonik - kelompok karbonatit tidak berpotensi terbentuk karena di Pulau Sulawesi tidak terdapat batuan karbonatit.

Cebakan Thorium Tipe *Placer*

Cebakan thorium tipe *placer* terbentuk apabila di dalam batuan granitik terkandung mineral radioaktif kelompok thorium seperti monasit dan zirkon. Oleh karena proses pelapukan, erosi, transportasi dan sedimentasi maka mineral-mineral radioaktif kelompok thorium tersebut diendapkan sebagai endapan aluvial sungai maupun pantai karena mineral-mineral radioaktif tersebut merupakan mineral super stabil yang tahan terhadap pelapukan kimia dan fisika.

Hasil analisis petrografi dan analisis butir mineral berat batuan granitik di Sulawesi memperlihatkan bahwa mineral radioaktif yang terdapat pada batuan granitik terdiri dari zirkon, monasit, alanit, thorit, brannerit dan apatit (Tabel 1).

Zirkon dan monasit (Cuney, 2014), alanit (Budzyn et al., 2017), thorit (IAEA, 2019) dan brannerit (Costine et al., 2013) adalah mineral-mineral super stabil atau resisten terhadap pelapukan kimia maupun fisika sehingga uranium yang terkandung dalam mineral-mineral tersebut sulit terlarut oleh air (Cuney, 2014). Selain itu, apatit yang banyak ditemukan pada sampel juga merupakan salah satu mineral inang (*host mineral*) utama uranium dan thorium di kerak bumi (Hurley and Fairbairn, 1956). Zirkon, monasit, alanit, thorit, brannerit dan apatit cenderung akan tertransportasi oleh aliran sungai dan tersedimentasi menjadi endapan aluvial, delta dan pantai yang ada saat ini. Cebakan thorium tipe *placer* berpotensi terbentuk pada aliran sungai, delta dan pantai dengan sumber batuan granitik di Pulau Sulawesi.

Di Indonesia keterdapatan mineralisasi uranium pada batuan granitik dijumpai pada granit berumur Kapur di daerah Way Pubian Lampung. Nilai radioaktivitasnya 5.000 c/s dengan mineralnya berupa uraninit (Ngadenin dkk., 2020). Hasil pengukuran radioaktivitas batuan granitik di busur barat Pulau Sulawesi menunjukkan nilai berkisar antara 50 c/s

hingga 1.200 c/s. Nilai terendah 50 c/s terukur pada granodiorit di daerah Gorontalo sampel nomor 1 (Tabel 1 dan Gambar 2), sedangkan nilai tertinggi 1.200 c/s terukur di daerah Kulawi sampel nomor 16 (Tabel 1 dan Gambar 2).

Dengan mengacu pada indikator keterdapatan mineralisasi uranium yang terdapat di Way Pubian, Lampung dengan radioaktivitas batuan 5.000 c/s maka di Pulau Sulawesi tidak terdapat indikator keterdapatan mineralisasi uranium pada batuan granitik.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengukuran radioaktivitas, kadar uranium, pengamatan megaskopis, analisis petrografi dan analisis butir mineral berat dari batuan granitik di Pulau Sulawesi dapat disimpulkan bahwa cebakan mineral radioaktif yang berpotensi terbentuk adalah cebakan thorium tipe *placer* terutama pada aliran sungai, delta dan pantai yang bersumber dari kawasan batuan granitik. Secara konseptual daerah yang berpotensi diantaranya pesisir selatan Masamba dan sekitarnya serta pesisir utara Parigi dan sekitarnya (Gambar 2). Direkomendasikan untuk melakukan survei tinjau lanjutan untuk mengetahui keterdapatan, karakteristik dan sebaran cebakan mineral radioaktif di daerah tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Yarianto Sugeng Budi Susilo, M. Si. selaku Kepala Pusat Riset dan Teknologi Bahan Galian Nuklir (PRTBGN – OR TN BRIN) serta Bapak Heri Syaeful, M.T. selaku Koordinator Bidang Eksplorasi yang telah mendukung penelitian ini sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

Bruneton, P., 2014. IAEA Classification of Uranium Deposits. URAM, IAEA.

- Budzyń, B., Harlov, D.E., Kozub-Budzyń, G., and Majka, J., 2017. Experimental Constraints on the Relative Stabilities of the Two Systems Monazite – Allanite – Fluorapatite and Xenotime – (Y,HREE)-Rich Epidote – (Y,HREE)-Rich Fluorapatite in High Ca and Na-Ca Environments Under P-T Conditions of 200–1000 MPa and 450–750 °C. *Mineralogy and Petrology* 110(6), April 2017, DOI: 10.1007/s00710-016-0464-0.
- Costine, A., Nikoloski, A. N., Da Costa, M., Chong, K .F., and Hackl, R., 2013. Uranium Extraction from a Pure Natural Brannerite Mineral by Acidic Ferric Sulphate Leaching. *Minerals Engineering*, Volume 53, November 2013, Pages 84-90.
- Cuney, M., 2014. Felsic Magmatism and Uranium Deposits. *Bull. Soc. Geol. Fr.* 185,75–92.
- Hakim, A.Y.A., 2017. *Genesis of Orogenic Gold in the Latimojong District, South Sulawesi, Indonesia*, PHd. Thesis, Montanuniversita, Leoben, Austria
- Hasria, Idrus, A., and Warmada, I. W., 2017. The Metamorphic Rocks-Hosted Gold Mineralization at Rumbia Mountains Prospect Area in the Southeastern Arm of Sulawesi Island, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology* Vol 02, No. 03.
- Hurley, P. M. and Fairbairn H.W., 1956. Abundance and Distribution of Uranium and Thorium in Zircon, Sphene, Apatite, Epidote, and Monazite in Granitic Rocks. Trace Element Investigation Report 636, US Geological Survey, Washington.
- International Atomic Energy Agency, 1998, (IAEA) – TECDOC -1035 : Classification of Uranium Reserves / Resources, Vienna.
- International Atomic Energy Agency, 2018, (IAEA) – TECDOC - 1842 :Geological Classification Of Uranium Deposits And Description Of Selected Examples, Vienna.
- International Atomic Energy Agency, 2019, (IAEA) – TECDOC - 1892 : Thorium Resources as Co and By Products of Rare Earth Deposits, Vienna.
- International Atomic Energy Agency, 2019, (IAEA)-TECDOC-1877 : World Thorium Occurences, Deposits and Resources, Vienna.
- Jalil, A., Sutriyono, A., Widito dan Ngadenin, 1984, Laporan Akhir Prospeksi Pendahuluan Daerah Eksplorasi Sulawesi Sektor Pasangkayu, Laporan Internal PEPBN-BATAN, Jakarta, tidak dipublikasikan.
- Kamaruddin, H., Ardiansyah I.K., Rosana, M. F., Sulaksana, N. dan Euis Tintin Yuningsih, E.T., 2018. Profil Endapan Laterit Nikel di Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Buletin Sumber Daya Geologi* Volume 13, Nomor 2.
- Kurniady, A. B., Hakim, F., Idrus, A., Warmada, I. W., Raharjanti, N. A., 2019. Karakteristik Petrologi dan Geokimia Batuan Granitoid Mamasa di Daerah Hahangan dan sekitarnya, Sulawesi Barat, Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Kebumian Ke 12 Teknik Geologi UGM*, Yogyakarta 5-6 September 2019.
- Lintjewas, L., Setiawan, I. dan Al Kausar, A., 2019. Profil Endapan Nikel Laterit di Daerah Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara, J. *Ris.Geo.Tam* Vol. 29, No.1, Juni 2019 (91-104).
- Maulana, A., Bocker, M., and Dan, W., 2020. Petrogenesis and Geochronology of Cenozoic Intrusion in the Poboya and Sassak gold and copper districts in the western Sulawesi, Indonesia : Implication for the Mineralization processes and magma sources. *Journal of Asian Earth Science* Vo. 193, May 2020.
- Maulana, A., Imai, A., Van Leeuwen, T., Watanabe, K., Yonezu, K., Nakano, T., Boyce, A., Page, L., and Schersten, A., 2016. Origin and Geodynamic Setting of Late Cenozoic Granitoids in Sulawesi, Indonesia. *Journal of Asia Earth Sciences*, Vo. 124, 2016, p.102-125.

- Maulana, A., Watanabe, K., and Yonezu, K., 2016. Petrology and Geochemistry of Granitoid from South Sulawesi, Indonesia: Implication for Rare Earth Element (REE) Occurrences. *International Journal of Engineering and Science Applications*, IJEScA vol.3, 1, May 2016.
- Maulana, A., Yonezu, K., and Watanabe, K., 2014. Geochemistry of Rare Earth Elements (REE) in the Weathered Crusts from the Granitic Rocks in Sulawesi Island, Indonesia. *Journal of Earth Science*, Vol. 25, No. 3, p. 460–472, June 2014.
- Ngadenin, Syaeful, H., Widana, K. S., Muhammad, A. G., Sukadana, I G., Trinopiawan, K., Prassanti, R., Anggraeni, M., Marisi, D. P., Fauzi, R., Pratiwi, F., 2020, 50 th Eksplorasi Uranium di Indonesia, BATAN Press, Jakarta.
- Sampurno, P., Subiantoro, L., dan Widito, 1983, Laporan Akhir Prospeksi Pendahuluan Daerah Eksplorasi Sulawesi Sektor Gintu. Laporan Internal PEPBN-BATAN, Jakarta 1983, tidak dipublikasikan.
- Sampurno, P., Singgih, M. D., Subiantoro, L., dan Subardjo, 1986, Laporan Akhir Prospeksi Pendahuluan Daerah Eksplorasi Sulawesi Sektor Marisa – Limboto, Laporan Internal PEPBN-BATAN, Jakarta 1986, tidak dipublikasikan.
- Sarwiyana A., Mudiyo, S., Singgih, M. D., Tambunan, R., Riza, M. dan Paimin, 1980, Laporan Akhir Prospeksi Pendahuluan Daerah Eksplorasi Sulawesi Sektor Polewali-Mamasa, Laporan Internal PEPBN-BATAN, Jakarta 1980, tidak dipublikasikan.
- Simandl, G. J. and Paradis S., 2018. Carbonatites: Related Ore Deposits, Resources, Footprint, and Exploration Methods. *Applied Earth Science* Volume 127, 2018.
- Siregar, M., Sabarman, Suhartadi, Handoko. S., Harnadi, Suropto, Sularto, P., Marzuki, A., 1983, Laporan Akhir Prospeksi Pendahuluan Detil Eksplorasi Sulawesi Luwu Utara, Laporan Internal PEPBN-BATAN, Jakarta 1983, tidak dipublikasikan.
- Soetarno, D., Paimin, Widito dan Ngadenin, 1983, Laporan Akhir Prospeksi Pendahuluan Daerah Eksplorasi Sulawesi Sektor Parigi-Bangkir, Laporan Internal PEPBN-BATAN, Jakarta 1983, tidak dipublikasikan.
- Sompotan, A. F., 2012. Struktur Geologi Sulawesi, Perpustakaan Sains Kebumihan Institut Teknologi Bandung.
- Syaeful, H., Sukadana, I.G., dan Sumaryanto, A., 2014. Radiometric Mapping for Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM) Assesment in Mamuju, West Sulawesi, *Atom Indonesia* Vol. 40, No. 1, BATAN, Jakarta.
- Thamsi, A. B., 2016. Estimasi Cadangan Terukur Endapan Nikel Laterit Cog 2,0% Menggunakan Metode Inverse Distance pada PT. Teknik Alum Service, Blok X. *Jurnal Geomine*, Vol 4, No. 3: Desember 2016.
- Van Leeuwen, T. M. and Pieters, P. E., 2011. Mineral Deposits of Sulawesi. *Proceedings of The Sulawesi Mineral Resources 2011 Seminar MGEI-IAGI* 28-29 November 2011, Manado, North Sulawesi, Indonesia.
- White, L. T., Hall, R., Armstrong, R. A., Barber, A. J., Bou, M., Fadel, D., Baxter, A., Wakita, K., Manning, C., and Soesilo, J., 2017. The Geological History of the Latimojong Region of Western Sulawesi, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences* Vol. 138, 1 May 2017, p.72-91.
- Watkinson, I. M., 2011. Ductile Flow in the Metamorphic Rocks of Central Sulawesi. *Geological Society of London, Special Publication*, 355, 157-176, 27 June 2011.

- Widodo dan Ngadenin, 2020. Studi Keterdapatan Mineral Radioaktif pada Batuan Granitik Tersier dan Batuan Malihan Kapur di Masamba, Sulawesi Selatan. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2020, Serpong, 18 November 2020.
- Zhang, Q., Liu, Y., Wu, Z., Huang, H., Li, K., and Zhou, Q., 2019. Late Triassic Granites from the Northwestern Margin of the Tibetan Plateau, the Dahongliutan Example: Petrogenesis and Tectonic Implications for the Evolution of the Kangxiwa Palaeo-Tethys. *International Geology Review* Volume 61, 2019,p.175-194.
- Zhao, K. D., Jiang, S. Y., Dong, C. Y., Chen, W. F., Chen, P. R., Ling, H. F., Zhang, J., and Wang, K. X., 2011. Uranium Bearing and Barren Granites from the Taoshan Complex, Jiangxi Province, South China : Geochemical and Petrogenetic Discrimination and Exploration Significance. *Journal of Geochemical Exploration* 110 (2011) 126-135.
- Zhao, K. D., Li, J. R., Ling, H. F., Chen, P. R., Chen, W., F., and Sun, T. , 2013. Geochronology, Geochemistry and Petrogenesis of Two-Stage Indosinian Granites from the Xiajiang Uranium Ore Deposit, Jiangxi Province: Implication for Indosinian Tectonics and Genesis of Uranium Bearing Granites in South China. *Acta Petrol. Sin.*, vol. 29, no. 12, pp. 4349–4361, 2013.

Diterima	: 5 September 2021
Direvisi	: 5 Oktober 2021
Disetujui	: 15 November 2021

ANALISIS CITRA SATELIT LANDSAT 8 DAN DEMNAS UNTUK IDENTIFIKASI PROSPEK PANAS BUMI DI KABUPATEN ACEH TENGAH, PROVINSI ACEH

LANDSAT 8 AND DEMNAS IMAGES ANALYSES TO IDENTIFY GEOTHERMAL PROSPECT IN CENTRAL ACEH REGENCY, ACEH PROVINCE

Husin Setia Nugraha, Lano Adhitya Permana, dan Sukaesih

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

husin_setia_n@yahoo.com

ABSTRAK

Gabungan beberapa analisis pada citra satelit Landsat dan *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS) dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi indikasi area prospek panas bumi. Analisis dilakukan di Kabupaten Aceh Tengah yang diawali dari informasi keberadaan mata air panas pada peta geologi regional lembar Takengon. Metoda penginderaan jauh seperti metoda *Fault and Fracture Density* (FFD) dan interpretasi *circular feature* diterapkan pada citra DEMNAS. Sedangkan metoda *Land Surface Temperature* (LST) dan *Direct Principal Component Analysis* (DPCA) diterapkan pada citra Landsat 8. Kenampakan *circular feature*, anomali LST dan indikator adanya mineral ubahan bersuhu tinggi, dapat digunakan untuk memperkirakan keberadaan sumber panas. Sedangkan penerapan FFD digunakan untuk memperoleh indikator adanya zona dengan permeabilitas tinggi yang diperlukan dalam sistem panas bumi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa indikasi sumber panas diperkirakan berada pada kompleks vulkanik Gunung Telege yang berada di daerah Kecamatan Atu Lintang. Hal ini diperlihatkan dengan adanya *circular feature* dan anomali LST yang terdapat di daerah tersebut. Penerapan metoda FFD mengindikasikan adanya zona *outflow* yang berada di sekitar manifestasi mata air panas yang terletak di sebelah barat laut Gunung Telege. Sedangkan dari hasil penerapan metoda DPCA sulit untuk diinterpretasi dikarenakan belum adanya pemisahan yang tegas antara indikator zona argilik lanjut dan zona propilitik dari hasil DPCA tersebut. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya nilai pencampuran antar beberapa indikasi mineral dalam satu piksel yang sama. Secara umum, penggunaan metoda penginderaan jauh di Kabupaten Aceh Tengah dapat membantu untuk memberikan petunjuk awal adanya kemungkinan sistem panas bumi di daerah tersebut.

Kata kunci: *Fault and Fracture Density (FFD), Land Surface Temperature (LST), Direct Principal Component Analysis (DPCA), Gunung Telege*

ABSTRACT

Combined analyses of Landsat satellite image and *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS) are used to identify geothermal prospect areas. The analyses are applied in Aceh Tengah Regency because the information of springs exists in the regional geological map of Takengon. Two methods are applied to DEMNAS, namely the FFD method and circular features visual interpretation. Land Surface Temperature (LST) and Direct Principal Component Analysis (DPCA) methods are employed on Landsat 8 image. The appearance of circular features, anomalies of LST, and the existence of high-temperature mineral indicators are used to predict heat source indication. In addition, the FFD method is employed to indicate high permeability zones.

The research shows that heat source indication is predicted at Mt. Telege Volcanic Complex within the District of Atu Lintang. The heat source is indicated by circular features appearance

and LST anomalies within the area. Furthermore, the FFD method reveals an outflow zone near the hot spring of the northern part of Mt. Telege. In addition, the implementation of the DPCA method could not clearly separate between advanced argillic and propylitic zones from their mineral indication values. It is due to mixing values among several mineral indicator values within the same pixel. In general, the application of the remote sensing method in Aceh Tengah Regency could help to indicate an early possibility of geothermal system exist within the area.

Keywords: Fault and Fracture Density (FFD), Land Surface Temperature (LST), Direct Principal Component Analysis (DPCA), Mt. Telege

PENDAHULUAN

Penggunaan metoda penginderaan jauh (*remote sensing*) untuk eksplorasi panas bumi dari berbagai penelitian, telah dirangkum secara komprehensif oleh van der Meer et al. (2014). Metoda ini dipergunakan untuk mendeteksi keberadaan potensi panas bumi baik langsung maupun tidak langsung dari indikasi keberadaan mineral terubah, anomali suhu dan *heatflux* hingga anomali kenampakan vegetasi dan perubahan muka bumi.

Bukti langsung keberadaan prospek panas bumi berdasarkan metoda penginderaan jauh dapat dilihat dari keberadaan fitur di permukaan dan adanya keberadaan zona ubahan (*alteration zone*). Fitur di permukaan dapat berupa adanya penampakan struktur kaldera, mata air panas, *steaming ground* dan fumarol yang disertai adanya struktur geologi berupa kelurusan atau sesar. Keberadaan mineral ubahan yang dideteksi melalui metoda penginderaan jauh terkadang terlihat dipermukaan. Keberadaan zona ubahan tersebut berupa nilai anomali bilangan digital (*Digital Number*) pada area tertentu. Zona ubahan tersebut merupakan indikasi adanya interaksi fluida panas bumi dengan batuan. Dengan demikian, keberadaan zona ubahan dapat menjadi indikator keberadaan sistem panas bumi (van der Meer et al., 2014).

Lebih lanjut van der Meer et al. (2014) menjelaskan bahwa secara tidak langsung, indikasi keberadaan sistem panas bumi dapat diketahui melalui adanya anomali suhu permukaan dan perubahan atau

deformasi permukaan bumi. Anomali suhu permukaan dapat menunjukkan adanya aktivitas *heatflux* yang dapat diindikasikan sebagai sumber panas.

Adanya deformasi permukaan bumi dapat menjadi indikasi adanya aktivitas sistem panas bumi, seperti pada studi deformasi permukaan dengan menggunakan *Interferometric Synthetic-Aperture Radar* (InSAR) yang bertujuan untuk memonitor penurunan muka tanah (*subsidence*) dan deformasi permukaan. Berdasarkan hal tersebut, studi penginderaan jauh yang dilakukan pada tahap eksploitasi dapat digunakan untuk melihat *subsidence*, sebagai akibat adanya ekstraksi fluida panas bumi dan perubahan tekanan, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Carnec dan Fabriol (1999) dan Fialko dan Simon (2000). Sedangkan studi deformasi pada tahap eksplorasi, bertujuan untuk mendeteksi adanya depresi permukaan karena adanya aktivitas panas bumi di lapisan *sub-glacial* seperti yang dilakukan di Vatnajökull, Islandia (Jónsson et al., 1998).

Analisis struktur bertujuan untuk melihat hubungan antara struktur geologi dengan sistem panas bumi dan kondisi hidrogeologi, sehingga dapat diketahui peranan dari struktur geologi sebagai media untuk sirkulasi fluida panas bumi (Giordano et al., 2013). Secara umum, penggunaan metoda penginderaan jauh yang digunakan untuk eksplorasi panas bumi, baik berupa analisis langsung atau tidak langsung, dapat menggunakan citra *Digital Elevation Model* (DEM) dari hasil akuisisi satelit atau LiDAR.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keberadaan daerah prospek sistem panas bumi di Kabupaten Aceh Tengah melalui analisis data sekunder seperti kemunculan mata air panas dan penerapan metoda penginderaan jauh. Lokasi penelitian sebagian besar terletak di Kabupaten Aceh Tengah yang memiliki luas sekitar 303.726 hektar dengan fokus daerah penelitian berada di Kecamatan Atu Lintang, Kabupaten Aceh Tengah (Gambar 1)

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada penelitian di Kabupaten Aceh Tengah melalui penerapan metoda penginderaan jauh seperti yang tampak pada gambar 2. Metoda penelitian ini membutuhkan adanya interpretasi kelurusan, circular feature dan anomali suhu permukaan serta keterdapatan mineral ubahan. Metoda Penerapan penginderaan jauh di Kabupaten Aceh, merupakan modifikasi dari metoda yang diterapkan oleh Hakim et al. (2017) pada lokasi Gunung Bur Ni Telong yang berada di sebelah utara daerah penelitian.

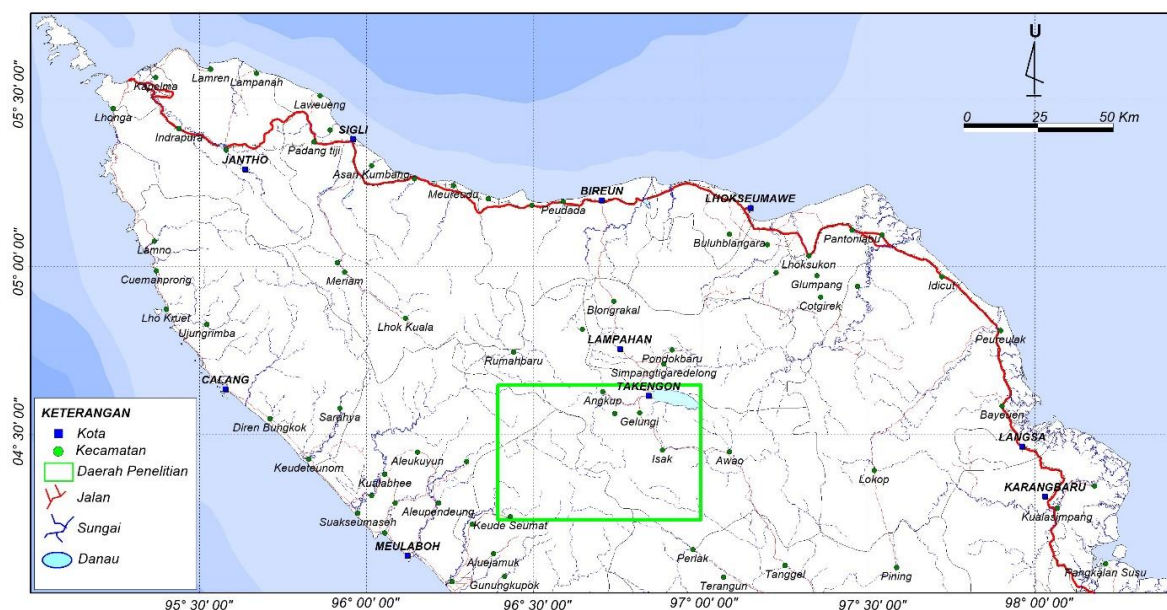
Interpretasi kelurusan dan *circular feature* menggunakan citra DEMNAS yang telah dikonversi menjadi citra *hillshade* dengan berbagai derajat azimuth dengan

kemiringan horizon cahaya pada 45° dari bidang datar. Penelitian ini menggunakan delapan citra *hillshade* dengan azimuth yang berbeda yaitu 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , dan 315° .

Hillshade adalah metoda yang digunakan untuk mempresentasikan gambaran relief sebuah wilayah dari citra DEM yang masih dalam format 2-D (2 Dimensi) dengan cara memberikan kesan 3-D (3 Dimensi) pada citra tersebut (ESRI, 2006).

Interpretasi untuk anomali suhu permukaan dan kandungan mineral di permukaan pada daerah penelitian menggunakan metoda perhitungan *Land Surface Temperature* (LST) dan aplikasi modifikasi *Principal Component Analysis* (PCA) untuk dua komponen atau yang disebut *Direct Principal Component Analysis* (DPCA) yang diimplementasikan pada citra Landsat 8 (Salamba et al., 2019).

Selanjutnya, hasil interpretasi dan analisis anomali yang berupa peta, akan digabungkan dengan peta geologi dan manifestasi permukaan yang ada. Interpretasi dari gabungan peta-peta tersebut akan menghasilkan perkiraan daerah yang terkait dengan keberadaan sistem panas bumi seperti adanya sumber panas (*heat source*), *outflow* dan reservoir.



Gambar 1. Peta Lokasi Studi di Kabupaten Aceh Tengah

Keberadaan sumber panas yang terdapat di daerah penelitian akan diwakili oleh adanya *circular feature* dan anomali suhu permukaan serta keberadaan mineral indikator suhu tinggi. Untuk area reservoir biasanya akan di representasikan dengan area yang memiliki kerapatan kelurusan yang tinggi (Hakim et al., 2017 dan Nugraha et al., 2018).

Metoda *Fault and Fracture Density (FFD)*

Metoda pertama yang diterapkan dalam penelitian ini, yaitu metoda FFD. Data DEMNAS dari Badan Informasi Geospasial (BIG) digunakan untuk membuat peta densitas kelurusan di daerah Kabupaten Aceh Tengah.

Prinsip yang digunakan dalam pembuatan peta densitas kelurusan dengan metoda FFD, yaitu mengasumsikan kelurusan sebagai sesar dan rekahan yang merupakan bidang lemah untuk jalur pergerakan fluida panas. Algoritma metoda FFD dari Hakim et al. (2017) akan diterapkan pada penelitian ini.

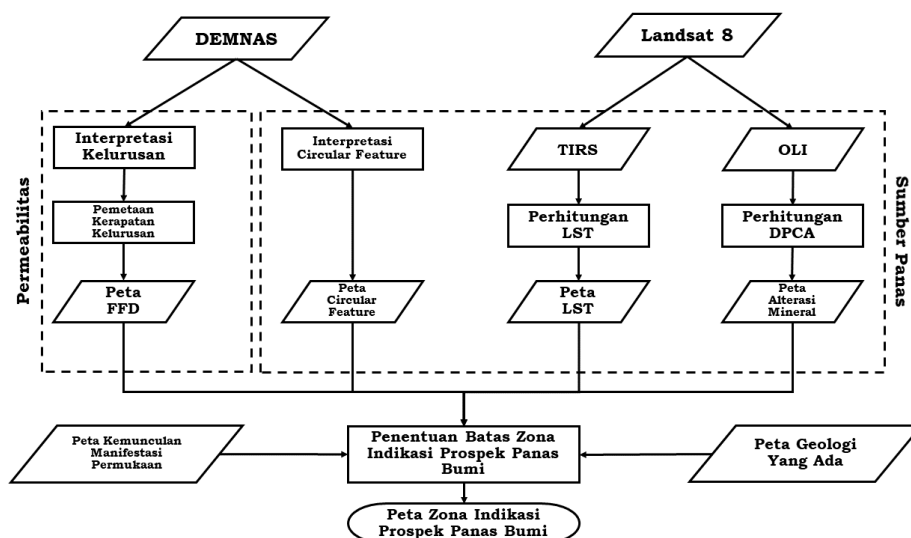
Data DEMNAS yang telah disesuaikan dengan daerah penelitian akan dikonversi ke dalam bentuk *hillshade* dengan sudut azimuth 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 315°. Dalam hal ini, Data DEMNAS tersebut tidak perlu dilakukan koreksi geometrik dan radiometrik. Kelurusan yang telah diperoleh dari data DEMNAS,

kemudian dikelompokkan pada grid dengan ukuran 2 km × 2 km untuk menghasilkan kontur kerapatan kelurusan. Pada tahap studi awal ini dipilih besaran 2 km dengan tujuan mendapatkan kerapatan struktur regional sebagai informasi tambahan untuk interpretasi sistem panas bumi.

Selanjutnya akan terlihat daerah-daerah yang memiliki kerapatan tinggi dan rendah. Area dengan kerapatan tinggi bisa dianggap mewakili daerah prospek *outflow* atau *upflow* (Hakim et al., 2017 dan Nugraha et al., 2018).

Selain pembuatan Peta FFD, dari data DEMNAS ini juga dilakukan interpretasi untuk mendapatkan *circular feature*. *Circular feature* ini diasumsikan sebagai sisa-sisa kegiatan vulkanisme di suatu daerah yang bisa menghasilkan anomali temperatur. Daerah yang memiliki *circular feature* dan sekitarnya bisa diasumsikan sebagai sumber panas (*heat source*) dari suatu sistem panas bumi (Hakim et al., 2017; Nugraha et al., 2018).

Data citra satelit yang diolah akan menghasilkan kelurusan untuk kemudian dibandingkan dengan struktur regional, sehingga dapat membedakan struktur yang diinterpretasikan sebagai sesar atau rekahan dengan struktur-struktur lain seperti antiklin dan sinklin.



Gambar 2. Metodologi yang digunakan pada penelitian di Kabupaten Aceh Tengah

Metoda Land Surface Temperature (LST)

Metoda selanjutnya yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis anomali dari Peta LST. Peta ini dihasilkan dari salah satu Band *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) Landsat 8 yaitu band 10 dengan koreksi-koreksi yang melibatkan *Band Operational Land Imager* (OLI) Landsat 8, dalam hal ini *band* yang digunakan dalam *range spectral red* dan *near infrared* yaitu band 4 dan band 5 (Avdan dan Jovanovska, 2016).

Untuk mendapatkan Peta LST, sebagaimana dijelaskan oleh Avdan dan Jovanovska (2016), setidaknya ada lima tahap yang harus dilalui. Kelima tahap tersebut terdiri dari perhitungan *Top of Atmospheric Spectral Radiance*, konversi pada *Radiance to At-Sensor Temperature*, perhitungan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), Proporsi Vegetasi, *Land Surface Emissivity* (LSE) dan LST.

Perhitungan Top of Atmospheric Spectral Radiance

Tahap pertama dari alur perhitungan untuk mendapatkan suhu permukaan yaitu memasukkan *band* 10 ke dalam aplikasi "R", selanjutnya dilakukan perhitungan *Top of Atmosphere* (TOA) *Spectral Radiance* ($L\lambda$) menggunakan formula yang diambil dari situs USGS, yaitu:

$$L\lambda = M_L \times Q_{cal} - A_L O_i \dots \dots \dots (1)$$

Dengan M_L merupakan faktor skala perkalian radian, Q_{cal} adalah nilai piksel dalam *digital number*, A_L merupakan faktor skala penambah radian untuk *band* dan O_i adalah untuk *band* 10.

Konversi Radiance to At-Sensor Temperature

Setelah *Digital Number* (DN) di konversi menjadi nilai referensi, nilai dari *band* TIRS dikonversi dari nilai *spectral radiance* menjadi nilai *brightness temperature* (BT) menggunakan nilai konstanta termal yang ada dalam metadata citra Landsat 8 (Tabel 1). Berikut merupakan nilai konstanta

dalam metadata untuk citra Landsat 8 yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Nilai Konstanta Pada Metadata Landsat 8 (USGS, 2020)

Konstanta Termal Band 10	
K_1	1.321,08
K_2	77,89
Faktor Rescaling Band 10	
M_L	0,000342
A_L	0,1
Koreksi Band 10	
O_i	0,29

Untuk menghitung nilai *brightness temperature* (BT), dipergunakan persamaan sebagai berikut:

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left[\left(\frac{K_1}{L\lambda}\right)+1\right]} - 273.15 \dots \dots \dots (2)$$

K_1 dan K_2 merupakan konstanta konversi termal yang nilainya dapat dilihat pada metadata dari citra, sebagaimana tercantum dalam tabel 1 (Avdan dan Jovanovska, 2016).

Perhitungan NDVI

Citra Landsat dari *band visible* dan *near-infrared* digunakan untuk menghitung indeks vegetasi menggunakan transformasi atau biasa disebut *Normal Difference Vegetation Index* (NDVI). Perhitungan NDVI cukup penting karena keberadaan vegetasi merupakan faktor penting dalam penentuan suhu dan nilai NDVI ini merupakan gambaran keberadaan vegetasi tersebut (Avdan dan Jovanovska, 2016).

Dari nilai NDVI ini, selanjutnya akan dihitung nilai Proporsi Vegetasi (P_v) dan dengan menggunakan nilai proporsi vegetasi tersebut akan di hitung Emisivitas (ϵ) (Avdan dan Jovanovska, 2016). Sedangkan untuk perhitungan NDVI menggunakan formula berikut ini:

$$NDVI = \frac{NIR(Band\ 5) - R(Band\ 4)}{NIR(Band\ 5) + R(Band\ 4)} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana, NIR merupakan nilai band 5 yaitu *band near-infrared* dan R adalah nilai band

4 yang merupakan band untuk warna merah. Perhitungan nilai Proporsi Vegetasi (P_v) menggunakan formula dibawah ini:

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2 \dots\dots\dots(4)$$

Dengan $NDVI_v$ merupakan nilai NDVI untuk vegetasi dan $NDVI_s$ adalah nilai NDVI untuk tanah. Avdan (2015) menyarankan untuk menggunakan nilai global $NDVI_v$ sebesar 0,5 dan $NDVI_s$ sebesar 0,2.

Perhitungan Land Surface Emissivity

Land Surface Emissivity atau LSE (ϵ) harus diketahui untuk menghitung LST, karena LSE merupakan faktor proporsional dari nilai *radiance* “blackbody” untuk memperkirakan nilai *radiance* yang dipancarkan dan efisiensi nilai energi panas yang ditransmisikan ke bidang atmosfer (Avdan dan Jovanovska, 2016). Nilai *Land Surface Emissivity* dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\epsilon_\lambda = \epsilon_v P_v + \epsilon_s (1 - P_v) + C_\lambda \dots\dots\dots(5)$$

Dengan ϵ_v dan ϵ_s merupakan nilai emissivitas vegetasi dan tanah dan C mewakili kekasaran bidang dengan nilai konstanta 0,005 (nilai $C = 0$ untuk bidang datar dan homogen).

Perhitungan LST

Tahap terakhir seperti dijelaskan Avdan dan Jovanovska (2016) adalah perhitungan LST atau T_s dengan menggunakan formula:

$$T_s = \frac{BT}{\left\{ 1 + \left[\left(\frac{\lambda BT}{\rho} \right) \ln \epsilon_\lambda \right] \right\}} \dots\dots\dots(6)$$

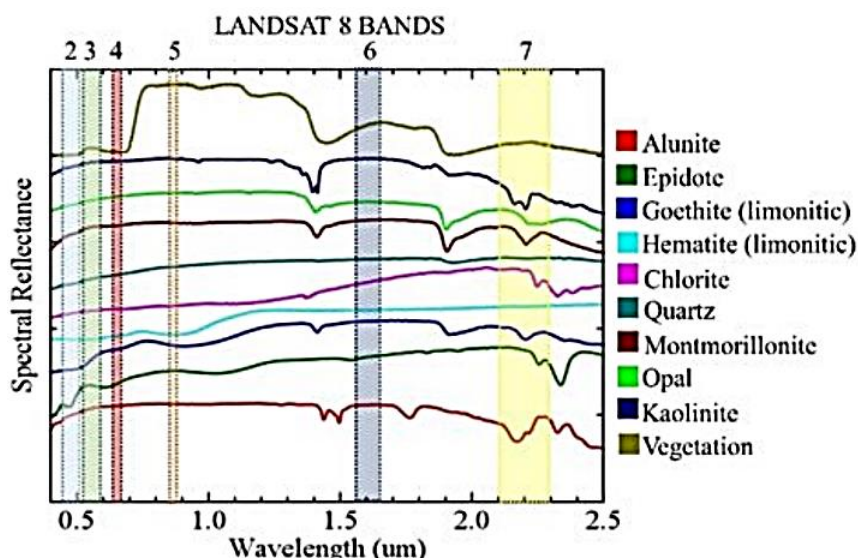
Dimana T_s adalah LST dalam derajat celcius ($^{\circ}\text{C}$), BT adalah nilai BT pada sensor, λ ialah panjang gelombang *radiance* (nilai $\lambda = 0,005$ akan digunakan), merupakan hasil perhitungan emisivitas dan nilai ρ yaitu :

$$\rho = h \frac{c}{\sigma} = 1.438 \times 10^{-2} \text{mK} \dots\dots\dots(7)$$

Metoda DPCA

Citra Landsat 8 memiliki 11 *band* dengan dua kelompok *band* yaitu *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). *Band* OLI pada Landsat 8 menangkap 9 *band* dari *visible near-infrared* (VNIR) dan *short wave infrared* – SWIR (NASA, 2013).

Untuk mengidentifikasi material mineral di permukaan bumi khususnya di daerah penelitian digunakan *band* 2 sampai dengan *band* 7 (Salamba et al., 2019). Pilihan *band* pada Landsat 8 yang bisa digunakan untuk mengidentifikasi mineral dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Hubungan Antara *Spectral Reflectance* Landsat 8 dan Beberapa Mineral (Salamba et al., 2019)

Citra hasil rasio band Landsat 8 ini dipergunakan sebagai input algoritma DPCA sesuai yang telah dilakukan Salamba et al. (2019). Ada 2 (dua) jenis input yaitu rasio band vegetasi dan mineral. Berdasarkan hasil penelitian di atas, rasio band vegetasi merupakan rasio band yang paling optimum untuk mendapatkan indikasi vegetasi paling kontras. Sedangkan rasio band mineral akan menunjukkan rasio optimum yang diharapkan menunjukkan kenampakan mineral ubahan dalam citra Landsat 8. Tabel 2 menunjukkan rasio band vegetasi dan mineral selengkapnya.

Tabel 2. Rasio Band Pada Citra Landsat 8 sebagai Input DPCA (Salamba et al., 2019)

Mineral	Rasio Band Vegetasi	Rasio Band Mineral
Quartz	Band 3/band 4	Band 7/band 2
Alunite	Band 5/band 2	Band 6/band 7
Kaolinite	Band 5/band 4	Band 6/band 7
Chlorite	Band 5/band 3	Band 6/band 2
Epidote	Band 3/band 4	Band 6/band 2

DATA YANG DIGUNAKAN

CITRA DEMNAS

Citra DEM pada daerah penelitian merupakan hasil mosaik dari enam Citra DEMNAS. Citra tersebut terdiri dari DEMNAS 0520-51, DEMNAS 0520-53, DEMNAS 0520-61, DEMNAS 0520-23, DEMNAS 0520-24, dan DEMNAS 0520-33.

Citra DEMNAS ini dapat diunduh melalui situs web *Seamless Digital Elevation Model* dan Batimetri Nasional yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial. DEMNAS ini dibangun dari beberapa sumber data yang meliputi data IFSAR (resolusi 5m), TERRASAR-X (resolusi 5 meter) dan ALOS PALSAR (resolusi 11,25 meter), dengan menambahkan data *masspoint* hasil *stereo-plotting*. Resolusi spasial DEMNAS adalah 0,27-arc second (8 meter), dengan menggunakan datum

vertikal EGM2008 (Badan Informasi Geospasial, 2020).

CITRA LANDSAT

Citra Landsat yang dipergunakan dalam penelitian ini berupa citra yang diunduh dari situs USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Berdasarkan metadata citra tersebut, citra ini diakuisisi pada tanggal 6 Januari 2019 pada *path* 130 dan *row* 57 dengan azimuth dan ketinggian matahari adalah 135,97° dan 51,86°. Citra ini memiliki persentase area yang tertutup awan sebesar 6,04% (USGS, 2020).

Pada Landsat 8 terdapat sembilan band yang termasuk band OLI dan dua band termasuk TIRS. Band OLI tersebut adalah band 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9. Resolusi spasial *band* OLI yaitu 30 meter kecuali band 8 yang merupakan *band* pankromatik dengan resolusi spasial 15 meter. Sedangkan *band* TIRS adalah *band* 10 dan 11 dengan resolusi masing-masing 100 meter. Karakteristik selengkapnya dapat dilihat di Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Band Pada Landsat 8 (NASA, 2013)

Band	Panjang Gelombang	Resolusi
1	0,433 - 0,453 μm	30 m
2	0,450 - 0,515 μm	30 m
3	0,525 - 0,600 μm	30 m
4	0,630 - 0,680 μm	30 m
5	0,845 - 0,885 μm	30 m
6	1,580 - 1,660 μm	30 m
7	2,100 - 2,300 μm	30 m
8	0,500 - 0,680 μm	15 m
9	1,360 - 1,390 μm	30 m
10	10,30 - 11,30 μm	100 m
11	11,50 - 12,50 μm	100 m

Untuk penelitian ini digunakan dua perangkat lunak untuk menghitung, menganalisis dan menampilkan hasil analisis penginderaan jauh, yaitu ArcGIS 10 dan R. ArcGIS sendiri merupakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografi (SIG) untuk menganalisis citra dan menampilkan hasil akhir. R (R Core Team, 2013) sebenarnya merupakan perangkat lunak statistik yang dipergunakan untuk

melakukan perhitungan beberapa metoda dalam penelitian ini.

Perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) ArcGIS 10 digunakan untuk mengaplikasikan metoda FFD dan membuat peta hasil akhir. ArcGIS 10 ini dapat mengkonversi citra DEM dari DEMNAS menjadi *hillshade* DEM dengan berbagai azimuth menggunakan *function Hillshade* yang merupakan bagian dari *Tools 3D Analyst* atau *Spatial Analyst*. Hasil dari interpretasi kelurusan citra *hillshade* tersebut, selanjutnya dibuat peta kerapatan kelurusan menggunakan *function Kernel Density* untuk garis yang merupakan bagian dari *Tools Spatial Analyst*.

Penelitian ini juga menggunakan perangkat lunak "R" untuk perhitungan LST dan DPCA. Meskipun penerapan kedua metoda tersebut bisa menggunakan ArcGIS, namun dipilih R karena kemudahan dan ketersediaan serta keberulangannya tanpa penulisan algoritma yang rumit dalam proses pengolahan datanya. Terdapat tiga Paket R utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *raster*, *sp* dan *FactoMineR*.

Paket raster (Hijmans, 2020) dan *sp* (Bivand et al., 2013) digunakan untuk melakukan pengolahan dan analisis citra, sedangkan *FactoMineR* (Lê, Josse, dan Husson, 2008) untuk pengolahan dan analisis metoda PCA.

GEOLOGI

Aktivitas tektonik pada zona subduksi yang terdapat di Pulau Sumatra merupakan akibat adanya tumbukan antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo Australia (Hall, 2002). Lebih lanjut, Hall (2002) menyebutkan bahwa zona subduksi di Pulau Sumatra sudah terjadi sejak Jaman Kapur Akhir hingga kini dan telah

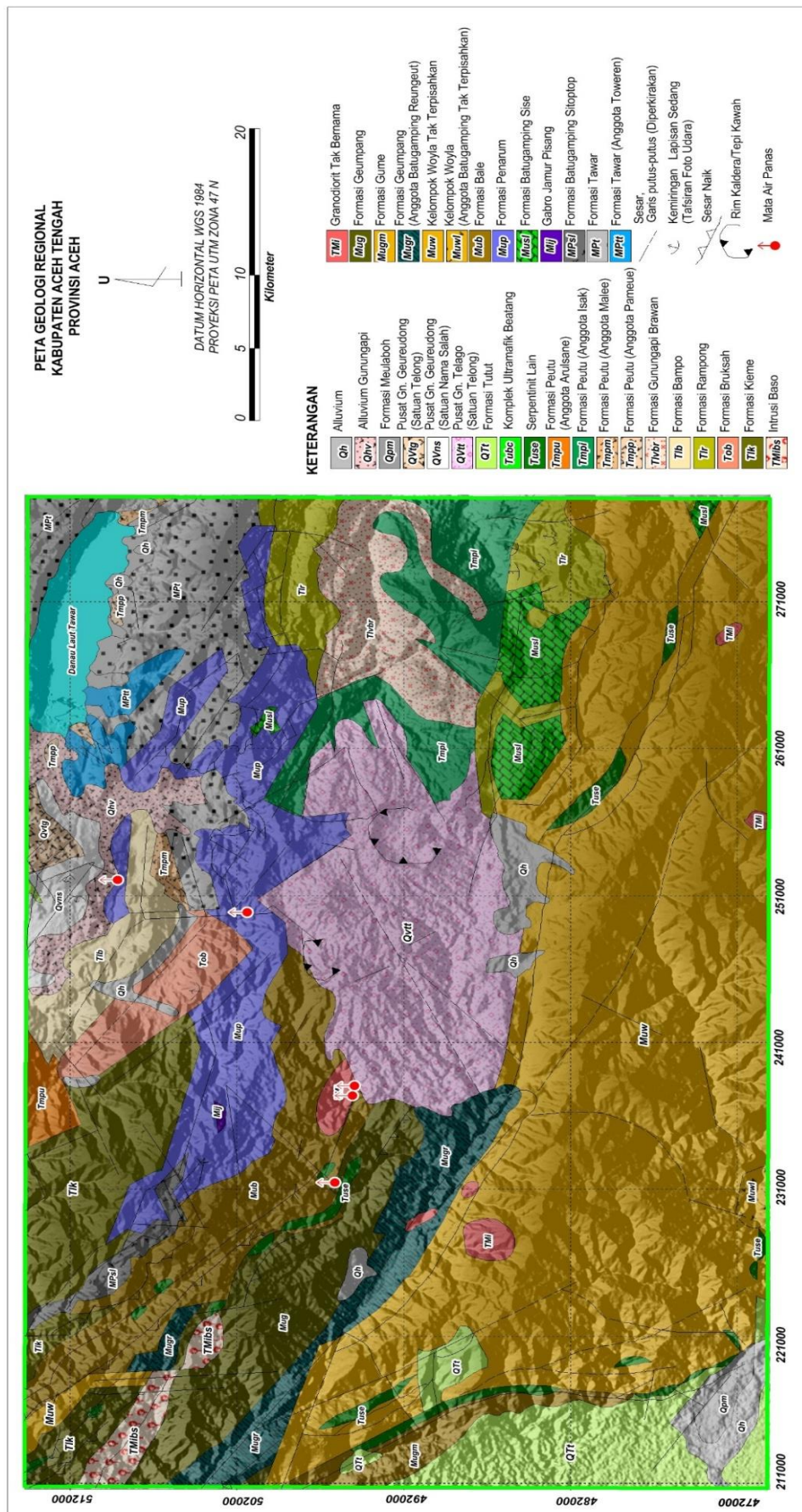
menghasilkan adanya jalur sesar serta jalur magmatik yang membentuk rangkaian gunung api di sepanjang bagian barat Pulau Sumatra, salah satunya di Kabupaten Aceh Tengah, yaitu di sekitar Gunung Geureudong, Gunung Salah Nama dan Gunung Telege.

Cameron et al. (1983) menjelaskan bahwa di Kabupaten Aceh Tengah terdapat litologi yang berumur Pra Tersier hingga Kuartar (Gambar 4). Batuan Pra Tersier di Kabupaten Aceh Tengah berupa batuan metasedimen dan metamorf yang keterdapatannya sebagian tersingkap di sepanjang Pegunungan Bukit Barisan. Sedangkan, keberadaan batuan Kuartar di dominasi oleh batuan vulkanik yang berupa batu apung, lava dan aliran piroklastik yang berasal dari Gunung Geureudong, Gunung Salah Nama dan Gunung Telege. Sementara itu, kehadiran batuan terobosan dijumpai di beberapa tempat pada bagian barat daerah penelitian yang terdiri dari gabro, granodiorit dan batuan metamorf.

Struktur geologi yang terdapat di daerah penelitian berupa kelurusan, sesar normal dan sesar naik yang berarah barat laut-tenggara, utara-selatan dan timur laut-tenggara, serta adanya beberapa struktur depresi di sekitar tubuh gunung api. Kehadiran struktur geologi tersebut diduga mengontrol kemunculan manifestasi di daerah penelitian.

Cameron et al. (1983) menyebutkan bahwa manifestasi panas bumi yang terdapat di daerah penelitian berupa mataair panas, sedangkan Anonim (2014) menjelaskan bahwa pada bagian utara daerah penelitian terdapat manifestasi mata air panas Wih Porak yang memiliki tipe air bikarbonat.

Secara ringkas, kondisi geologi dan lokasi manifestasi daerah penelitian terangkum pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Regional Daerah Kabupaten Aceh Tengah dan Sekitarnya
(Modifikasi Cameron et al., 1983)

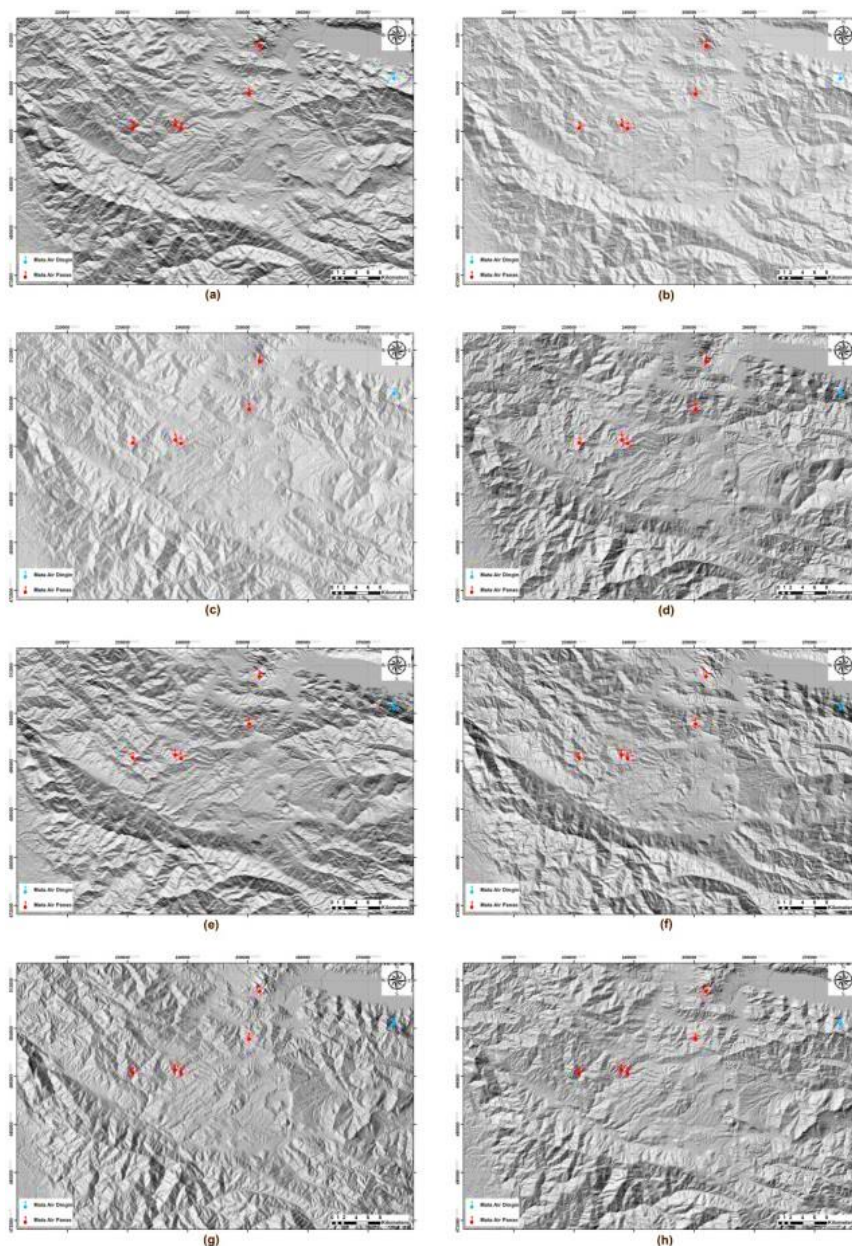
HASIL DAN ANALISIS

Hasil Interpretasi Kelurusan

Gambar 5 merupakan hasil transformasi citra DEMNAS menggunakan fungsi *hillshade*. *Hillshade* merupakan representasi 3D permukaan bumi dalam bentuk *greyscale* dengan posisi relatif cahaya (matahari) sebagai dasar pembentukan bayangan dari citra. Transformasi ini menggunakan derajat

posisi ketinggian dari bidang datar dan derajat azimuth cahaya.

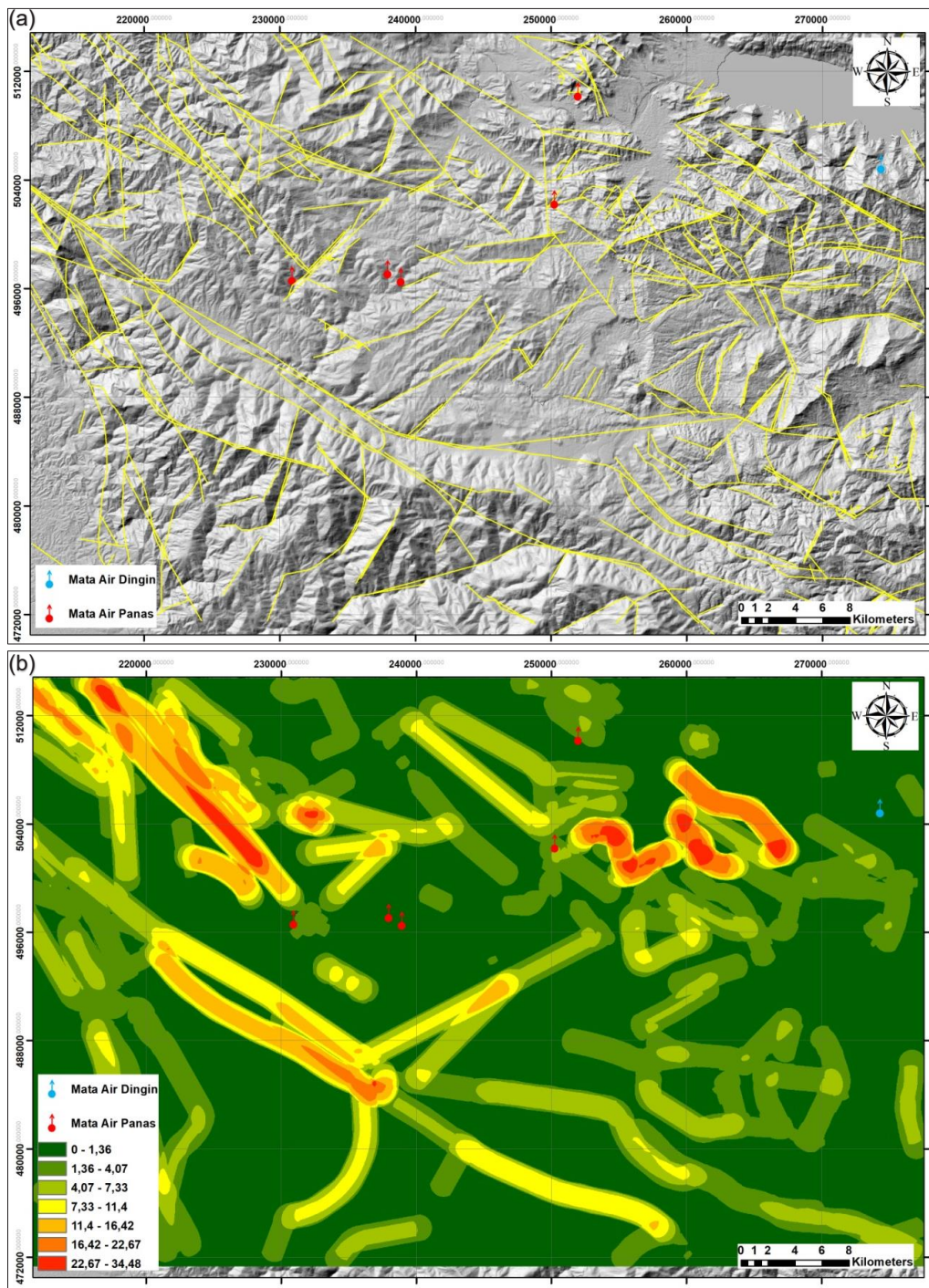
Untuk fitur struktur geologi, azimuth dan posisi ketinggian 45° merupakan posisi yang biasanya digunakan untuk interpretasi. Namun, untuk mendeteksi semua fitur struktur geologi, 9 (Sembilan) jenis derajat azimuth digunakan untuk derajat posisi ketinggian yang sama yaitu 45° . Gambar 5 menunjukkan hasil masing-masing transformasi azimuth.



Gambar 5. Transformasi *Hillshade* DEMNAS Lokasi Studi Dengan Ketinggian 45° (a) Azimuth 0° ; (b) Azimuth 45° ; (c) Azimuth 90° ; (d) Azimuth 135° ; (e) Azimuth 180° ; (f) Azimuth 225° ; (g) Azimuth 270° ; dan (h) Azimuth 315°

Gambar 6 (a) memperlihatkan gambaran struktur geologi pada daerah penelitian yang merupakan gabungan antara interpretasi visual dari transformasi *hillshade* dan peta regional yang ada. Sedangkan, gambar 6 (b) merupakan peta densitas kelurusan atau *Fault and Fracture*

Density Map dari struktur geologi gabungan sebagaimana tergambar pada Gambar 6 (a). Gambar 6 (b) menunjukkan bahwa mata air panas tidak berada pada area dengan densitas kelurusan tinggi, namun berada di bagian tepi dari daerah dengan densitas kelurusan yang tinggi.



Gambar 6. (a) Struktur Geologi Hasil Gabungan Interpretasi Transformasi *Hillshade* DEMNAS dan Peta Struktur Geologi Regional, (b) Peta Densitas Kelurusan atau *Fault and Fracture Density Map*

Hasil Interpretasi Circular Feature

Gambar 7 merupakan peta interpretasi *circular feature* yang merupakan gabungan hasil interpretasi dari DEMNAS dan peta geologi regional. Terdapat enam *circular feature* selain *circular feature* yang sudah teridentifikasi pada peta geologi regional lembar Takengon. Fitur ini merupakan salah satu fitur yang dicari dalam eksplorasi panas bumi, karena dapat menjadi salah satu indikator adanya sumber panas pada sistem panas bumi.

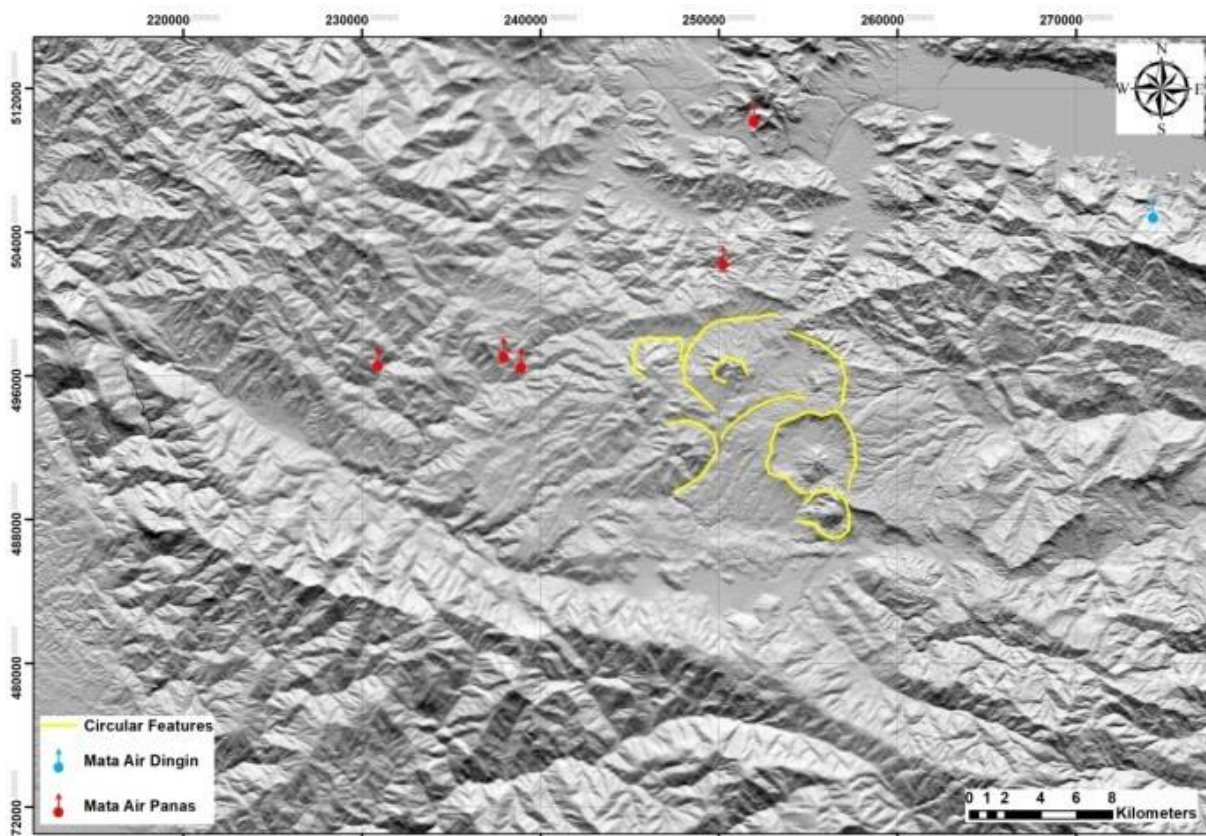
Hasil Analisis Citra Landsat 8

Penelitian ini menggunakan empat kombinasi band RGB citra Landsat 8 yaitu *natural color*, *false color (urban)*, *color infrared (vegetation)* dan *natural atmospheric removal*. Interpretasi dilakukan dengan mengkombinasikannya dengan peta topografi. Tabel 4 menunjukkan beberapa kombinasi *band citra Landsat 8* yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan termasuk kombinasi band yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4. Kombinasi Band RGB Landsat 8 Untuk Berbagai Tujuan Penggunaan (USGS, 2020)

Tujuan Penggunaan	Kombinasi
<i>Natural Color</i>	4 3 2
<i>False Color (urban)</i>	7 6 4
<i>Color Infrared (vegetation)</i>	5 4 3
<i>Agriculture</i>	6 5 2
<i>Atmospheric Penetration</i>	7 6 5
<i>Healthy Vegetation</i>	5 6 2
<i>Land/Water</i>	5 6 4
<i>Natural With Atmospheric</i>	7 5 3
<i>Shortwave Infrared</i>	7 5 4
<i>Vegetation Analysis</i>	6 5 4

Gambar 8 (a) dan (b) merupakan citra *natural color* dengan pengayaan menggunakan *histogram equalizer*. Dari gambar tersebut dapat diinterpretasikan bahwa bagian barat, barat daya dan selatan dari daerah penelitian serta sebelah selatan Danau Laut Tawar merupakan wilayah yang ditutupi oleh vegetasi, diindikasikan dengan warna hijau tua yang dominan.



Gambar 7. Hasil Interpretasi *Circular Feature* Pada Daerah Penelitian

Gambar 8 (c) menunjukkan bahwa daerah tengah dan utara (sebelah barat Danau Laut Tawar) merupakan wilayah perkotaan atau wilayah bukaan yang tidak tertutup vegetasi. Sedangkan, bagian tengah dan utara dari daerah penelitian secara berurutan merupakan Wilayah Kecamatan Atu Lintang dan Kota Takengon. Hal ini diindikasikan dengan warna putih dan biru.

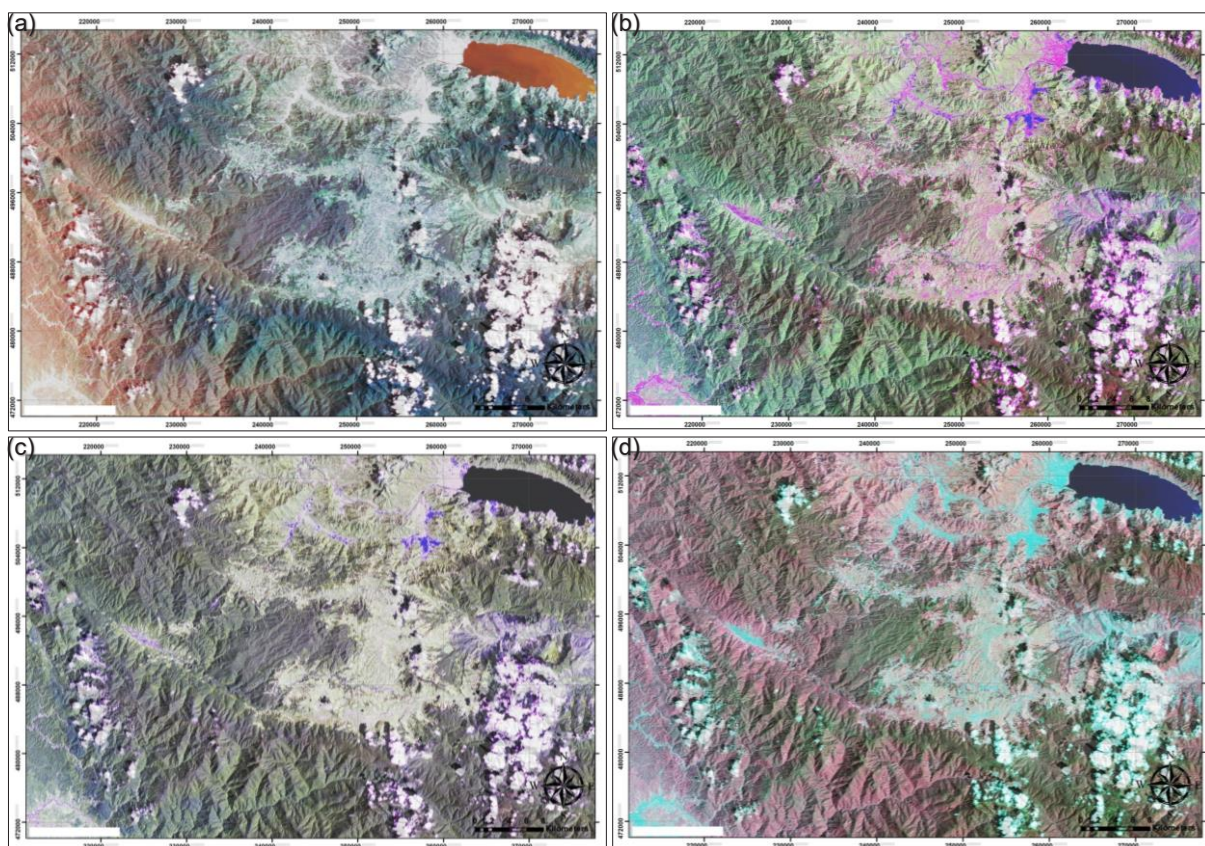
Gambar 8 (d) menegaskan bahwa vegetasi yang menutupi daerah bagian barat, barat daya dan selatan daerah penelitian lebih lebat/rapat dibandingkan dengan vegetasi yang menutupi daerah sebelah selatan Danau Laut Tawar yang diperlihatkan dengan warna hijau tua.

Sementara itu, apabila interpretasi gambar 8 (c) digabungkan dengan gambar 8 (d), Kota Takengon yang berada disebelah

barat Danau Laut Tawar memiliki bangunan-bangunan yang lebih rapat dibandingkan daerah di Kecamatan Atu Lintang. Hal ini diindikasikan dengan warna biru muda.

Hasil Perhitungan LST

Gambar 9 menunjukkan hasil perhitungan LST daerah penelitian berdasarkan Landsat 8. Hasil LST pada daerah ini memiliki kisaran cukup lebar yaitu $31,7^{\circ}\text{C}$ dengan nilai maksimum $37,6^{\circ}\text{C}$ dan minimum $5,9^{\circ}\text{C}$. Kisaran yang lebar ini dikarenakan adanya bagian yang tertutup awan yang memiliki perbedaan suhu cukup jauh dengan bagian yang tidak tertutupi awan. Nilai minimum pada citra ini berada pada bagian awan tersebut. Awan tersebut terlihat sangat jelas (Gambar 7). Namun, karena interpretasi berfokus pada anomali suhu tinggi, maka hal ini dapat diabaikan.



Gambar 8. Citra Hasil Kombinasi Band dari Citra Landsat 8, (a) *Natural Colour*; (b) *Natural Atmospheric Removal*; (c) *False Colour (Urban)*; (b) dan (d) *Colour Infrared (Vegetation)*

Berdasarkan Gambar 9 terdapat tiga daerah yang memiliki anomali suhu tinggi. Daerah pertama dan kedua merupakan Takengon. Nilai maksimum pada citra ini berada pada daerah Kota Takengon dengan kisaran suhu antara 33°C sampai dengan 37,6°C.

Daerah anomali ketiga berada di bagian tengah daerah penelitian yaitu di sekitar daerah Kecamatan Atu Lintang. Daerah anomali suhu tinggi ini berada pada kawasan *circular feature*. Kisaran suhu permukaan pada daerah ini berkisar antara 29°C sampai dengan 33°C.

Hasil Perhitungan DPCA

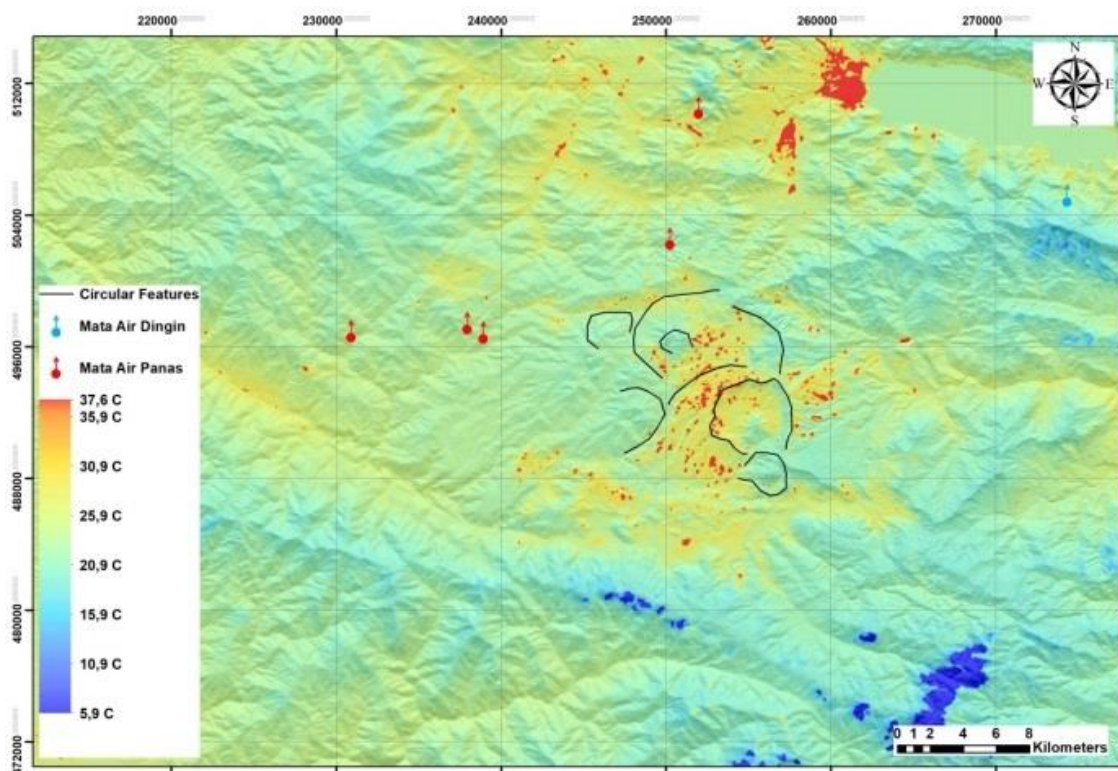
Berdasarkan perhitungan DPCA (Tabel 5) menunjukkan bahwa nilai proporsi variasi didominasi PC1 hingga lebih dari 85%, sehingga PC2 bisa dianggap hanya sebagai *noise*. Berdasarkan nilai persentase variasi tersebut, maka penggunaan PC1 diharapkan dapat menjelaskan sekitar 85% fenomena-fenomena yang terjadi pada daerah penelitian yang berasal dari data kedua input algoritma DPCA tersebut.

wilayah Kota Takengon termasuk di sebelah barat daya Kota

Secara umum, hasil analisis DPCA memperlihatkan bahwa indikasi keterdapatan mineral berada pada wilayah terbuka yang tidak tertutup vegetasi. Posisi keterdapatan masing-masing mineral tidak unik. Sehingga dalam satu piksel didapatkan beberapa mineral yang dominan. Kemungkinan hal ini dapat terjadi disebabkan oleh lebarnya kisaran jendela *spectral* pada band citra Landsat 8 sehingga belum dapat menampilkan spektrum yang unik untuk tiap mineral pada lokasi tertentu.

Tabel 5. Bobot Variasi PC1 dan PC2 Metoda DPCA untuk Masing-Masing Mineral

Mineral	PC1	PC2
Kuarsa	85,00%	15,00%
Alunit	99,25%	0,75%
Kaolinit	99,36%	0,64%
Klorit	93,28%	6,72%
Epidot	95,65%	4,35%



Gambar 9. Citra Suhu Permukaan – *Land Surface Temperature* (LST) dari Landsat 8

Gambar 10 merupakan hasil akhir proses penerapan metoda DPCA. Sebagaimana dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa dua perbandingan band citra Landsat 8 yang mewakili citra dominan mineral dan dominan vegetasi menjadi input algoritma PCA. Hasil pengolahan dari algoritma PCA tersebut selanjutnya diklasifikasikan menjadi 7 (tujuh) kelas menggunakan metoda *Natural Break* di ArcMap 10.

Secara umum anomali mineral pada gambar-gambar tersebut sulit untuk diinterpretasikan. Terdapat anomali rendah pada nilai PC1 untuk mineral kuarsa, dan kaolinit, yang diindikasikan dengan warna merah pada Gambar 10 (a) dan 10 (c). Anomali mineral kuarsa tampak lebih jelas dibandingkan anomali kaolinit. Sedangkan anomali tinggi, diindikasikan dengan warna hijau menunjukkan danau dan awan. Namun kenampakan nilai anomali rendah untuk mineral kuarsa dan epidot tersebut berada pada posisi spasial piksel yang sama. Hal ini menyebabkan pada piksel tersebut tidak dapat diinterpretasikan sebagai anomali nilai baik untuk mineral kuarsa maupun epidot.

Untuk mineral alunit yang ditunjukkan pada Gambar 10 (b) meskipun menunjukkan anomali rendah (warna merah), akan tetapi sulit diinterpretasikan karena berada pada area dengan vegetasi tebal yang memiliki nilai anomali serupa dengan alunit.

Gambar 10 (d) dan (e) merupakan hasil akhir DPCA untuk mineral klorit dan epidot. Gambar 10 (d) menunjukkan tidak nampak adanya nilai anomali rendah yang diharapkan sebagai indikasi keberadaan mineral klorit. Gambar 10 (d) hanya menunjukkan anomali tinggi yang menunjukkan posisi danau dan daerah yang tertutupi awan. Untuk Gambar 10 (e) menunjukkan nilai anomali rendah yang cukup jelas (warna merah) untuk daerah tengah dan utara daerah penelitian.

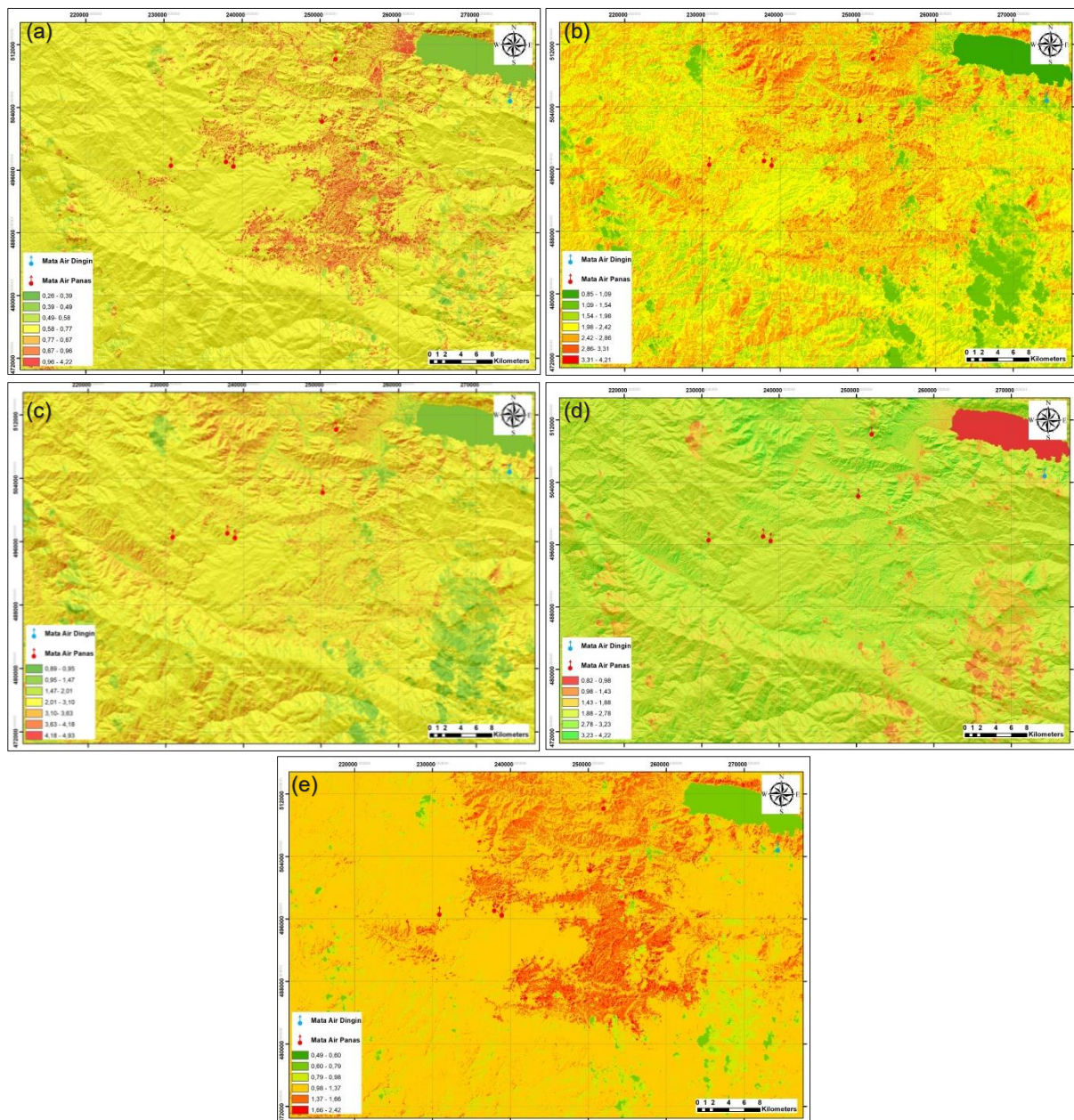
Berdasarkan hal tersebut, sulit untuk dapat memisahkan antara zona argilik lanjut dan

zona propilitik yang tumpang tindih. Zona argilik lanjut menggambarkan indikator zona bersuhu rendah yang direpresentasikan oleh mineral sekunder seperti kuarsa, alunit dan kaolinit. Sedangkan zona propilitik direpresentasikan oleh klorit dan epidot yang menggambarkan zona bersuhu tinggi.

PEMBAHASAN

Indikasi keberadaan sumber panas di daerah penelitian diperkirakan berada di sekitar *circular feature*, tepatnya pada kompleks vulkanik Gunung Telege yang berada di daerah Kecamatan Atu Lintang. *Circular feature* tersebut diperkirakan merupakan sisa-sisa aktivitas vulkanik Gunung Telege berumur Kuartar (Cameron et al., 1983) yang masih memiliki sisa-sisa panas. Indikasi sumber panas (*heat source*) ini didukung oleh metoda LST yang memperlihatkan adanya anomali suhu permukaan.

Topografi daerah penelitian yang berada pada daerah tinggian (*high terrain*), memungkinkan adanya pola aliran fluida dari daerah dengan elevasi tinggi di sekitar Komplek Vulkanik Gunung Telege, menuju ke elevasi rendah baik ke bagian barat dan utara Gunung Telege maupun ke lembah serta aliran sungai hingga ke bagian selatan daerah penelitian. Dalam hal ini, fluida yang diduga berasal dari air meteorik akan mengalami penetrasi secara vertikal dan akhirnya memasuki sistem panas bumi hingga terjadi proses lepasan (*discharge*) sebagai fluida manifestasi panas bumi di permukaan. Diduga keberadaan zona *outflow* terletak pada elevasi rendah, yaitu di sekitar lembah dan aliran sungai yang terletak pada bagian barat dan utara kompleks vulkanik Gunung Telege (Gambar 11). Namun demikian, untuk mengetahui secara akurat tentang pola aliran fluida, zona *outflow* dan zona *upflow* diperlukan penelitian lebih lanjut melalui penggunaan metoda geokimia.



Gambar 10. Hasil Pengolahan Penerapan Metoda DPCA Untuk Mineral (a) Kuarsa; (b) Alunit; (c) Kaolinit; (d) Klorit; dan (e) Epidot

Hasil analisis FFD di daerah penelitian memperlihatkan bahwa zona *outflow* di daerah penelitian diperkirakan berada di sekitar manifestasi air panas yang berada di sebelah Barat Laut Gunung Telege. Lokasi manifestasi tersebut berada di tepi zona densitas kelurusan tinggi. Hasil ini serupa dengan studi yang dilakukan oleh Nugraha et al. (2018) untuk Area Prospek Ile Ange yang diperkirakan memiliki sistem panas bumi temperatur tinggi. Hasil yang kurang lebih sama diperoleh pada sistem

panas bumi temperatur menengah di Marawa, Suwawa, Pulu (Suryantini dan Wibowo, 2010) dan Amohola (Nahli et al., 2016).

Sedangkan hasil analisis hubungan peta FFD dan perkiraan zona *upflow* pada area studi menghasilkan relasi negatif. Hal ini berbeda dengan hubungan positif seperti yang didapatkan dari studi Oktoberiman et al., (2014) di Gunung Slamet. Hasil yang sama, hubungan positif antara zona *high*

density pada FFD map dengan zona *upflow*, juga terjadi pada studi yang dilakukan Soengkono (1999a, 1999b, 2000, 2002) di Daerah Te Kopia dan Mokai serta Rotorua yang termasuk Taupo Volcanic Zone (TVZ) yang dapat dikategorikan sebagai sistem panas bumi *low terrain*.

Dari analisis diatas, dapat diinterpretasikan bahwa zona *upflow* sendiri diperkirakan berada di antara zona *outflow* dan area *heat source*.

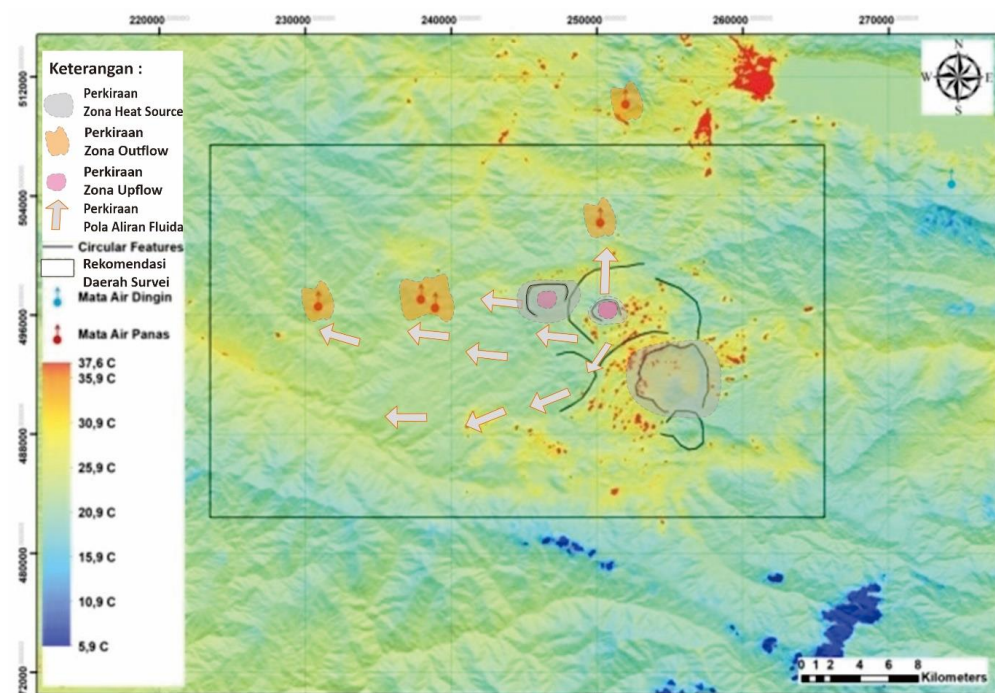
Berdasarkan analisis metoda penginderaan jauh terkait keberadaan sistem panas bumi di daerah penelitian, maka dapat direkomendasikan delineasi batas untuk kegiatan survei awal di daerah Kabupaten Aceh Tengah, seperti yang tampak pada gambar 11 (Kotak Warna Hitam).

KESIMPULAN

Penerapan Metoda FFD pada hasil interpretasi struktur geologi dari citra DEMNAS dapat digunakan untuk menentukan indikasi zona *outflow* sistem panas bumi. Sedangkan, integrasi Peta

Anomali LST dari Landsat 8 dan interpretasi *circular feature* dari citra DEMNAS dapat digunakan untuk menentukan indikasi sumber panas sistem panas bumi di daerah penelitian yang berada di Komplek Vulkanik Gunung Telege. Sementara itu, penerapan metoda DPCA pada Landsat 8 masih belum akurat mengingat adanya pencampuran (*mixing*) antar beberapa mineral dalam piksel yang sama atau tidak menunjukkan nilai anomali.

Hasil interpretasi dan analisis citra DEMNAS dan Landsat-8 ini dapat menjadi salah satu alternatif yang murah untuk menentukan lokasi prospek panas bumi sebelum dilakukan observasi lapangan. Untuk penelitian lebih lanjut terkait metoda penginderaan jauh di daerah penelitian, maka perlu digunakan citra satelit yang memiliki band dengan jendela *spectral* lebih kecil seperti citra *multispectral* (Citra Aster) atau *hyperspectral* (Citra Hyperion) dengan menggunakan metoda sub-piksel serta dilakukan validasi dengan data lapangan melalui kegiatan survei awal ke arah bagian barat dari Gunung Telege sebagai upaya pembuktian keberadaan sistem panas bumi di Daerah Aceh Tengah ini.



Gambar 11. Rekomendasi Daerah Untuk Pelaksanaan Survei Awal Lapangan

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Koordinator Panas Bumi Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) atas izin penggunaan data untuk penulisan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim editor yang telah memberikan koreksi serta saran dalam perbaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2014. Laporan Penugasan Survei Pendahuluan Panas Bumi Gunung Geureudong Kabupaten Aceh Tengah, Kabupaten Bener Meriah dan Kabupaten Aceh Utara - Provinsi Nangroe Aceh Darusallam. Tidak Dipublikasikan.
- Avdan, U., dan Jovanovska, G., 2016. Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using Landsat 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*, 2016.
- Badan Informasi Geospasial, 2020. Seamless Digital Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional. Diakses pada 3 September, 2020, Diakses dari <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/>
- Bivand, R. S., Pebesma, E., dan Gomez-Rubio, V., 2013. *Applied Spatial Data Analysis With R* (2 ed.). New York: Springer.
- Cameron, N. R., Bennett, J.D., Bridge D.M., Clarke M.C.G., Djunuddin A., Ghazali S.A., Harahap H., Jeffery D.H., Kartawa W., Keats W., Ngabito H., Rocks N.M.S., Thompson S.J., 1983. Peta Geologi Lembar Takengon, Sumatera, Skala 1 : 250.000. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Carnec, C. F., dan Hubert., 1999. Monitoring and Modeling Land Subsidence at The Cerro Prieto Geothermal Field, Baja California, Mexico, Using SAR Interferometry. *Geophysical Research Letters*, 26(9), 1211-1214.
- ESRI, 2016. Hillshade Function, Diakses pada 10 September 2021, Diakses dari <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/hillshade-function.htm>.
- Fialko, Y. S., Mark., 2000. Deformation And Seismicity In The Coso Geothermal Area, Inyo County, California: Observations And Modeling Using Satellite Radar Interferometry. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B9), 21781-21793.
- Giordano, G., Pinton, A., Baez, P. C. W., Chiodi, A., Viramonte, J., Norini, G., dan Groppelli, G., 2013. Structural Control on Geothermal Circulation in the Cerro Tuzgle-Tocomar Geothermal Volcanic Area (Puna Plateau, Argentina). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 249, 77-94.
- Hakim, L., Ismail, N., dan Faisal., 2017. Kajian Awal Penentuan Daerah Prospek Panas Bumi di Gunung Bur Ni Telong Berdasarkan Analisis Data DEM SRTM dan Citra Landsat 8. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 13(3), 125-132.
- Hall, R., 2002, Cenozoic Geological and Plate Tectonic Evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer Based Reconstruction, Model and Animation, *Journal of Asian Earth Science* p. 353 – 431.
- Hijmans, R. J., 2020. raster: Geographic Data Analysis and Modeling. Diakses dari <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Jónsson, S., Adam, N., dan Björnsson, H., 1998. Effects of Subglacial Geothermal Activity Observed by Satellite Radar Interferometry. *Geophysical Research Letters*, 25(7), 1059-1062.
- Lê, S., Josse, J., dan Husson, F., 2008. FactoMineR: A Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1-18.

- Nahli, K., Mulyana, F., Tsani, G. E., Alwan, M. A., Darajat, M. H., dan Hendrawan, R. N. (2016). Identifying Non-Volcanic Geothermal Potential in Amohola, Southeast Sulawesi Province, by Applying the Fault and Fracture Density (FFD) Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 42, 012015.
- NASA, 2013. Landsat Data Continuity Mission Continuously Observing Your World., Diakses pada 1 November 2020, Diakses dari https://landsat.gsfc.nasa.gov/sites/landsat/files/2012/12/LDCM_Brochure_Dec2012.pdf
- Nugraha, H. S., Shiddiq, A. M. I., Agustin, F., dan Surmayadi, M., 2018. Comparison of Application Faults and Fracture Density (FFD) Method using SRTM 90-m, SRTM 30-m, and Aster GDEM 30-m for Geothermal Exploration: a Case of Ile Ange Prospect., *7th ITB International Geothermal Workshop 2018*, Bandung.
- Oktoberiman, Ramadhan, D.A., Rizki, F., dan Tawakal, R.(2014). Identification of Geothermal Potential Based on Fault Fracture Density (FFD), Geological Mapping and Geochemical Analysis, Case Study: Bantarkawung, Brebes, Central Java., *the New, Renewable Energy and Energy Conservation Conference and Exhibition - The 3rd Indonesia EBTKE-ConEx*, Jakarta.
- R Core Team (2013). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria., Diakses pada 1 November,2020,Diakses dari <http://www.R-project.org/>.
- Salamba, K. E., Hede, A. N. H., dan Heriawan, M. N., 2019. Identification of Alteration Zones using a Landsat 8 Image of Densely Vegetated Areas of the Wayang Windu Geothermal Field, West Java, Indonesia. *The IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Soengkono, S., 1999a. Analysis of Digital Topographic Data for Exploration and Assessment of Geothermal System., *21st New Zealand Geothermal Workshop*.
- Soengkono, S., 1999b. TeKopia Geothermal System (New Zealand) – the Relationship between Its Structure and Extent. *Geothermics*, 28(6), 767-784.
- Soengkono, S., 2000. Assessment of Faults and Fracture sat the Mokai Geothermal Field, Taupo Volcanic Zone, New Zealand., *World GeothermalCongress*.
- Soengkono, S., 2002. Assessment of Topographic Lineaments across Rotorua Geothermal Field., *24th New Zealand Geothermal Workshop*.
- Suryantini, dan Wibowo, H. H., 2010. Application of Fault and Fracture Density (FFD) Method for Geothermal Exploration in Non-Volcanic Geothermal System; a Case Study in Sulawesi Indonesia. *Jurnal Geoaplika*, 5(1), 027-037.
- USGS. (2020). Earth Explorer., Diakses pada 3 September, 2020, dari <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Van der Meer, F., Hecker, C., van Ruitenbeek, F., van derWerff, H., deWijkerslooth, C., dan Wechsler, C., 2014. Geologic Remote Sensing for Geothermal Exploration: A Review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33, 255-269.

Diterima	: 8 Mei 2021
Direvisi	: 4 Juni 2021
Disetujui	: 30 November 2021

**KARAKTERISTIK STRUKTUR GEOLOGI DAN PERANANNYA
TERHADAP SISTEM PANAS BUMI NAGE,
KABUPATEN NGADA, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR**

***STRUCTURAL GEOLOGY CHARACTERISTICS AND ITS ROLES TO THE NAGE
GEOTHERMAL SYSTEM, NGADA DISTRICT, EAST NUSA TENGGARA PROVINCE***

Devito Pradipta¹, Lano Adhitya Permana², dan Divi Muhammad Ramdhan³

¹Program Studi Magister Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian,
Institut Teknologi Bandung

²Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

³PT Nata Terra Resources
22020308@mahasiswa.itb.ac.id

ABSTRAK

Daerah Nage merupakan bagian dari jalur vulkanisme Busur Sunda-Banda yang membentuk rangkaian *en-echelon* di Pulau Flores. Tataan tektonik regional di Pulau Flores yang cukup kompleks menyebabkan adanya struktur geologi yang intensif di daerah penelitian. Metode penelitian yang digunakan meliputi pengamatan struktur geologi melalui analisis kelurusan topografi, kelurusan sungai, *fitur melingkar* dan densitas kelurusan (*fracture fault density*) dengan menggunakan citra DEMNAS serta pengukuran secara langsung di lapangan terhadap unsur-unsur struktur geologi primer dan sekunder pada 87 stasiun pengamatan. Pengukuran terhadap 441 kedudukan struktur geologi di daerah penelitian, menunjukkan bahwa struktur geologi sekunder, utamanya berupa kekar gerus, yang berguna untuk membuktikan kehadiran sesar yang memotong batuan berumur Kuarter pada daerah penelitian. Hasil analisis kinematika menyimpulkan bahwa terdapat sesar geser oblik berarah baratlaut-selatan tenggara dan timurlaut-baratdaya serta sesar geser berarah timur laut-baratdaya. Daerah penelitian terdapat fitur melingkar yang berasosiasi dengan peruntuan kaldera dan pembentukan kawah. Analisis dinamik sesar untuk menentukan arah tegasan kompresif menunjukkan bahwa daerah penelitian mengalami deformasi kompresional berarah utara timurlaut-selatan baratdaya dengan arah tegasan maksimum (σ_1) 16° , N 203° E dan arah tegasan minimum (σ_3) $17,5^\circ$, N $297,1^\circ$ E. Keberadaan struktur sesar diinterpretasikan memiliki peran sebagai jalur fluida terhadap sistem panas bumi Nage yang tampak dari kehadiran manifestasi panas bumi dan alterasi hidrotermal. Berdasarkan konfigurasi sesar, manifestasi, dan alterasi hidrotermal disimpulkan bahwa setidaknya terdapat tiga aliran fluida, yakni aliran fluida hidrotermal yang naik melalui sesar F1 dan dibatasi sesar F3, aliran fluida yang naik melalui sesar F2, dan aliran fluida hasil pendidihan yang naik melalui F10.

Kata kunci: analisis kinematika, analisis dinamik, alterasi hidrotermal, permeabilitas, Nage

ABSTRACT

Nage Region is part of Sunda-Banda Arc volcanism which formed an en-echelon array in Flores Island. The complex regional tectonics setting of the study area has created intensively found geological structures in the study area. The study was made through identification of structural geology by topographic lineament analysis, river lineament, circular features, and fault fracture density in DEMNAS image and followed by field observation to identify primary and secondary geological structures in 87 stations. The measurements of 441 geological structures positions in the study area found that secondary geological structures, mainly shear fractures, in order to identify the occurrence of minor faults which are found in Quaternary rocks in the study area. Kinematic analysis of minor faults confirms the occurrence of NW-SE

and NE-SW oblique strike slip faults and also NE-SW directed strike slip fault. Normal faults in the study area are found as circular features which has been formed and associated with caldera collapse and crater forming processes. Dynamic analyses of faults are conducted to determine the principle compressive stress orientation which formed the faults has concluded that the compressional regime of the study area occurred in the NNE-SSW direction with maximum stress (σ_1) direction is 16° , N 203° E and minimum stress (σ_3) direction is $17,5^\circ$, N $297,1^\circ$ E. Faults are interpreted to have roles as fluid pathway in the developing geothermal system based on the occurrence of hot spring manifestation and hydrothermal alteration. Based on the configuration of faults, geothermal manifestation, and hydrothermal alteration, it can be concluded that there are at least three fluid flow in the study area which are correlated with hydrothermal fluid ascent through fault F1 and bounded by fault F3, hydrothermal fluid ascent through fault F2, and hydrothermal fluid ascent from boiling through fault F10.

Keywords: kinematic analysis, dynamic analysis, hydrothermal alteration, permeability, Nage.

PENDAHULUAN

Pulau Flores merupakan busur vulkanik yang membentuk jajaran gunung api dengan rangkaian *en echelon* sebagai jalur vulkanisme Busur Sunda-Banda (Muraoka dkk., 2002). Tataan tektonik daerah penelitian menghasilkan aktivitas vulkanisme berumur Tersier hingga Kuarter. Daerah penelitian terletak di lapangan panas bumi Nage, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur, tepat di sebelah timur Gunung Api Inirie (Gambar 1). Aktivitas vulkanisme di daerah Nage menimbulkan pembentukan sistem panas bumi yang diinterpretasikan berasal dari aktivitas vulkanisme pasca kaldera Nage, yaitu Wolo Piu dan Bena yang berumur Kuarter (Anonim, 2017). Fluida hidrotermal dari sumber panas yang diduga terdapat di bawah Nage dan Keli akan naik menuju ke permukaan melalui struktur yang berperan sebagai rekahan. Fluida hidrotermal yang telah keluar mencapai permukaan membentuk manifestasi panas bumi berupa mata air panas dan alterasi hidrotermal yang merupakan produk reaksi berupa proses hidrolisis dan *leaching* antara fluida dengan batuan sampling (Pirajno, 2009).

Deformasi batuan di kerak bumi dapat berlangsung pada kondisi *brittle*, *ductile*, atau transisi keduanya. Deformasi yang berlangsung pada kondisi *brittle* akan membentuk rekahan. Rekahan tersebut dapat terbentuk pada deformasi kompresif,

tarikan (*tensile*), atau keduanya (*hybrid*). Rekahan yang terbentuk dapat berupa kekar gerus dan kekar tarik. Kekar tarik yang terisi oleh material umum disebut urat dan yang terisi oleh magma dapat hadir sebagai korok atau gang (Fossen, 2016). Sesar dan rekahan dapat hadir sebagai jalur naiknya fluida dalam sistem panas bumi. Zona sesar yang berada dalam area interaksi sesar merupakan jalur permeabilitas konduktif terbaik dalam kenaikan fluida (Fauld dan Hinz, 2015). Sesar merupakan rekahan yang terbentuk dari deformasi *brittle* sebagai diskontinuitas pada tubuh batuan yang menunjukkan adanya pergeseran. Pembentukan sebuah sesar diikuti dengan kehadiran struktur penyerta berupa kekar gerus, kekar tarik, dan lipatan minor pada zona hancuran sesar (Moody dan Hill, 1956; Fossen, 2016).

Keberadaan sesar merupakan indikasi penting yang dapat menjelaskan keberadaan anomali geokimia, alterasi, dan bidang lemah. Identifikasi sesar diperlukan untuk menentukan sesar yang menjadi zona permeabel dan yang tidak berpengaruh sebagai pertimbangan eksplorasi lapangan panas bumi lebih lanjut, seperti pengeboran dan lintasan survey geofisika. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan struktur geologi yang ditemukan di lapangan panas bumi Nage yang memiliki peran sebagai jalur permeabel fluida pada sistem panas bumi Nage.



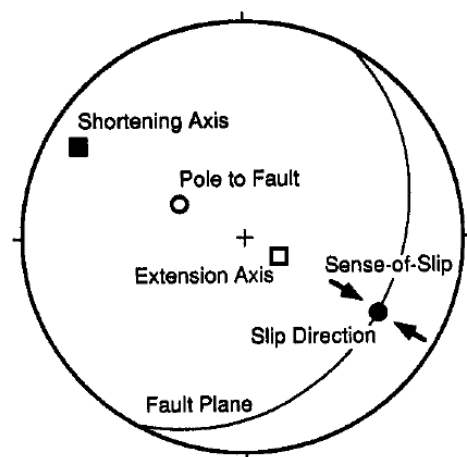
Gambar 1. Tatanan tektonik lokasi penelitian pada Busur Sunda-Banda (Hamilton, 1979)

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan melalui pengamatan citra DEMNAS untuk mengidentifikasi kelurusan topografi, kelurusan sungai, *fitur melingkar* dan densitas kelurusan dari yang diduga sebagai adanya keberadaan struktur di permukaan. Pengamatan struktur turut dilakukan dengan observasi lapangan secara langsung, yaitu melalui pemetaan vulkanostratigrafi dan pemetaan struktur. Pemetaan vulkanostratigrafi dilakukan untuk mengetahui endapan vulkanisme di daerah penelitian serta urutan-urutan pembentukannya. Pemetaan struktur geologi dilakukan dengan pengamatan struktur primer dan sekunder pada 87 stasiun. Kedudukan struktur geologi yang diamati berupa jurus, kemiringan, *trend*, *plunge*, dan *pitch* dari setiap struktur.

Pengolahan data struktur geologi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Dips 7.0* untuk analisis kinematika dan *Faultkin 8.1.1* untuk pengolahan analisis dinamik. Pada analisis kinematika, kedudukan kutub setiap populasi struktur dibuat kontur sesuai dengan metode Kamb (1959) untuk memperoleh distribusi dan orientasi maksimal kedudukan populasi struktur. Analisis dinamik, dilakukan untuk menentukan sumbu kinematika P dan T yang diperoleh dari perpotongan bidang sesar terhadap konjugatnya. Sumbu

kinematika P dan T terletak di sepanjang bidang pergerakan sesar (*movement plane / m plane*) dengan kutub dari bidang tersebut terletak pada perpotongan bidang sesar dengan konjugat sesar, seperti yang tampak pada Gambar 2 (Marett dan Almendinger, 1990).



Gambar 2. Geometri analisis kinematika dan dinamik sesar pada stereonet

Menurut Sapiie (2016), analisis dinamik dilakukan dengan asumsi bahwa deformasi terjadi pada kondisi homogen dan isotropi. Analisis dinamik dilakukan sebagai pendekatan dalam identifikasi arah tegasan yang membentuk sesar di daerah penelitian dengan menggunakan data kedudukan pergerakan sesar dari hasil analisis kinematika. Hal tersebut menjadi batasan

penelitian pada daerah penelitian dengan deformasi yang berlangsung pada kondisi heterogen dan anisotropi.

GEOLOGI

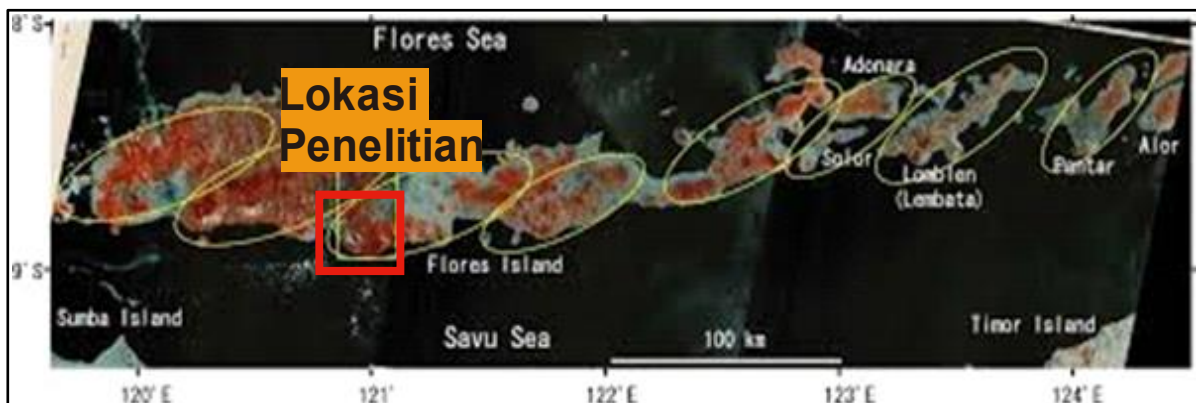
Pulau Flores terletak pada Blok Sundaland dan berada di perbatasan antara Lempeng Eurasia dan Indo-Australia. Interaksi Lempeng Eurasia dan Indo-Australia ditandai dengan subduksi Busur Sunda di sebelah barat dan Busur Banda di bagian timur dengan kerak samudera Indo-Australia menunjam ke bawah Lempeng Eurasia. Berdasarkan pengamatan GPS, Blok Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara timurlaut menuju Lempeng Eurasia (Kreemer dkk., 2000) sehingga menyebabkan rotasi berlawanan arah jarum jam pada Pulau Flores. Rotasi tersebut menyebabkan terbentuknya rangkaian gunung api berbentuk *en-echelon* pada Pulau Flores (Muraoka dkk., 2005), salah satunya pada daerah Nage (Gambar 3).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Koesoemadinata dkk. (1994) dan Muraoka dkk. (2002), daerah Nage terdiri dari batuan vulkanik yang berumur Tersier hingga Kuarter. Batuan vulkanik yang terdapat di daerah penelitian diperkirakan berasal dari produk erupsi tujuh kerucut gunung api, diantaranya yaitu Wolo Kenowe, Wolo Deru, Wolo Batulaba, Wolo Piu, Bena, Kerucut Sinder dan Gunung Inirie (Gambar 4). Secara umum, jenis batuan vulkanik yang terdapat di daerah Nage tersusun atas lava, aliran piroklastik,

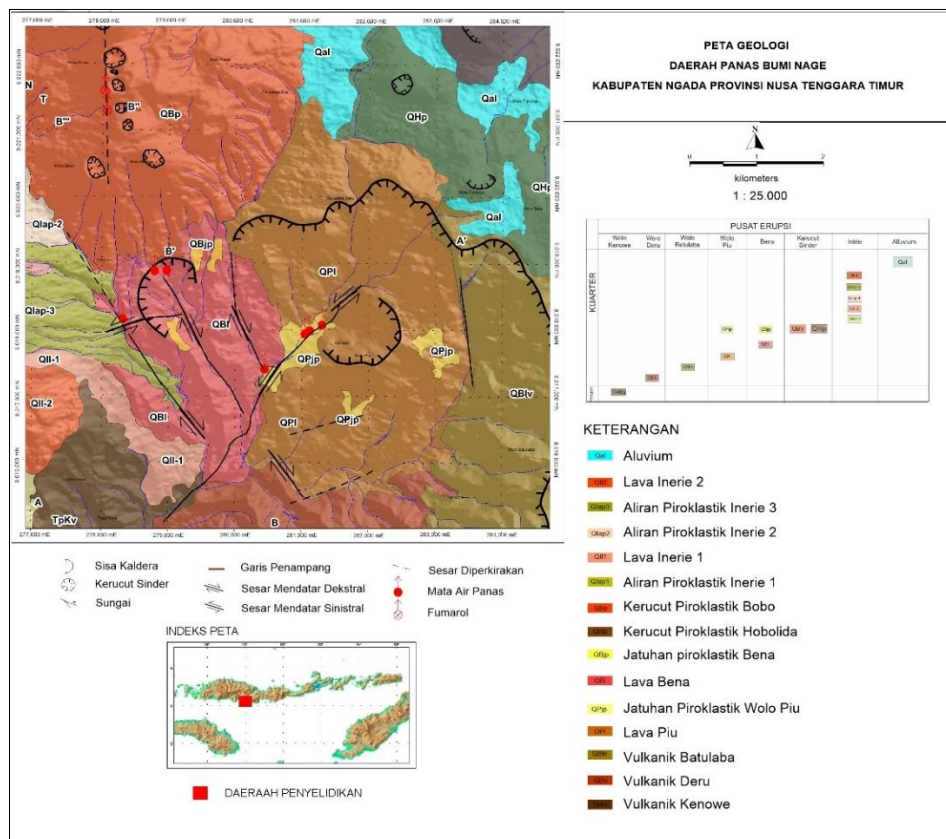
jatuhan piroklastik dan endapan alluvial. Lava memiliki komposisi andesitik, bertekstur porfiritik hingga afanitik, di beberapa tempat dijumpai telah mengalami ubahan menjadi mineral lempung dan terdapat struktur kekar kolom serta kekar berlembar. Aliran piroklastik berkomposisi andesitik, terkonsolidasi baik dan memiliki sortasi buruk dengan bentuk menyudut hingga menyudut tanggung. Sedangkan, jatuhan piroklastik di daerah Nage memiliki komponen berupa tuff, litik andesit dan skoria dengan bentuk menyudut – menyudut tanggung serta memiliki ketebalan sekitar 3 hingga 20 cm.

Selain batuan vulkanik, pada daerah penelitian dijumpai adanya alterasi hidrotermal yang mengalami intensitas alterasi sedang hingga kuat berupa mineral lempung yang terdapat di sekitar manifestasi fumarol di Wolo Puti, mata air panas Keli, mata air panas Nage dan dinding utara serta timur dari Kaldera.

Struktur geologi di daerah penelitian teramati pada citra DEMNAS yang terindikasi berupa fitur melingkar sebagai kaldera dan kawah, adanya kelurusan kerucut sinder yang relatif berarah utara - selatan serta hasil observasi lapangan yang menunjukkan adanya struktur penyerta dan zona hancuran yang mengindikasikan struktur sesar geser yang relatif berarah timurlaut-barat daya dan baratlaut-tenggara. Keberadaan struktur tersebut diduga mempengaruhi kemunculan manifestasi panas bumi di daerah Nage.



Gambar 3. Rangkaian topografi *en-echelon* pada Pulau Flores (Muraoka dkk., 2002)



Gambar 4. Peta geologi hasil observasi lapangan daerah penelitian (modifikasi setelah Anonim, 2017)

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Penelitian ini telah meninjau keberadaan struktur geologi di daerah penelitian berdasarkan citra satelit dan observasi lapangan untuk analisis kinematika, dinamika, serta implikasinya terhadap lapangan panas bumi Nage. Struktur primer ditemukan berupa kekar kolom, kekar berlembar, dan kontak litologi sebagai produk aliran vulkanisme. Struktur sekunder ditemukan berupa sesar geser oblik mengiri normal Nage bernoasi F1, sesar geser oblik menganan normal Leko Laka bernoasi F2, sesar geser oblik menganan naik Wae Roa bernoasi F3, sesar geser oblik menganan N 20°E-N 30°E, dan N 320°E -N 330°E (Gambar 5). Kelurusan pada daerah penelitian diolah untuk membuat densitas kelurusan (*fault fractures density*) dengan grid 30 x 30 m. Anomali densitas kelurusan pada daerah penelitian berasosiasi dengan manifestasi air panas, alterasi hidrotermal

normal Jerebu'u bernoasi F4, sesar geser oblik menganan normal Wae Nanga bernoasi F5, sesar geser mengiri Bena bernoasi F6, dan sesar geser oblik menganan normal Gurusina bernoasi F7. Pada observasi citra DEMNAS, terdapat beberapa kelurusan diskontinuitas permukaan (sesar bernoasi F8 dan F9) dan kelurusan kerucut sinder yang diduga sebagai struktur sesar bernoasi F10. Secara ringkas, sebaran struktur yang terdapat di daerah survei ditampilkan pada Gambar 10.

Berdasarkan penarikan kelurusan yang dibuat pada citra DEMNAS, kelurusan di daerah penelitian terdapat beberapa arah umum yakni N 50°E-N 60°E, N 100-110°E, yang intensif, dan keberadaan sesar di daerah penelitian (Gambar 6).

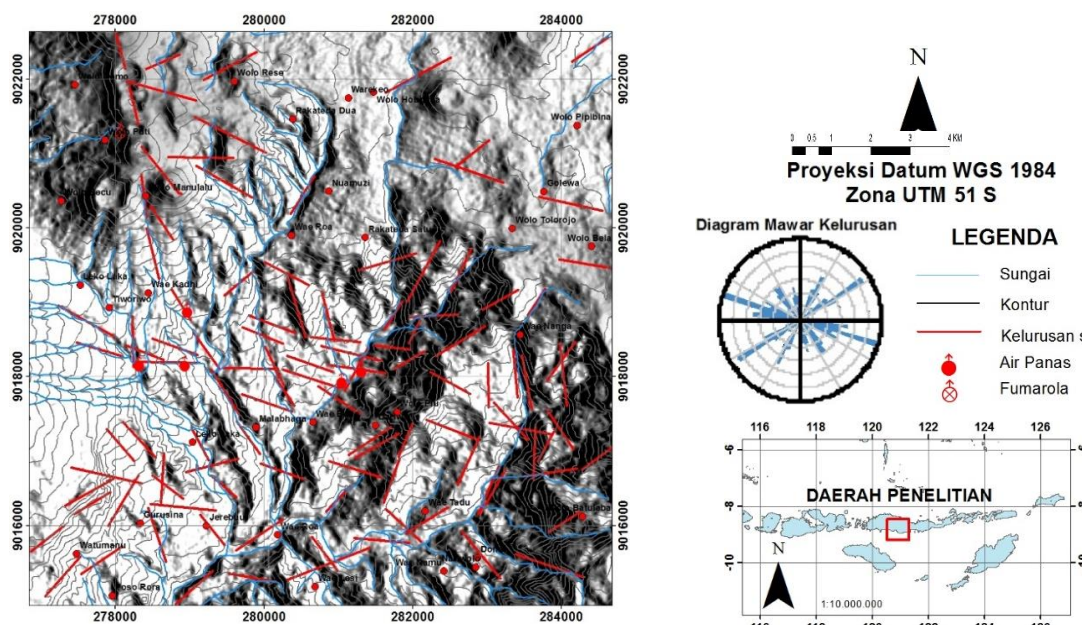
Sesar F1 berarah timurlaut-baratdaya yang memanjang di Wae Bana hingga Jerebuu. Sesar F1 dicirikan dengan diskontinuitas permukaan di citra, kelurusan sungai, dan

depresi topografi. Analisis kinematika sesar F1 menunjukkan bidang sesar berkedudukan N 217°E / 58°. Struktur penyerta berupa kekar gerus dengan kedudukan N 327°E / 52° dan N 224°E / 53°. Berdasarkan analisis kinematika, sesar ini bergerak oblik mengiri normal dengan arah tegasan utama 50°, N 177°E. Zona hancuran sesar ini berasosiasi dengan keberadaan manifestasi mata air panas Nage 1 dan Nage 2, alterasi hidrotermal mineral lempung yang intensif, dan struktur penyerta dalam jumlah intensif.

Sesar F2 berarah utara baratlaut-selatan tenggara yang memanjang dari kerucut sinder di utara hingga tepi sungai Jerebuu. Sesar F2 dicirikan dengan diskontinuitas permukaan di citra dan depresi topografi. Analisis kinematika sesar F2 menunjukkan bidang sesar berkedudukan N 156°E / 76°. Struktur penyerta berupa kekar gerus dengan kedudukan N 145°E / 68° dan N 38°E / 61°. Sesar ini bergerak oblik menganan normal dengan arah tegasan utama 68°, N 001°E berdasarkan analisis kinematika. Sesar ini searah dengan kelurusan kerucut sinder dan sungai berarah baratlaut-tenggara. Zona hancuran sesar ini berasosiasi dengan keberadaan manifestasi mata air panas Keli 1 dan fumarol Wolo Puti serta alterasi hidrotermal mineral lempung yang intensif.

Sesar F3 berarah utara baratlaut-selatan tenggara yang memanjang Wae Roa hingga Malabhaga. Sesar F3 dicirikan dengan diskontinuitas permukaan di citra dan kelurusan sungai. Analisis kinematika sesar F3 menunjukkan bidang sesar berkedudukan N 343°E / 63°. Struktur penyerta berupa kekar gerus dengan kedudukan N 346°E / 62° dan N 49°E / 68°. Sesar ini bergerak oblik menganan naik dengan arah tegasan utama 9°, N 347°E berdasarkan analisis kinematika. Zona hancuran sesar ini berasosiasi alterasi hidrotermal mineral lempung yang intensif dan struktur penyerta dalam jumlah intensif.

Sesar F4 berarah baratlaut-tenggara yang berada di Sungai Jerebuu. Sesar F4 dicirikan dengan kelurusan sungai. Analisis kinematika sesar F4 menunjukkan bidang sesar berkedudukan N 332°E / 63°. Struktur penyerta berupa kekar gerus dengan kedudukan N 34°E / 64° dan N 335°E / 62°. Sesar ini bergerak oblik menganan naik dengan arah tegasan utama 1°, N 182°E berdasarkan analisis kinematika. Zona hancuran sesar ini berasosiasi alterasi hidrotermal mineral lempung yang intensif secara setempat, struktur penyerta dalam jumlah intensif, dan kemunculan air panas di sungai sebagai rekahan di sungai.



Gambar 5. Analisis kelurusan struktur lapangan panas bumi Nage

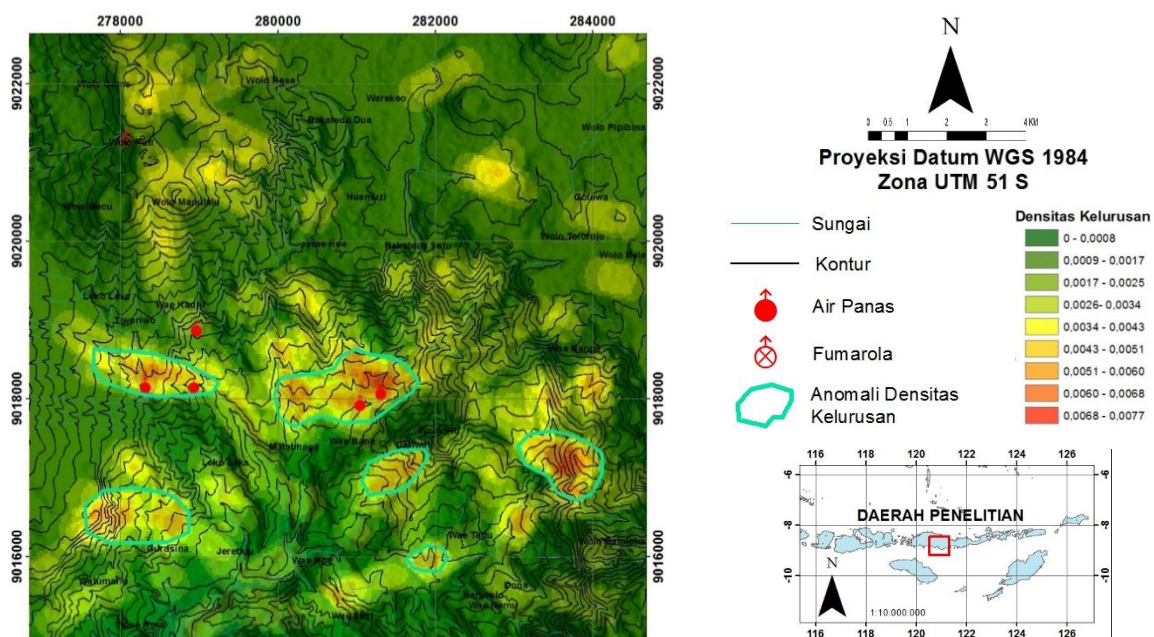
Sesar F5 berarah utara baratlaut-selatan tenggara yang berada di Sungai Wae Nanga. Sesar F5 dicirikan dengan kelurusan sungai Wae Nanga. Analisis kinematika sesar F5 menunjukkan bidang sesar berkedudukan N 354°E / 80°. Struktur penyerta berupa kekar gerus dengan kedudukan N 211°E / 667° dan N 330°E / 62°. Sesar ini bergerak oblik menganan normal dengan arah tegasan utama 44°, N 177°E berdasarkan analisis kinematika. Zona hancuran sesar ini berasosiasi alterasi hidrotermal mineral lempung yang intensif dan struktur penyerta dalam jumlah intensif. Analisis kinematika sesar dan *kamb contour* kekar gerus ditunjukkan pada Gambar 7.

Sesar F6 berarah timurlaut-baratdaya yang memanjang di Bena. Zona hancuran sesar ini berasosiasi dengan keberadaan manifestasi mata air panas Nage 1 dan Nage 2, alterasi hidrotermal mineral lempung yang intensif, dan struktur penyerta dalam jumlah intensif. Sesar F5 berkedudukan N 250°E / 45° dan diinterpretasikan sebagai sesar orde ke-dua dari sesar F1.

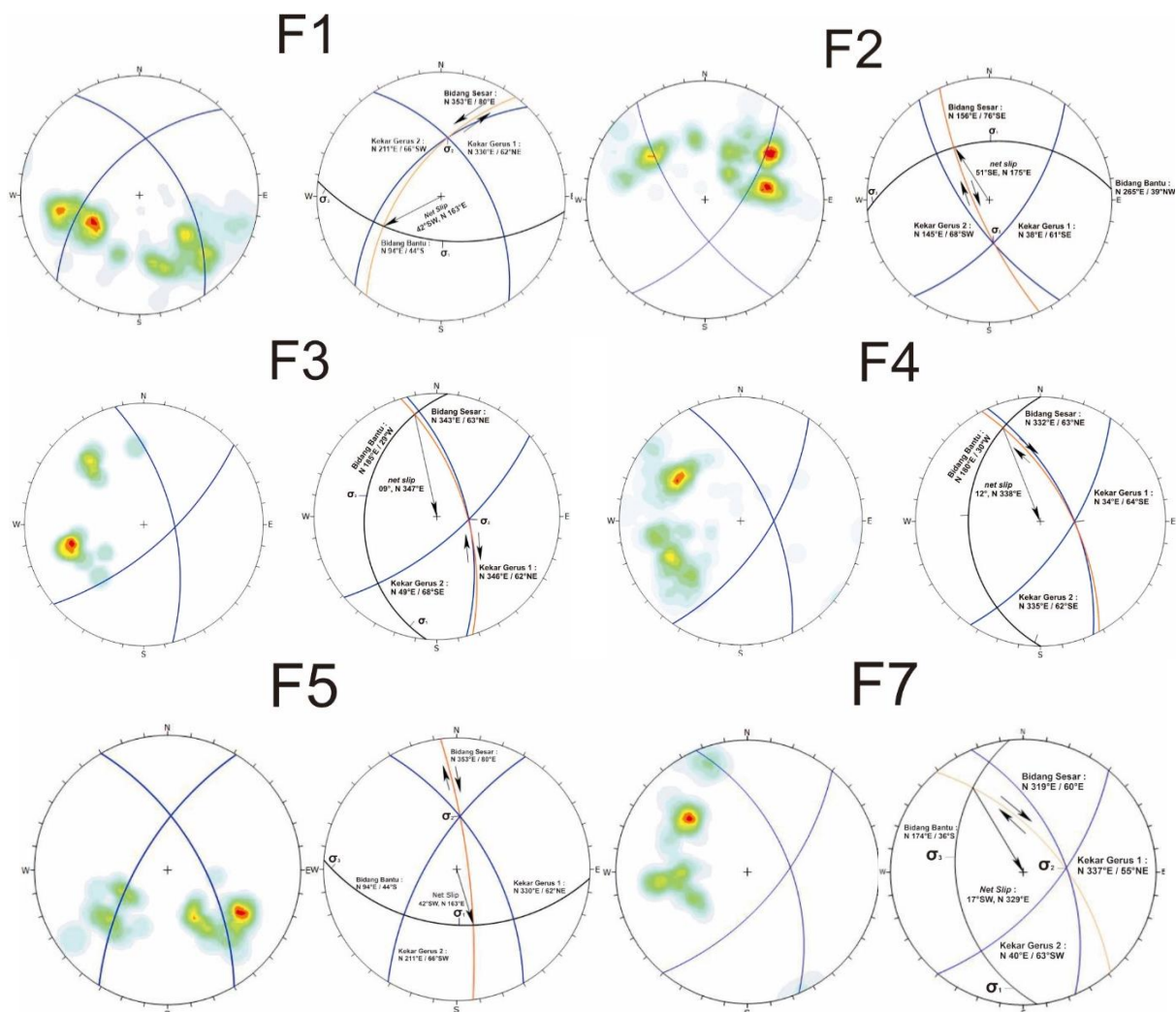
Sesar F7 berarah utara baratlaut-selatan tenggara yang berada di Sungai Leko Laka

hingga Gurusina. Sesar F7 dicirikan dengan kelurusan diskontinuitas permukaan pada citra DEMNAS. Analisis kinematika sesar F7 menunjukkan adanya bidang sesar yang berkedudukan N 319°E / 60°. Struktur penyerta berupa kekar gerus dengan kedudukan N 337°E / 55° dan N 40°E / 63°. Sesar ini bergerak oblik menganan normal dengan arah tegasan utama 03°, N 178°E berdasarkan analisis kinematika. Zona hancuran sesar ini berasosiasi kehadiran manifestasi mata air panas Bena. Analisis kinematika sesar dan *kamb contour* kekar gerus ditunjukkan pada Gambar 7.

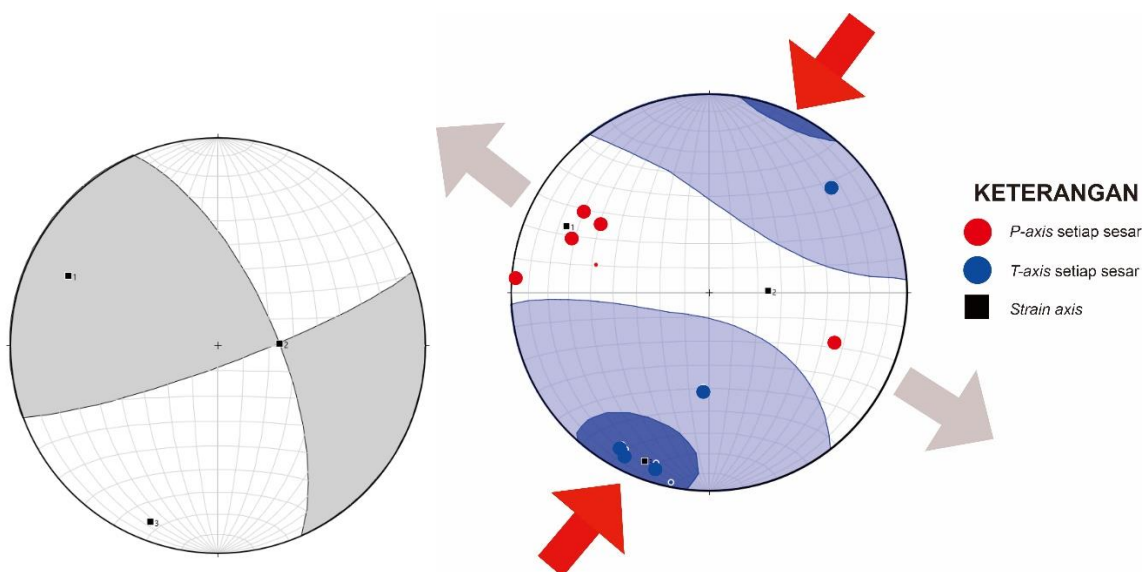
Arah tegasan utama masing-masing sesar ditentukan berdasarkan analisis kinematika (Tabel 1) dan didukung dengan analisis dinamik. Arah tegasan relatif umum daerah penelitian berarah relatif utara timurlaut-selatan baratdaya. *P-axis* pada daerah penelitian didapat 12,6°, N 203°E dan *T-axis* berkedudukan 17,5°, N 297,1°E (Gambar 8). Magnitudo relatif setiap sumbu *strain* pada daerah penelitian dinyatakan dalam *eigenvalue*, yakni e_1 sebesar 0,3982, e_2 sebesar 0,0073, dan e_3 sebesar 0,3910 berdasarkan pengolahan analisis dinamik oleh perangkat lunak *Faultkin*.



Gambar 6. Analisis densitas kelurusan pada lapangan panas bumi Nage sebagai indikasi keberadaan struktur geologi dan bidang lemah



Gambar 7. Analisis kinematika sesar dan perhitungan *kamb contour* kekar gerus setiap sesar di daerah penelitian



Gambar 8. Analisis dinamik sesar di daerah penelitian dan kontur *P*-axis dan *T*-axis yang diolah dengan *Faultkin*

Tabel 1. Perhitungan arah tegasan relatif seluruh sesar berdasarkan analisis kinematika

Sesar	Kedudukan σ_1	Kedudukan σ_2	Kedudukan σ_3
F2	38°, N 001 °E	02°, N 268 °E	2°, N 281° E
F3	04°, N 193°E	60°, N 94 °E	28°, N 286° E
F4	01°, N 182°E	59°, N 89 °E	29°, N 274° E
F1	50°, N 177 °E	38°, N 006 °E	3°, N 273° E
F6	38°, N 001 °E	02°, N 268 °E	2°, N 281° E
F5	44°, N 177 °E	46°, N 003 °E	03°, N 270 °E
F7	03°, N 178 °E	03°, N 178 °E	35°, N 270 °E

PEMBAHASAN

Arah tegasan regional berarah relatif utara timurlaut-selatan baratdaya akan menghasilkan struktur bukaan berarah utara timurlaut-selatan baratdaya yang diduga dapat menjadi jalur permeabilitas yang baik bagi fluida hidrotermal. Keberadaan manifestasi air panas di daerah penelitian merupakan bukti jalur permeabilitas yang pembentukannya dikontrol oleh deformasi di daerah penelitian berupa sesar yang membuka dalam pergerakannya atau rekahan yang saling terhubung satu sama lain.

Analisis dinamik yang dilakukan pada masing-masing sesar menunjukkan kedudukan *P-axis* dan *T-axis* yang relatif seragam. Hal ini diinterpretasikan karena sesar yang terbentuk di daerah penelitian cenderung terbentuk pada arah tegasan kompresional relatif sama (Gambar 9).

Observasi lapangan memberikan konfirmasi keterdapatan zona hancuran struktur pada hasil analisis kelurusan dan lokasi anomali densitas kelurusan. Analisis kinematika dan dinamika sesar di daerah penelitian menyimpulkan bahwa arah tegasan utama relatif pada daerah penelitian berarah relatif utara timurlaut-selatan baratdaya. Arah tegasan utama tersebut relatif cocok dengan pengukuran GPS terdahulu yang menyatakan pergerakan relatif Blok Indo-Australia ke arah utara timurlaut (Kreemer dkk., 2000) dan penelitian regional terdahulu (Muraoka dkk., 2002). Arah dan pergerakan sesar di daerah penelitian sesuai dengan model struktur *pure shear* sebagaimana dipaparkan oleh Moody dan Hill (1956). Berdasarkan arah struktur dan

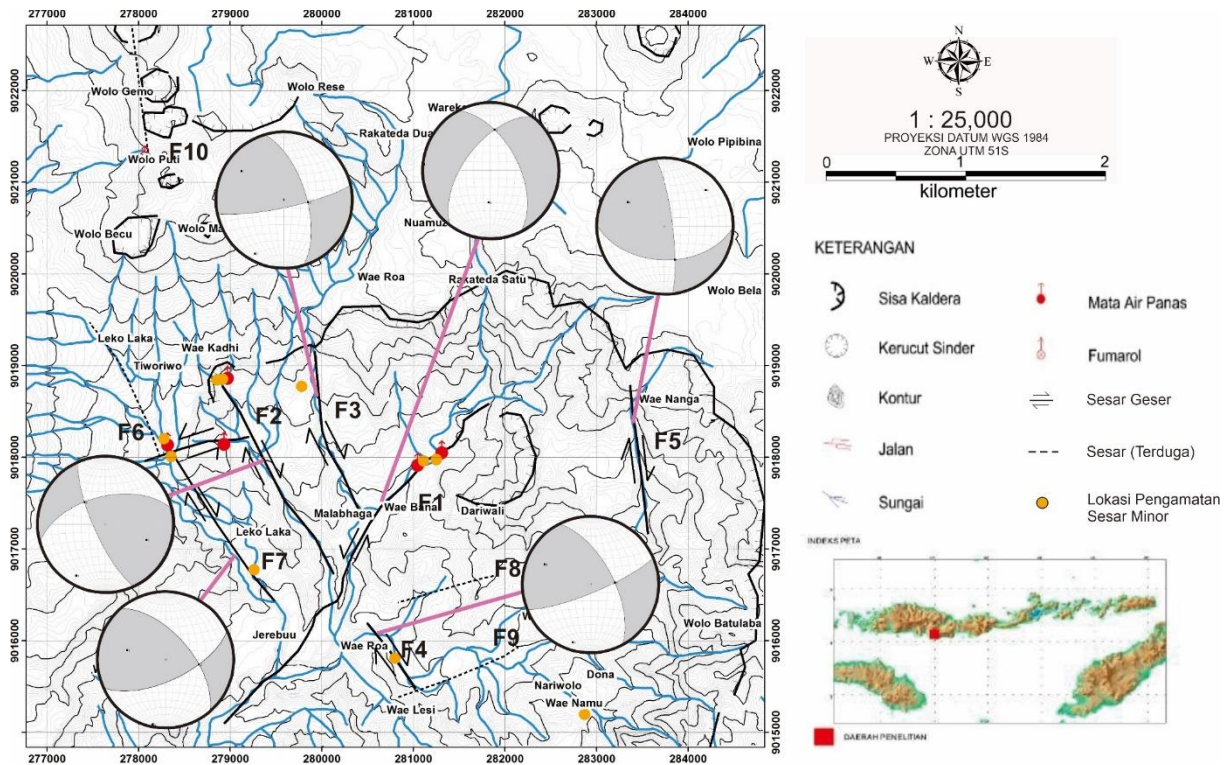
pergerakannya, sesar F1, F2, F3, F4, F7, F8, F9, dan F10 di daerah penelitian diinterpretasikan sebagai sesar orde ke-satu dan sesar F6 merupakan sesar orde ke dua dari sesar F1 (Gambar 10). Berdasarkan hasil analisis pengaruh struktur terhadap sistem panas bumi, maka dapat dilakukan analisis perangkingan sesar dengan mengacu pada parameter arah dan jenis sesar, keberadaan manifestasi, bukti keberadaan sesar, dan alterasi hidrotermal pada daerah penelitian, seperti yang terdapat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, sesar F1 dan F2 dapat menjadi zona permeabel yang baik bagi jalur keluarnya fluida hidrotermal dari bawah permukaan. Selain itu, keberadaan manifestasi yang diduga berasosiasi dengan sesar F1 dan F2 dapat mengindikasikan adanya reservoir lapangan panas bumi Nage serta didukung oleh alterasi hidrotermal yang intensif di permukaan.

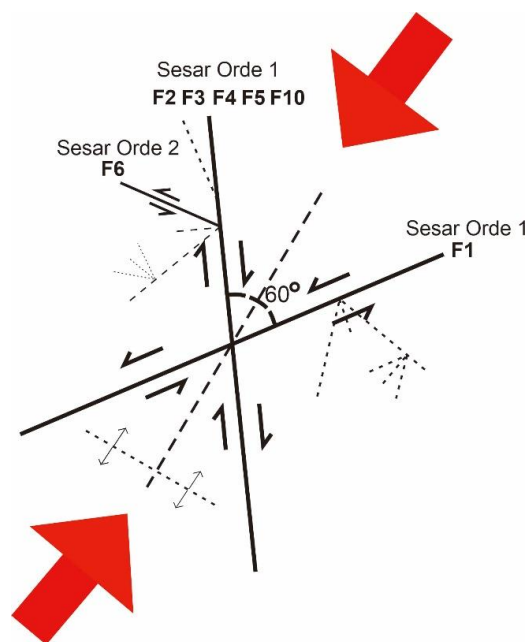
Indikasi keberadaan dua reservoir tersebut didasari dengan kemiringan sesar F1 yang berarah baratlaut dan sesar F2 yang relatif berada relatif jauh di sebelah barat F1 memiliki kemiringan berarah barat. Sesar F3 ditemukan terletak di antara sesar F1 dan F2 dan memiliki kemiringan berarah timur sehingga memisahkan kompartmen aliran fluida yang melalui sesar F1 dan F3 yang dimanifestasikan pada MAP Nage, serta aliran fluida yang melalui sesar F2 yang dimanifestasikan pada MAP Keli 1 dan Keli 2. Berdasarkan konfigurasi struktur dan perbedaan lokasi yang relatif jauh tersebut, dapat disimpulkan adanya indikasi keberadaan reservoir di bawah kemenerusan sesar F1 dan F3 serta sesar F2 (Gambar 11).

Sesar F10 merupakan sesar yang teridentifikasi dengan kelurusan kerucut sinder. Sesar ini diinterpretasikan hadir menjadi jalur naiknya gas hasil pendidihan fluida dari reservoir di bawah jajaran kerucut sinder yang keluar ke permukaan

sebagai fumarola Wolo Puti. Reservoir yang menjadi sumber fluida hasil pendidihan pada fumarola Wolo Puti merupakan reservoir yang berbeda dengan reservoir dari fluida yang mengalir pada sesar F1 dan yang mengalir pada sesar F2



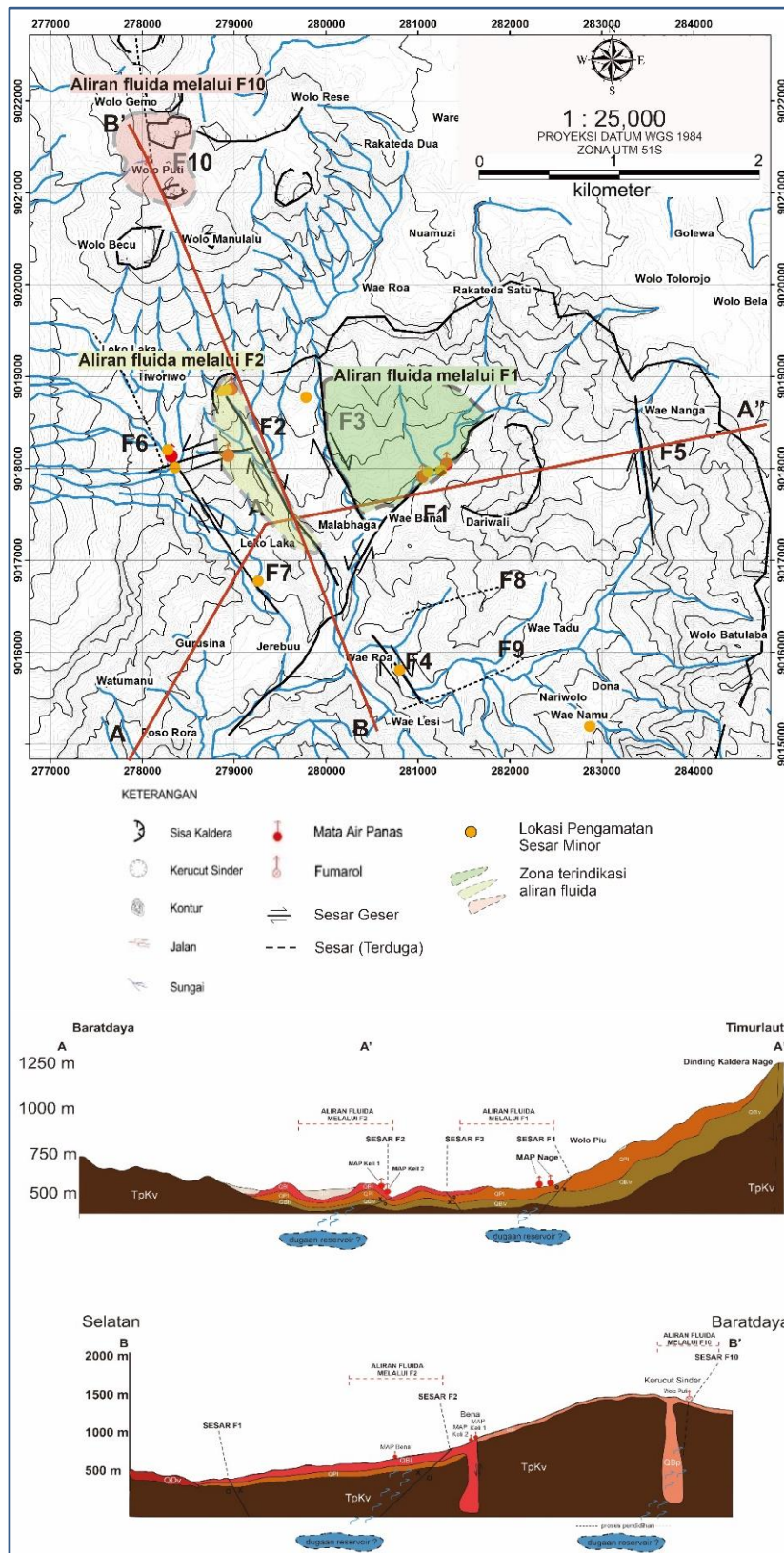
Gambar 9. Analisis dinamik masing-masing sesar di daerah penelitian menunjukkan *P-axis* dan *T-axis* relatif seragam.



Gambar 10. Interpretasi struktur sesar daerah penelitian berdasarkan konsep *pure shear* (Moody dan Hill, 1956)

Tabel 2. Perankingan sesar sebagai jalur keluarnya fluida hidrotermal sistem panas bumi lapangan Panas Bumi Nage

RANKING	SEJAR	KRITERIA 1 (Arah dan Jenis Sesar)	KRITERIA 2 (Manifestasi)	KRITERIA 3 (Bukti Sesar)	KRITERIA 4 (Alterasi Hidrotermal)
1	F1	TL-BD, sesar geser	Mata air panas Nage 1 dan Nage 2	Kelurusan citra DEMNAS dan sungai, depresi topografi, struktur penyerta yang intensif	Intensif
2	F2	U BL-S TG, sesar geser	Mata air panas Keli 1	Kelurusan citra DEMNAS dan sungai, depresi topografi, struktur penyerta yang intensif	Intensif
3	F7	U BL- S TG, sesar geser	Mata air panas Bena	Kelurusan citra DEMNAS dan sungai, serta struktur penyerta yang intensif	-
4	F6	T TL- B BD, sesar geser	Mata air panas Keli 2 dan Bena	Kelurusan citra DEMNAS dan sungai, serta struktur penyerta yang intensif	-
5	F10	U BL-S TG, sesar geser (berdasarkan pola <i>pure shear</i>)	Fumarol Wolo Puti	Kelurusan citra DEMNAS dan sungai, depresi topografi, dan struktur penyerta yang intensif	Intensif
6	F4	BL-TG, sesar geser	Rekahan kecil mengeluarkan air panas di sungai	Kelurusan citra DEMNAS dan sungai, struktur penyerta yang intensif setempat	Setempat
7	F3	U BL-S TG, sesar geser	-	Kelurusan citra DEMNAS dan sungai, struktur penyerta yang intensif	Intensif
8	F5	U BL-S TG, sesar geser	-	Kelurusan citra DEMNAS dan sungai, depresi topografi, dan struktur penyerta yang intensif	Intensif
9	F8	U BL-S TG, sesar geser	-	Kelurusan citra DEMNAS dan sungai, depresi topografi, dan struktur penyerta yang intensif	Intensif
10	F9	U BL-S TG, sesar geser	-	Kelurusan citra DEMNAS dan sungai, depresi topografi, dan struktur penyerta yang intensif	Intensif



Gambar 11. Konfigurasi sesar pada daerah penelitian yang mengindikasikan aliran fluida yang melalui sesar F1 lalu dibatasi sesar F3, aliran fluida yang melalui sesar F2, dan aliran fluida hasil pendidihan yang melalui sesar F10 (kiri); dan penampang yang menggambarkan indikasi reservoir yang berbeda berdasarkan aliran fluida (kanan; penampang dibuat berdasarkan peta dari Anonim, 2017)

KESIMPULAN

Analisis struktur geologi, kelurusan citra DEMNAS, dan densitas kelurusan yang dilakukan di lapangan panas bumi Nage mengonfirmasi keterdapatannya sesar-sesar geser yang terbentuk dari arah tegasan utama relatif berarah utara timurlaut-selatan baratdaya. Sesar-sesar di daerah penelitian diinterpretasikan sebagai sesar orde satu dan orde dua dari model *pure shear*. Beberapa sesar menjadi jalur keluarnya fluida hidrotermal pada lapangan panas bumi Nage yang dibuktikan dari kehadiran manifestasi panas bumi di sekitar zona hancuran sesar, serta alterasi hidrotermal dan struktur-struktur penyerta yang intensif. Keberadaan manifestasi panas bumi dan alterasi hidrotermal yang berasosiasi dengan sesar F1, F2, dan F10 tersebut mengindikasikan keterdapatannya aliran fluida dari reservoir yang mengalir melalui F1, aliran fluida yang melalui F2, dan aliran fluida hasil pendidihan yang melalui F10. Ketiga aliran fluida yang melalui sesar tersebut secara geologi mencirikan keterdapatannya tiga reservoir yang berbeda di lapangan panas bumi Nage.

SARAN / REKOMENDASI

Pembuktian peranan sesar-sesar di daerah penelitian terhadap sistem panas bumi yang berkembang dapat didukung dengan metode gaya berat dan divalidasi dengan pengeboran eksplorasi. Hal tersebut dapat dilakukan untuk membuktikan karakteristik sesar F1, F2, F7, F6, atau F10 yang menjadi fokus keberadaan permeabilitas yang terbentuk dari zona lemah, sehingga berfungsi sebagai media untuk jalur fluida hidrotermal pada sistem panas bumi Nage.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas bimbingan-Nya dalam penulisan penelitian ini. Penelitian ini mendapatkan bantuan dari banyak pihak, yakni Pemerintah

Kabupaten Ngada dan masyarakat setempat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2017. Laporan Survey Terpadu Daerah Panas Bumi Nage, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi-Badan Geologi, Bandung.
- Fauldz J.E., dan Hinz, N.H., 2015. Favorable tectonic and structural settings of geothermal systems in the Great Basin Region, western USA: proxies for discovering blind geothermal systems. Dalam *Proceedings of the World Geothermal Congress 19-25 April 2015*.
- Fossen, H., 2016. *Structural Geology : Second Edition*. Cambridge University Press, 503 halaman.
- Hamilton, W.B., 1979. *Tectonics of the Indonesian region Vol. 1078*, US Government Printing Office, Washington DC, 308 halaman.
- Kamb, W.B., 1959. Ice petrofabric observations from Blue Glacier, Washington, in relation to theory and experiment. *Journal of Geophysical Research*, 64, 1891-1909.
- Koesoemadinata, S., Noya, Y., dan Kadarisman, D. 1994. *Peta Geologi Lembar Ruteng, Nusa Tenggara , Skala 1: 250,000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Kreemer, C., Holt, W.E., Goes, S., dan Govers, R., 2000. Active deformations in eastern Indonesia and Philippines from GPS and seismicity data, *Journal of Geophysical Resources*, 105, 663-680.
- Marett, R. dan Allmendinger, R.W., 1990. Kinematic analysis of fault-slip data. *Journal of Structural Geology*, 12, 973-986.
- Moody, J.D. dan Hill, M.J., 1956. Wrench-fault tectonics, *Geological Society of America Bulletin*, 67(9), 1207-1246.

Muraoka, H., Nasution, A., Urai, M., Takahashi, M., Takashima, I., Simanjuntak, J., Sundhoro, H., Aswin, D., Nanlohy, F., Sitorus, K., Takahashi, H., dan Koseki, T., 2002. Tectonic, volcanic and stratigraphic geology of the Bajawa geothermal field, central Flores, Indonesia, *Bulletin of Geological Survey of Japan*, 53(2/3), 109-138.

Pirajno, F., 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*, Australia, Springer Science & Business Media, 1243 halaman.

Sapiie, B., 2016. Kinematic analysis of fault-slip data in the Central Range of Papua, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(1), 1-16.

Diterima	: 9 September 2021
Direvisi	: 5 Oktober 2021
Disetujui	: 30 November 2021

**PENENTUAN DAERAH PROSPEK MINERALISASI
MENGUNAKAN METODE GEOKIMIA TANAH, DAERAH NANGA BANGIK,
KECAMATAN BOYAN TANJUNG, KABUPATEN KAPUAS HULU,
PROVINSI KALIMANTAN BARAT**

**DETERMINATION OF MINERALIZATION PROSPECTS
BY SOIL GEOCHEMISTRY METHOD IN NANGA BANGIK AREA,
BOYAN TANJUNG DISTRICT, KAPUAS HULU REGENCY,
WEST KALIMANTAN PROVINCE**

Sulaeman, Ernowo, dan Denni Widhiyatna

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
sulaeman.1988@esdm.go.id

ABSTRAK

Sebagai negara tropis pelapukan tanah di Indonesia berlangsung intensif. Penentuan daerah prospek mineralisasi pada penyelidikan ini menggunakan metode geokimia tanah, dengan melakukan pengambilan sampel dari tanah lapukan tersebut. Daerah Nanga Bangik, Desa Jemah, Kecamatan Boyan Tanjung, Kabupaten Kapuas Hulu, Provinsi Kalimantan Barat memiliki kondisi geologi yang sangat memungkinkan terbentuk mineralisasi logam. Penyelidikan ini dilakukan untuk menentukan daerah prospek mineralisasi.

Sebanyak 135 sampel tanah telah diambil menggunakan sistem *ridge and spurs* dari horizon B dengan jarak antar titik lokasi sampel 75 – 100 meter. Sampel tanah tersebut dianalisis di Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP). Analisis laboratorium menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*), unsur yang dianalisis meliputi Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Ag dan Au. Metode analisis statistik yang dilakukan meliputi analisis distribusi, perhitungan nilai *threshold* dengan metode perhitungan *Mean+2 SDEV* dan *Median+2 MAD* dan korelasi antar unsur dengan Faktor Analisis.

Berdasarkan perhitungan nilai *threshold* menggunakan dua metode statistik yang berbeda, didapatkan beberapa nilai anomali dan tiga faktor kelompok unsur: Faktor 1: Pb-Fe-Zn-Ag Faktor 2: Mn-Cu dan Faktor 3 berupa unsur Au yang diinterpretasikan berhubungan dengan adanya mineralisasi logam. Didapatkan tiga daerah prospek mineralisasi logam di Bukit Empajak, Bukit Pirang dan Bukit Limau.

Kata kunci: pelapukan, tanah, geokimia eksplorasi, *threshold*, anomali

ABSTRACT

The tropical climate of Indonesia causes rock weathering. Soil from weathered rocks can be analyzed to determine the anomalies element to define the mineralization prospect areas using the geochemical methods. This study was carried out in the Nanga Bangik area with geological conditions favorable for mineralization.

A total of 135 soil samples were collected from horizon B along ridge and spurs with sample intervals 75 - 100 meters. All samples were analyzed at the laboratory of the Center for Mineral Coal and Geothermal Resources in Bandung. Geochemical analysis was conducted using the Atomic Absorption Spectroscopy method, for the elements of Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Ag, and Au. Statistical distribution analysis, threshold calculation using mean+2SDEV and Median+2MAD and correlation between Factor Analysis were combined to determine the anomalies areas.

Based on the calculation of the threshold using two different statistical methods, several anomalous values and groups of three factors were obtained: Factor 1: Pb-Fe-Zn-Ag Factor 2: Mn-Cu and Factor 3 in the form of element Au which was interpreted by the presence of metal mineralization. Three mineralization prospect areas were found in Bukit Empajak, Bukit Pirang and Bukit Limau.

Keywords: weathering, soil, geochemical exploration, threshold, anomaly

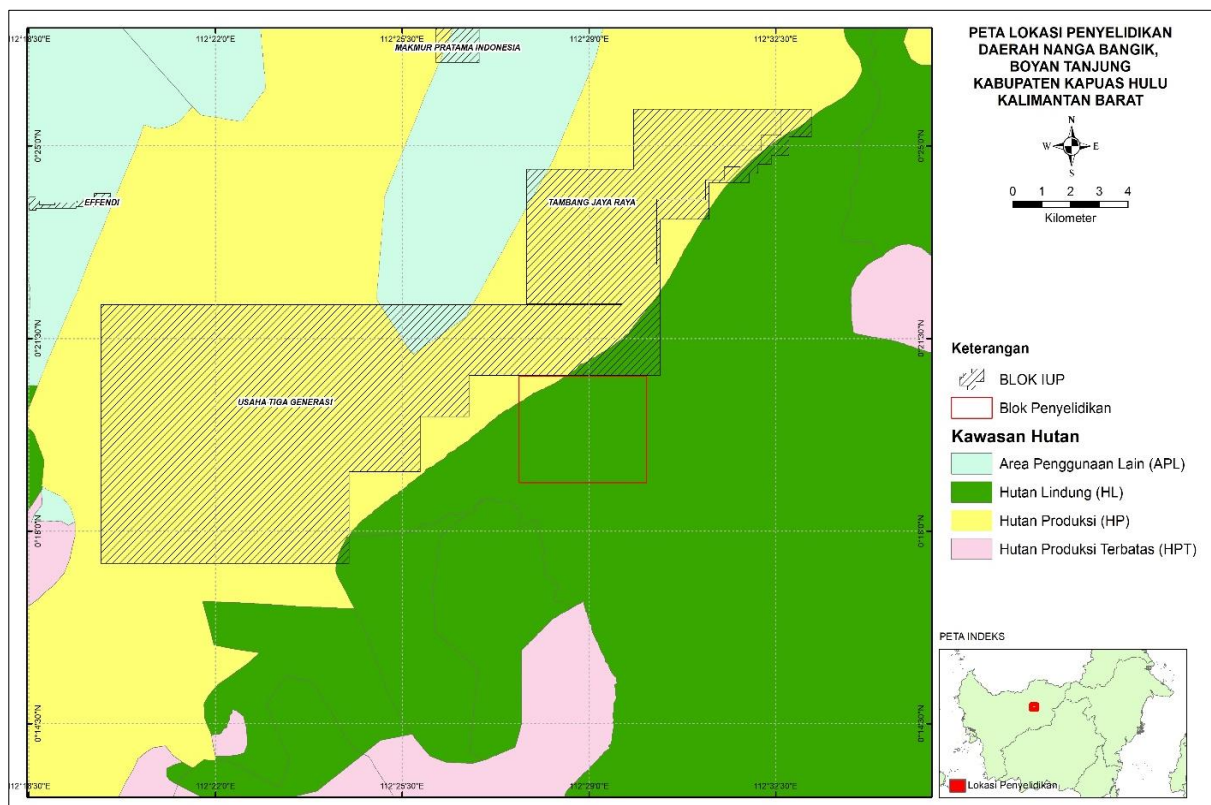
PENDAHULUAN

Tanah dan material lapukan yang terdapat di atas cebakan bijih dapat digunakan dalam studi geokimia eksplorasi untuk menemukan cebakan bijih yang baru (Grunsky, 2010). Analisis geokimia tanah pada kegiatan eksplorasi merujuk pada anomali unsur dan pola sebaran unsur *pathfinder* yang dihubungkan dengan tipe deposit (Bradshaw dan Lett, 1980). Analisis statistik dilakukan pada data geokimia tanah sebagai alat untuk interpretasi adanya potensi mineralisasi pada suatu area (Closs & Nichol, 1975; Garret, drr, 1980).

Secara administratif daerah penyelidikan termasuk daerah Nanga Bangik, Desa

Jemah, Kecamatan Boyan Tanjung, Kabupaten Kapuas Hulu, Provinsi Kalimantan Barat (Gambar 1). Daerah ini dipilih karena secara regional memiliki potensi keterdapatan endapan mineral logam. Hal ini ditunjukkan dengan adanya beberapa kegiatan eksplorasi oleh perusahaan-perusahaan pemegang IUP eksplorasi komoditi emas dan antimon.

Maksud penyelidikan ini untuk mendapatkan sampel tanah dilanjutkan dengan analisis kimia dan pengolahan statistik untuk mendapatkan gambaran sebaran dan korelasi antar unsur. Tujuan penyelidikan ini yaitu untuk mendapatkan daerah prospek mineralisasi yang dapat dijadikan target penyelidikan selanjutnya.



Gambar 1. Lokasi penyelidikan daerah Nanga Bangik

METODOLOGI

Pemetaan Geologi dan Pengambilan Sampel

Pemetaan geologi dilakukan dengan pengamatan dan pengukuran aspek-aspek geologi. Sampel tanah diambil dari horizon B pada punggung dan puncak bukit dengan interval 50 – 100 meter. Kedalaman sampel tanah yang diambil sekitar 70 – 100 cm (Rose, drr., 1979).

Analisis Laboratorium

Sebanyak 135 sampel tanah dipreparasi dan dianalisis kandungan unsurnya menggunakan metode *atomic absorption spectrophotometry* (AAS). Unsur-unsur yang dianalisis terdiri dari Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Ag dan Au. Analisis dilakukan di Laboratorium Kimia Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP).

Analisis Statistik

Hasil dari analisis kandungan unsur Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Ag dan Au dilakukan pengolahan dan analisis statistik secara univariat dan multivariat. Kumpulan data geokimia akan lebih mudah apabila menggunakan analisis statistik (Laurent, drr, 2010). Analisis distribusi tertuang dalam bentuk histogram untuk data geokimia setiap unsur dengan menggunakan aplikasi SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*). Histogram tersebut dilakukan pada asli data geokimia dan juga pada data geokimia yang telah ditransformasi ke dalam bentuk log (*log-transformed*). Selain itu, distribusi setiap unsur dilakukan ke dalam bentuk *scatterplot* ataupun *diagram Harker* untuk mengetahui korelasi positif atau negatif dari setiap unsur (Carranza, 2008).

Kedua data baik asli ataupun data geokimia *log-transformed* setiap unsurnya dihitung nilai rata-rata (*mean*) dan standar deviasi. Penghitungan nilai ambang batas (*threshold*) dilakukan dengan metode perhitungan sebagai berikut:

[mean + 2 SDEV]

Dalam geokimia eksplorasi, nilai dari (*mean ± 2 standard deviation*) pada awalnya digunakan untuk identifikasi sekitar 2,5% nilai batas *upper (or lower)* dari nilai ekstrim dan perhitungan lebih lanjutnya digunakan sebagai nilai *threshold* pada kumpulan data (Hawkes dan Webb, 1962). Pada metode perhitungan nilai *threshold* ini kumpulan data geokimia haruslah mempunyai distribusi yang normal. Untuk itu, pada data geokimia yang mempunyai nilai ekstrim (*outlier*) harus dihilangkan terlebih dahulu dalam penentuan nilai *threshold* atau metode lainnya adalah dengan menggunakan *log-transformed* terlebih dahulu.

[Median + 2 MAD]

Metode perhitungan nilai *threshold* dengan *[Median + 2 median absolute deviation (MAD)]*, merupakan pendekatan yang kuat yang mudah dipahami dan banyak digunakan dalam menghitung nilai *threshold* (Reimann drr., 2005).

Analisis korelasi antar unsur

Pada umumnya metode hubungan antar unsur (*multivariate*) yang sering digunakan dalam mempelajari dan kuantifikasi hubungan antar unsur dalam data geokimia eksplorasi terdiri dari *Principal Components Analysis (PCA)*, *Factor Analysis (FA)*, *Cluster Analysis (CA)*, *Regression Analysis (RA)* dan *Discriminant Analysis (DA)*. PCA dan FA digunakan dalam mempelajari hubungan antar unsur dalam kumpulan dari banyak unsur. Dalam artikel ini PCA atau FA digunakan untuk mengetahui hubungan antar unsur, beberapa diantaranya dapat menggambarkan adanya keterjadian mineralisasi (Carranza, 2008).

Ketika dihasilkan kumpulan data geokimia yang besar, *factor analysis* dapat digunakan untuk mengurangi jumlah variabel yang diteliti dan menggambarkan variabilitas diantara variabel yang berkorelasi (Reimann, drr., 2002). Di dalam

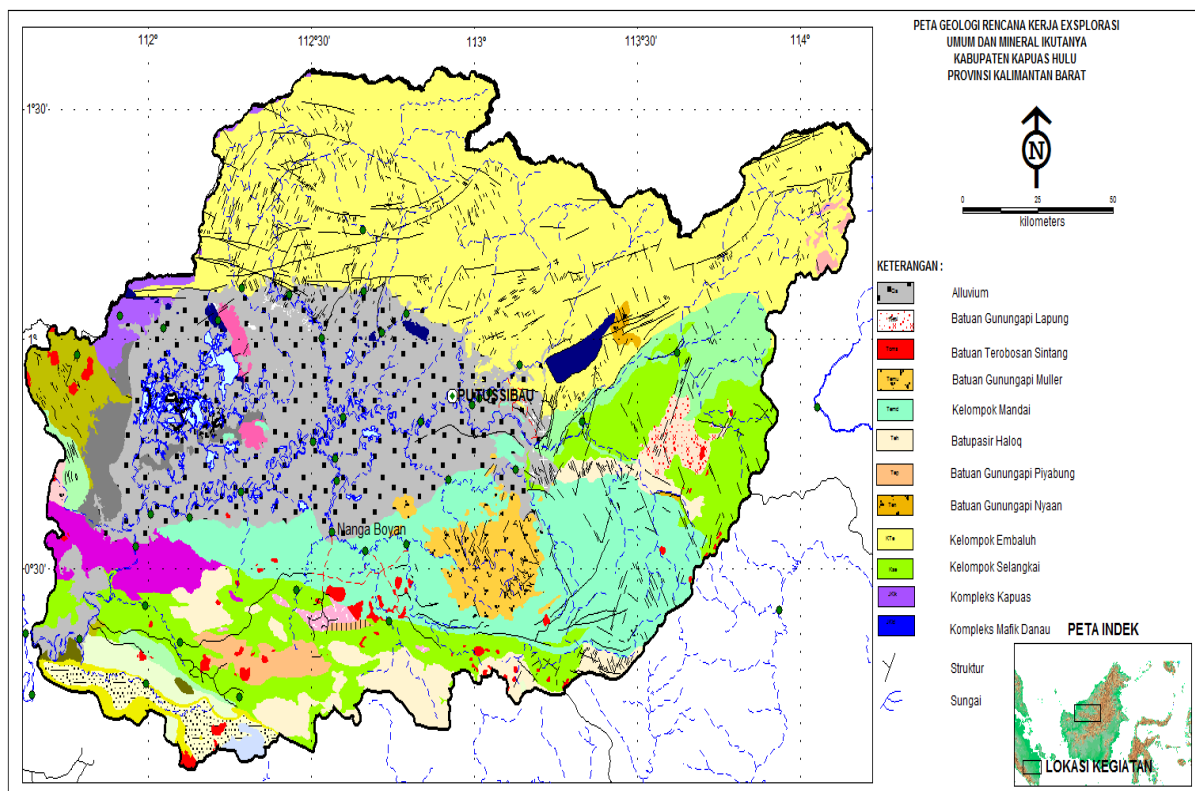
factor analysis (FA), *Principal Factor Analysis* (PFA) dan *Metode Maximum Likelihood* (ML) merupakan dua metode yang dapat melakukan ekstraksi faktor umum. Secara prinsip, PFA seperti halnya *Principal Components Analysis* (PCA). Ketika menggunakan *factor analysis*, *factor rotation* yang harus digunakan *Varimax* (Kaiser, 1958), *Promax* (Hendrickson dan White, 1964), *Oblimin* (Harman, 1976) atau *Quartimin* (Carroll, 1953).

GEOLOGI

Geologi daerah Kabupaten Kapuas Hulu disusun oleh satuan-satuan stratigrafi batuan dasar granitik-gabro, Kompleks Busang, Kelompok Selangkai, Batuan Gunungapi Piyabung, Kelompok Mandai, Batuan Terobosan Sintang dan Aluvium (Pieters, dr., 1993) (Gambar 2). Satuan stratigrafi tertua terdiri atas batuan dasar granitik-gabro dan Kompleks Busang dimana keduanya diperkirakan berumur Perm-Trias. Kompleks Busang dibedakan dengan batuan dasar karena keanekaragaman susunan batuan

pembentuknya yang terdiri dari granit, granodiorit, diorit dan gabro termalihkan; sekis, *gneiss*, kuarsit, serpentinit dan harzburgit, di atasnya diendapkan secara tidak selaras Kelompok Selangkai berumur Kapur Bawah-Atas, terdiri dari batuan-batuan sedimen yang terdiri atas batugamping, batupasir, konglomerat dan batulanau. Pada Zaman Tersier diendapkan secara tidak selaras Batuan Gunungapi Piyabung yang terdiri dari tufa dan aglomerat yang bersusunan asam sampai menengah berumur Eosen dan pada Eosen Atas diendapkan batupasir dan batulumpur yang termasuk ke dalam satuan stratigrafi Kelompok Mandai.

Terobosan Sintang merupakan batuan intrusi yang terdiri dari diorit, diorit porfir, andesit dan dasit porfir yang diperkirakan merupakan bagian dari kegiatan magmatisme/vulkanisme pada Miosen Bawah. Satuan ini menerobos batuan-batuan dari Kelompok Selangkai, Batuan Gunungapi Piyabung dan Kelompok Mandai.



Gambar 2. Geologi regional Kabupaten Kapuas Hulu (modifikasi dari Pieters dkk., 1993)

Daerah Boyan Tanjung tersusun oleh litologi Satuan Batupasir Grewake merupakan batuan dasar yang berada di daerah penyelidikan. Pada beberapa bagian mengandung mineral magnetit secara tersebar. Struktur perlapisan batuan masih nampak jelas dengan arah umum jurus dan kemiringan N 330°E/40°. Satuan Batulempung-Serpih diendapkan selaras di atas Satuan Batupasir Grewake. Satuan Batupasir Arkose diendapkan secara selaras di atas Satuan Batulempung-Serpih. Ketiga satuan batuan tersebut diperkirakan merupakan bagian dari Kelompok Selangkai yang berumur Kapur. Satuan Tufa-Tufa Breksi merupakan satuan batuan yang paling muda umurnya yang menutupi secara tidak selaras terhadap tiga satuan batuan di bawahnya. Satuan batuan ini diperkirakan merupakan bagian dari batuan Gunung Api Piyabung berumur Eosen. Keempat satuan batuan tersebut di atas diterobos oleh retas mikrodiorit dan andesit yang diperkirakan bagian dari Intrusi Sintang berumur Miosen Bawah sebagaimana yang dijumpai di Sungai Emplui. Adanya terobosan ini menyebabkan terjadinya ubahan silisifikasi dan mineralisasi tipe urat polimetalik dengan mineralisasi pirit, kalkopirit dan sphalerit (Kisman, drr., 2015).

Kisman, drr (2015) melakukan kegiatan penyelidikan dan mendelineasi anomali Au dari sampel sedimen sungai aktif. Kadar tertinggi sampel sedimen sungai aktif mencapai 821 ppb Au dari Sungai Jolik di Desa Jemah, Kecamatan Boyan Tanjung, Kabupaten Kapuas Hulu. Dari hasil analisis mineragrafi terhadap sampel batuan termineralisasi sulfida dengan tipe *impregnation* yang terdapat di Sungai Bangik menunjukkan mineral logam yang teridentifikasi adalah pirit dan *hydrous iron oxide* dengan kandungan 20 ppm Cu, 31 ppm Pb, 56 ppm Zn, 1675 ppm Mn dan 17 ppb Au.

HASIL PENYELIDIKAN

Geologi Daerah Penyelidikan

Daerah penyelidikan tersusun oleh empat satuan batuan yang berurut dari tua ke

muda, yaitu Satuan Batupasir Grewake, Satuan Batulempung-Serpih, Satuan Tufa-Tufa Breksi dan Satuan Batuan Intrusi (Gambar 3). Satuan Batupasir Grewake merupakan batuan dasar yang berada di daerah penyelidikan dengan komposisi mineral terdiri atas mineral mafik, sedikit feldspar dan kuarsa. Satuan Batulempung-Serpih diendapkan secara selaras di atas Satuan Batupasir Grewake. Umumnya dicirikan oleh batulempung dan serpih dengan arah perlapisan N320°E/40°. Di beberapa lokasi batulempung tufaan mengalami pengekaran kuat dan limonitisasi dimana pada bidang kekarnya terisi oleh oksida besi. Satuan Batuan Intrusi umumnya berupa andesit, pada beberapa lokasi dijumpai batuan mikrodiorit yang sudah termineralkan sulfida pirit dan terdapat rekahan-rekahan yang terisi oleh mineral silika yang mengalami oksidasi (Gambar 4). Retas ini diperkirakan merupakan bagian dari intrusi Sintang yang berumur Miosen Bawah.

Sampel Tanah

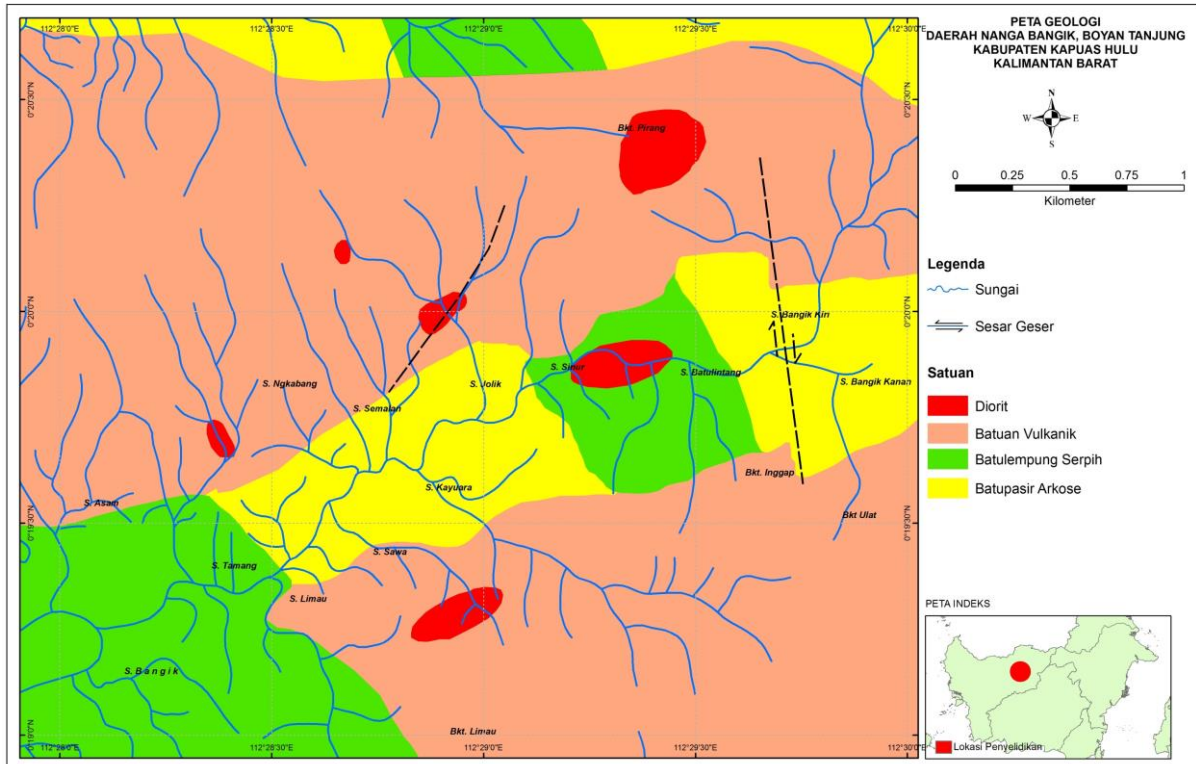
Sebanyak 135 sampel tanah yang telah diambil dari daerah penyelidikan dengan distribusi titik sampel dalam Gambar 5. Sampel dianalisis dengan metode AAS untuk unsur-unsur antara lain Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Ag dan Au. Dari hasil analisis laboratorium tersebut diperoleh besaran kadar dari setiap unsur yang dianalisisnya dan didapat kumpulan data geokimia.

PEMBAHASAN

Perhitungan *descriptive statistic* dari unsur-unsur hasil analisis laboratorium disajikan pada Tabel 1. *Skewness* dari masing-masing unsur yang relatif positif mengindikasikan distribusi yang tidak normal. Kumpulan data geokimia unsur selalu menunjukkan lebih dari satu populasi yang merepresentasikan suatu proses tertentu. Proses geologi secara spasial bergantung antara satu dengan yang lainnya dan selalu menjelaskan suatu bagian dari kadar yang tertinggi dari masing-masing unsur pada sampel geokimia. Sehingga pada umumnya kumpulan data geokimia tidak mengikuti

model distribusi normal (Vistelius, 1960; Reimann dan Filzmoser, 1999). Uji normalitas dilakukan untuk mengubah dari distribusi data yang tidak normal (Miesch, 1977; Joseph dan Bhaumik, 1997). Uji normalitas mentransformasikan data

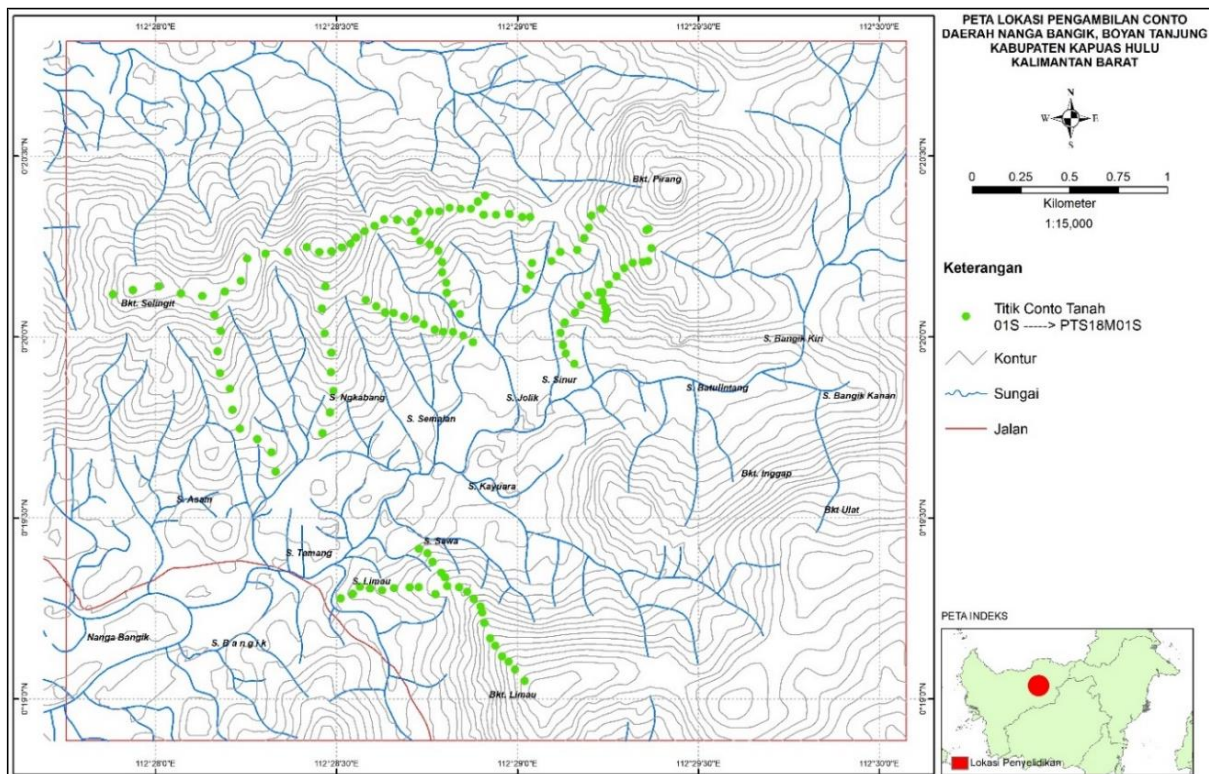
menjadi model distribusi normal untuk unsur Cu, Pb dan Zn (Gambar 6) dan (Gambar 7), sementara itu untuk unsur Au, Ag (Gambar 8) mendekati distribusi normal.



Gambar 3. Peta geologi daerah penyelidikan



Gambar 4. Urat kuarsa dengan lebar 2,0 cm mengisi rekahan pada tubuh batuan intrusi di lereng Bukit Pirang

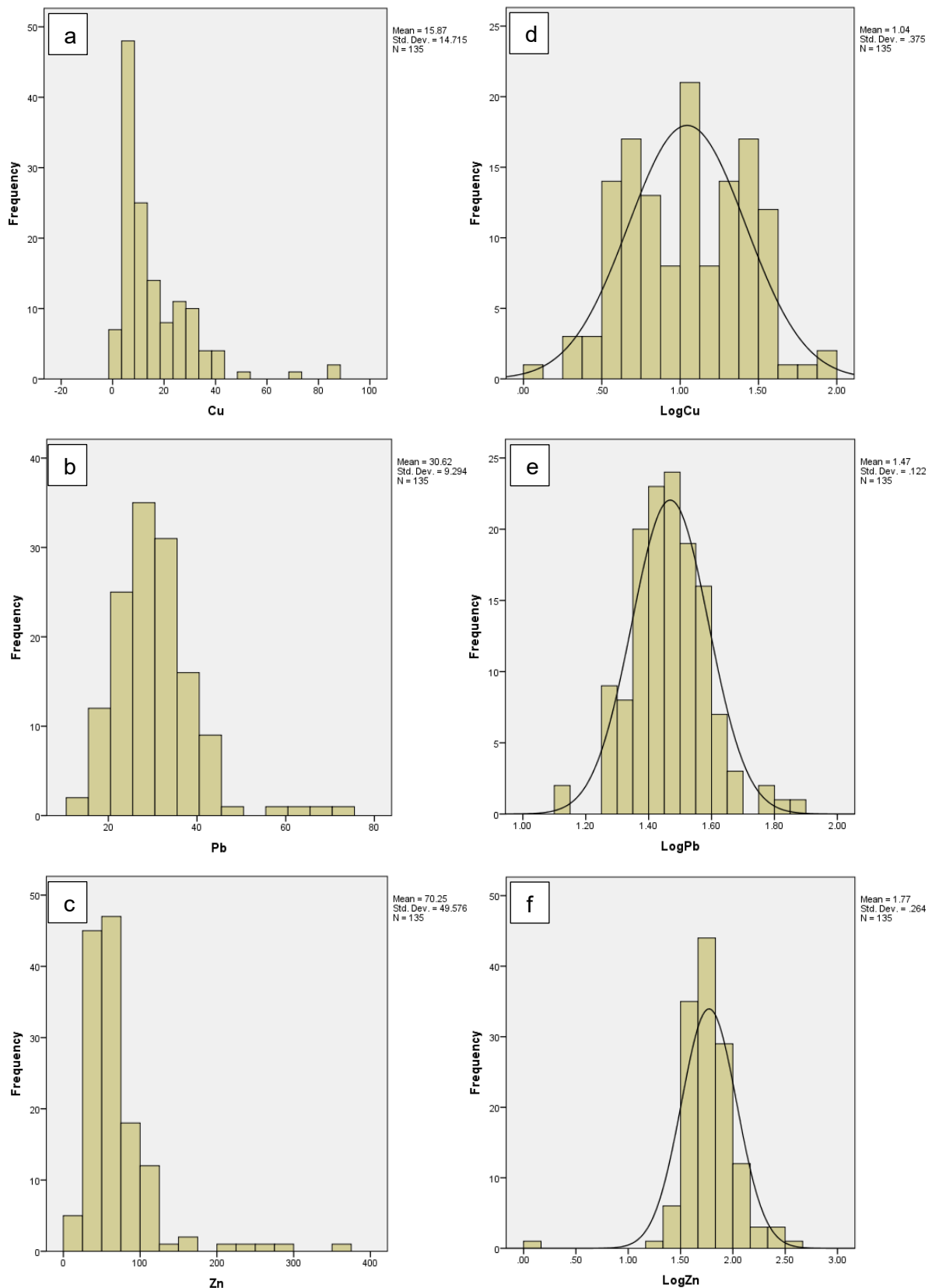


Gambar 5. Peta lokasi sampel tanah daerah Nanga Bangik

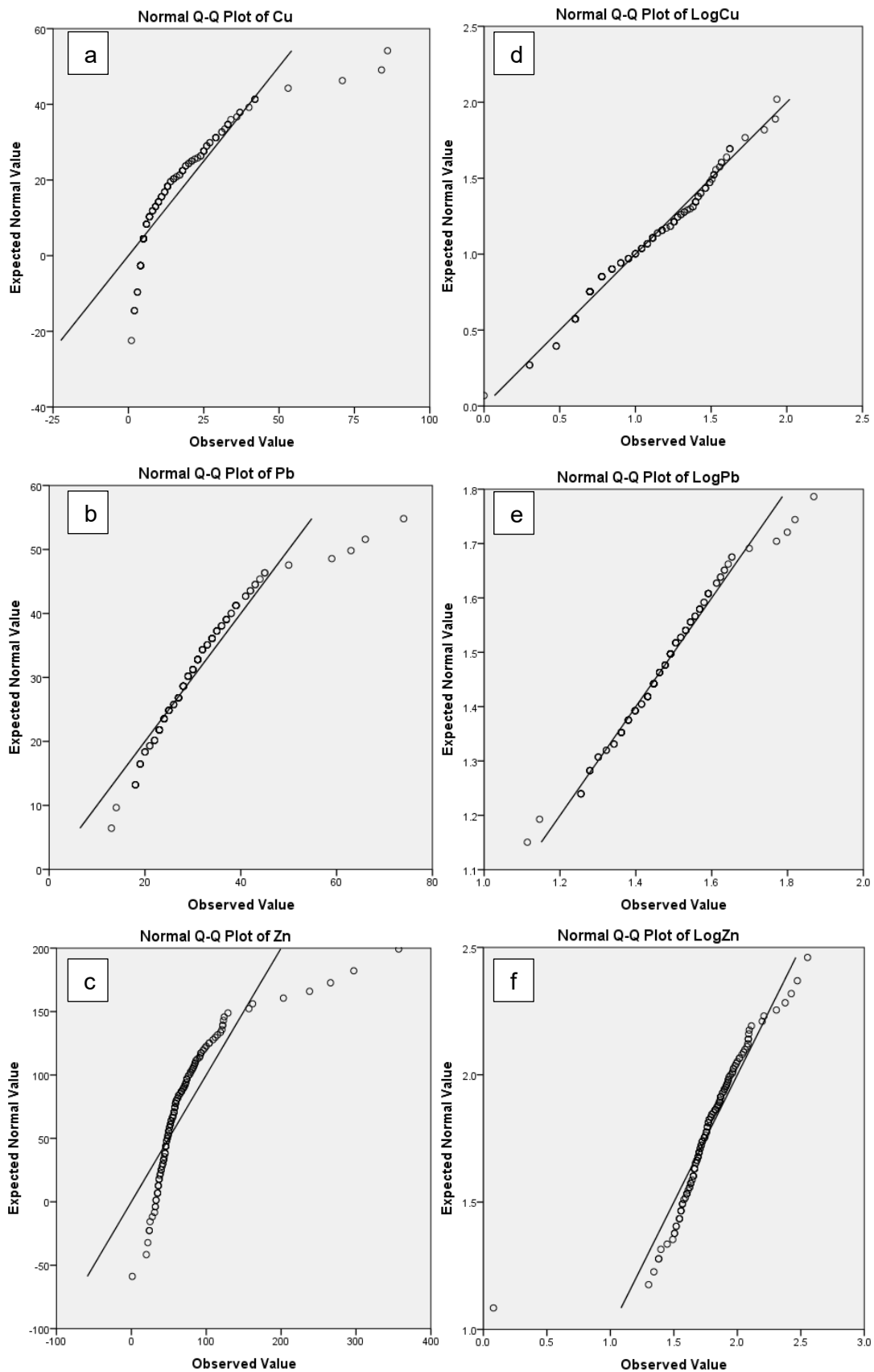
Tabel 1. Rangkuman *descriptive statistic* dari data geokimia *soil*/tanah daerah Nanga Bangik

	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Ag	Au
Mean	15,87	30,62	70,25	155,13	2,98	1,43	9,61
Standard Error	1,27	0,80	4,27	11,47	0,10	0,08	1,04
Median	11	29	57	119	2.86	1.2	6
Mode	5	31	46	100	3.43	0.9	4
Standard Deviation	14,72	9,29	49,58	133,31	1,22	0,95	11,87
Sample Variance	216,53	86,37	2.457,76	17.772,77	1,48	0,89	140,98
Kurtosis	7,06	5,04	12,77	11,42	0,90	7,32	41,27
Skewness	2,25	1,64	3,14	3,02	0,79	2,37	5,63
Range	85	61	355,8	821	6,77	6	108
Minimum	1	13	1,2	30	0,96	0,3	1
Maximum	86	74	357	851	7,73	6,3	109
Sum	2.142	4.134	9.484,2	20.942	402,09	193,6	1.187
Count	135	135	135	135	135	135	131

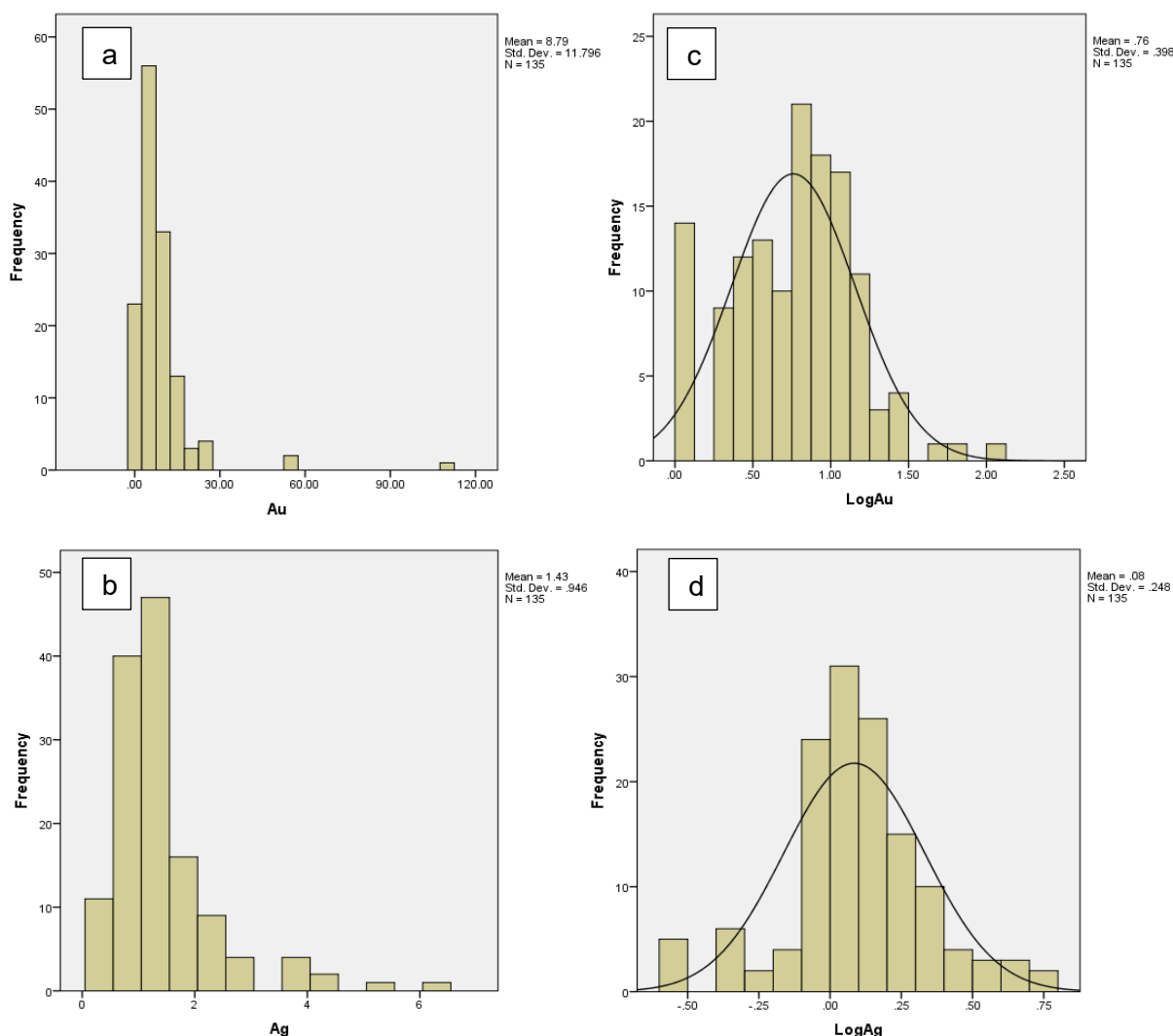
Catatan: Satuan kadar Fe dalam %, Au dalam ppb dan unsur lainnya dalam ppm



Gambar 6. Histogram dari a) unsur Cu, b) unsur Pb dan c) unsur Zn dari data asli geokimia; d) unsur Cu, e) unsur Pb dan f) unsur Zn dalam *log-transformed*



Gambar 7. Q-Q plot dari a) unsur Cu, b) unsur Pb dan c) unsur Zn dari data asli geokimia; d) unsur Cu, e) unsur Pb dan f) unsur Zn dalam *log-transformed*



Gambar 8. Histogram dari a) unsur Au, b) unsur Ag dari data asli geokimia; c) unsur Au, d) unsur Ag dalam *log-transformed*

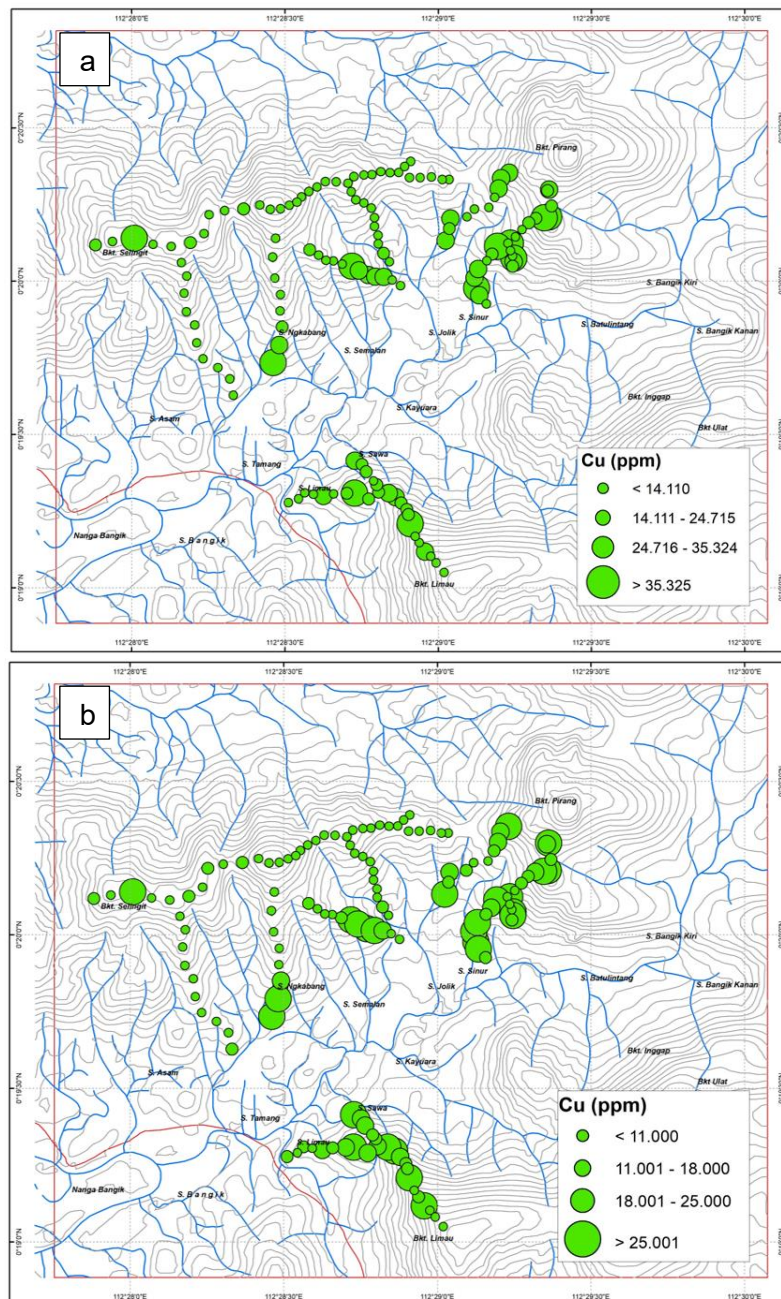
Penentuan anomali unsur ditentukan dari nilai *threshold*. Nilai *threshold* dihitung dengan rumus $mean+2SDEV$ dan $median+2MAD$ untuk masing-masing data asli maupun yang sudah ditransformasikan dari setiap unsur (Tabel 2). Untuk nilai *threshold* dari data asli dengan perhitungan $mean+2SDEV$ dari keseluruhan unsur nilainya lebih tinggi dibandingkan nilai *threshold* dengan metode perhitungan $median+2MAD$, kecuali untuk unsur Ag yang relatif lebih rendah (Gambar 9). Nilai *threshold* unsur Ag dari data asli dengan perhitungan $mean+2SDEV$ sebesar 2,199 ppm dan nilai maksimum sebesar 6,3 ppm sehingga metode perhitungan ini menghasilkan anomali. Sementara itu, perhitungan nilai *threshold* dengan

perhitungan $median+2MAD$ nilainya lebih besar dibandingkan nilai maksimum dari unsur Ag, sehingga tidak menghasilkan suatu nilai anomali. Selain itu, nilai *threshold* dari *log-transformed data* dari perhitungan dengan metode $mean+2SDEV$ terhadap keseluruhan unsur lebih tinggi dibandingkan nilai *threshold log-transformed data* dari metode perhitungan $median+2MAD$ (Gambar 10).

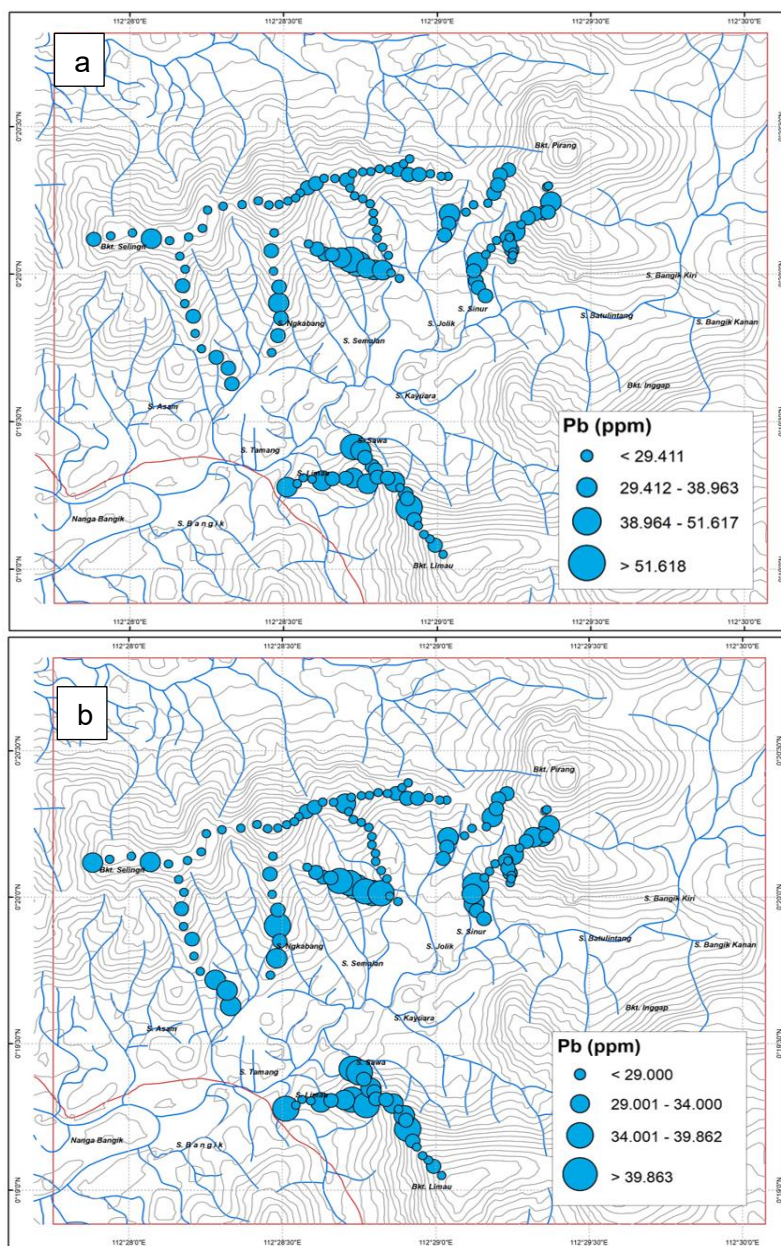
Dengan perhitungan nilai *threshold* tersebut dapat dilakukan delineasi daerah anomali. Seperti daerah anomali unsur Cu terdapat di daerah Bukit Pirang, Bukit Empaja dan Bukit Limau. Sedangkan daerah anomali unsur Pb terdapat di daerah Bukit Pirang dan Bukit Limau.

Tabel 2. Rekapitulasi nilai *background* dan *threshold* dari data geokimia tanah (*background*=mean, *threshold*=mean+2 sdev dan *median*+2 MAD)

No	Unsur	Background	Threshold			
			Mean + 2 SDEV		Median + 2 MAD	
			Asli	anti-log 10	Asli	anti-log 10
1	Cu	15,867	35,324	62,195	25,000	53,240
2	Pb	30,622	43,059	51,617	39,000	39,862
3	Zn	70,253	112,606	200,083	91,000	100,158
4	Mn	155,126	247,884	444,048	207,000	276,982
5	Fe	2,978	5,143	6,350	4,520	5,237
6	Ag	1,434	2,199	3,802	7,200	2,133
7	Au	9,61	16,113	35,104	12,000	16,667



Gambar 9. Peta sebaran dan anomali unsur Cu dengan metode perhitungan nilai *threshold* a) *mean*+2*SDEV* dan b) *median*+2*MAD* pada data asli

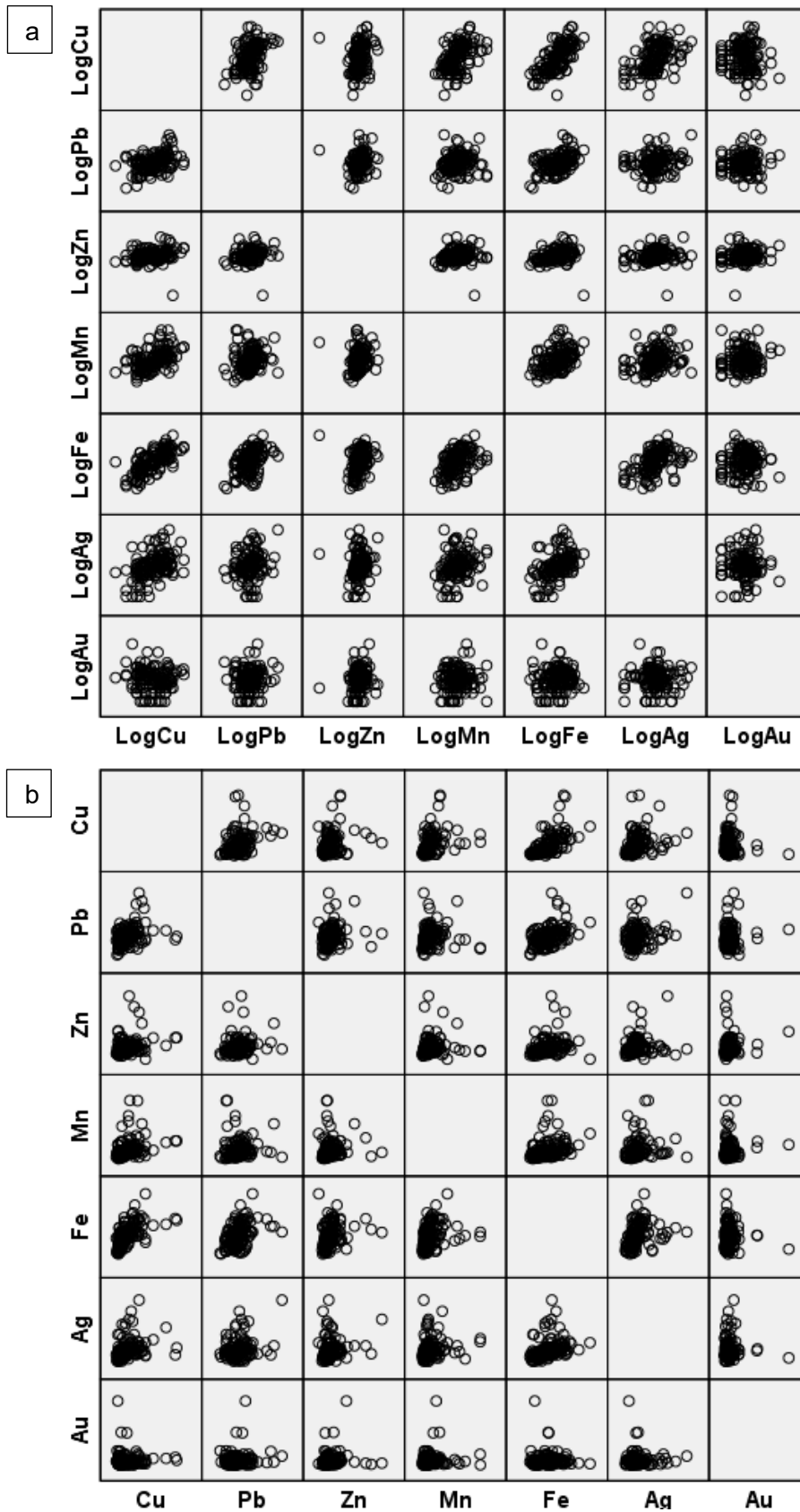


Gambar 10. Peta sebaran dan anomali unsur Pb dengan metode perhitungan nilai *threshold* a) $mean+2SDEV$ dan b) $median+2MAD$ pada *log-transformed data*

Scatterplot dapat berguna secara visual untuk mengetahui hubungan antar unsur. *Scatterplot* dari data dengan distribusi normal (simetri) atau yang mendekati normal akan optimal dalam analisis hubungan antar unsur secara visual (Carranza, 2008). *Scatterplot* pada Gambar 11 menunjukkan bahwa unsur-unsur dari data geokimia tanah daerah penyelidikan mempunyai hubungan yang positif. Interpretasi visual dari *scatterplot* dapat ditambahkan dengan nilai dari koefisien korelasi dari dua unsur (Tabel 3).

Dari koefisien korelasi tersebut menunjukkan bahwa setiap unsur memiliki korelasi yang positif. Nilai koefisien korelasi yang paling kuat adalah koefisien korelasi antara unsur Cu dengan Fe.

Analisis multivariat dilakukan untuk mengetahui korelasi antar unsur dan faktor analisis menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *varimax rotation* (Tabel 4). Hasil analisis faktor menunjukkan adanya tiga kelompok asosiasi unsur.



Tabel 3. Korelasi koefisien dari *log-transformed* data geokimia tanah Daerah Nanga Bangik

	LogCu	LogPb	LogZn	LogMn	LogFe	LogAg	LogAu
LogCu	1						
LogPb	0,437423	1					
LogZn	0,198827	0,191565	1				
LogMn	0,48802	0,178097	0,116687	1			
LogFe	0,713875	0,459044	0,20647	0,41457	1		
LogAg	0,438402	0,190026	0,142174	0,264737	0,486882	1	
LogAu	0,016194	0,114648	0,141937	0,114246	0,094853	0,014549	1

Tabel 4. Model ekstraksi: *Principal Component Analysis (PCA)* dan *varimax rotation*

Unsur	Faktor 1	Faktor 2
Pb	0,761	0,0723
Fe	0,619	0,540
Zn	0,593	-0,066
Ag	0,543	0,214
Mn	-0,117	0,886
Cu	0,521	0,648
Eigen values	2,442	1,002
% of Variance	40,707	16,706
% cumulative	40,707	57,414

Faktor 1: Pb-Fe-Zn-Ag

Faktor 1 mempunyai nilai 40,707% dari total varian data. Faktor ini kemungkinan dikontrol oleh adanya mineralisasi sulfida. Unsur Fe umumnya berasosiasi dengan batuan mafik yang terrepresentasikan di daerah penyelidikan pada pelapukan dari batuan tersebut. Unsur Pb mempunyai nilai *loading* 0,761 dari kadar unsur Pb. Unsur Fe mempunyai nilai *loading* 0,619, Zn (0,593) dan Ag (0,543) dari kadar setiap unsurnya.

Dari hasil analisis laboratorium, hasil analisis mineragrafi teridentifikasi mineral sfalerit dan mineral sulfida lainnya yang terdapat di daerah Bukit Empajak-Pirang. Analisis mineralogi butir dari sampel *pan concentrate* di daerah Sungai Sawa Bukit Limau juga menunjukkan kehadiran perak (Gambar 12).

Faktor 2: Mn-Cu

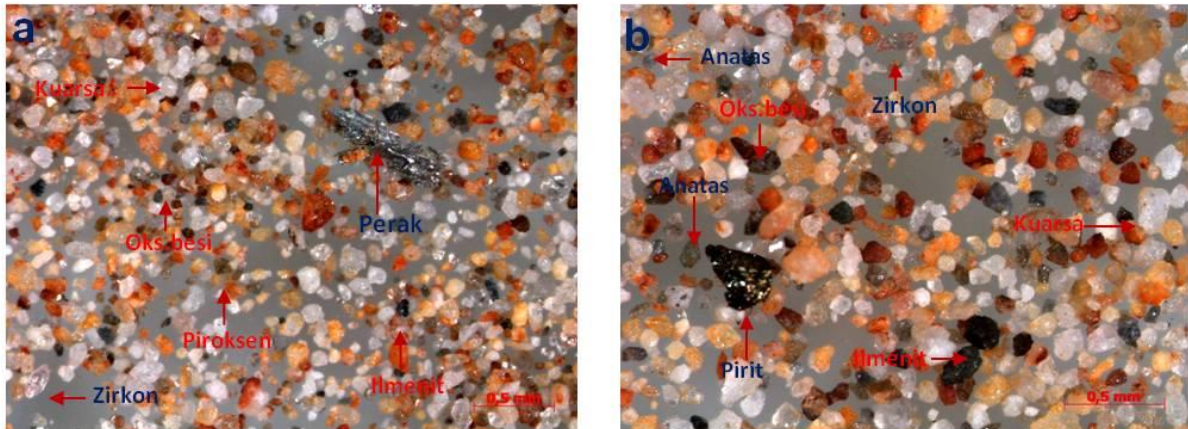
Faktor 2 mempunyai nilai total varian data 16,706 %. Mn pada umumnya terbentuk

sebagai oksida pada tanah lateritik dengan konsentrasinya lebih tinggi dari unsur lainnya. Faktor ini ada kemungkinan dikontrol oleh mineralisasi sulfida minor. Mn dan Cu masing-masing mempunyai nilai *loading* 0,886 dan 0,648.

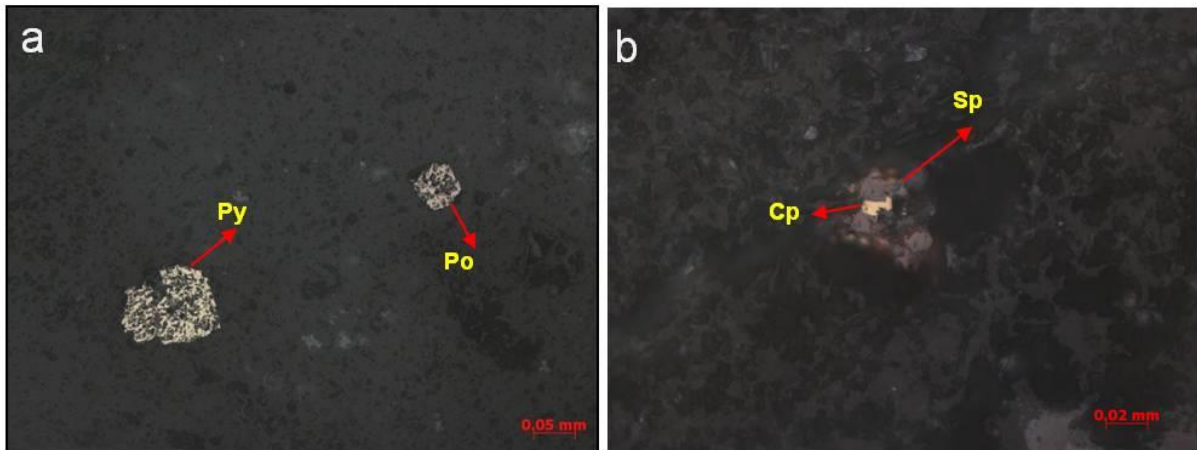
Faktor 2 ini dicirikan dengan kehadiran mineral-mineral sulfida seperti kehadiran pirit, kalkopirit, sfalerit dan pirhotit. Mineral-mineral tersebut teridentifikasi dari sampel batuan yang terdapat di daerah Bukit Pirang (Gambar 13).

Faktor 3 : Au

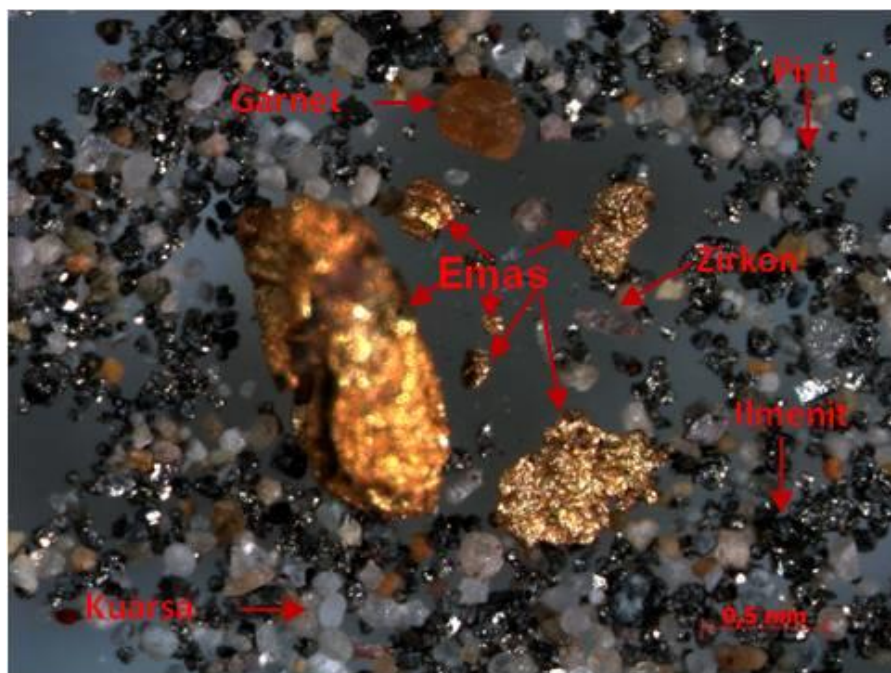
Faktor 3 berupa unsur tunggal yaitu Au, hal ini dikarenakan nilai korelasi unsur Au relatif kecil sehingga tidak memiliki korelasi dengan unsur lainnya. Diperkirakan pola dispersi Au berbeda dengan unsur lainnya. Kehadiran Au teridentifikasi dari konsentrat dulang yang diambil di daerah Sungai Jolik (Gambar 14).



Gambar 12. Kehadiran perak pada sampel *pan concentrate*



Gambar 13. Fotomikrograf: a) Pirhotit (Po) dan pirit (Py) pada massa batuan.
b) Pirhotit (Po) dan pirit (Py) pada massa batuan



Gambar 14. Kehadiran Au (emas) pada sampel *pan concentrate*

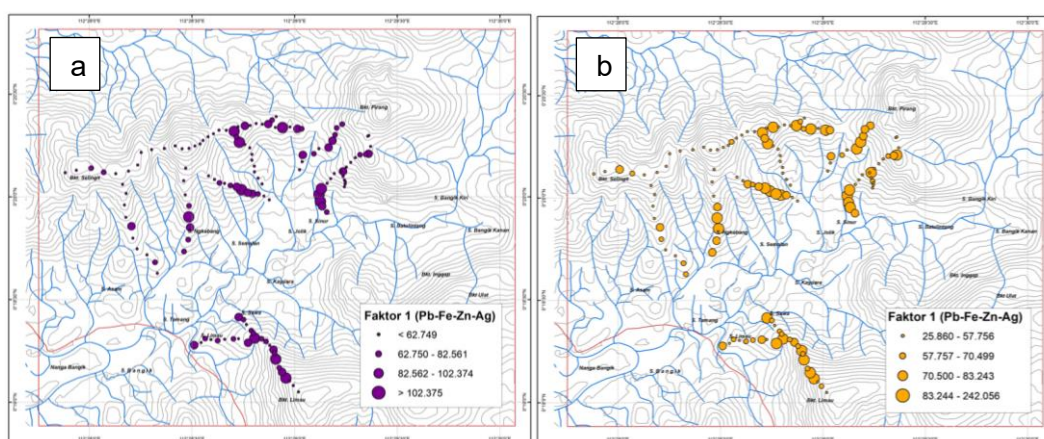
Analisis korelasi antar unsur dengan metode faktor analisis, didapat 3 faktor, diantaranya faktor 1 (Pb-Fe-Zn-Ag), faktor 2 (Mn-Cu) dan faktor 3 (Au). Ketiga faktor ini ditafsirkan dikontrol oleh batuan, mineralisasi dan pelapukan serta pola dispersi. Adanya intrusi diorit menyebabkan terjadinya proses hidrotermal yang ditandai oleh zona ubahan argilik dan silisifikasi. Mineralisasi dicirikan dengan hadirnya mineral-mineral

sulfida berupa pirit, kalkopirit dan sfalerit. Berdasarkan ketiga faktor analisis tersebut di atas dengan nilai-nilai *loadings* setiap unsur dapat menentukan daerah anomali. Penentuan daerah anomali dilakukan berdasarkan nilai *threshold* yang dihitung dari masing-masing faktor analisis (Tabel 5). Distribusi spasial dari ketiga faktor analisis tergambarkan pada peta sebaran dan anomali masing-masing faktor (Gambar 15, 16 dan 17).

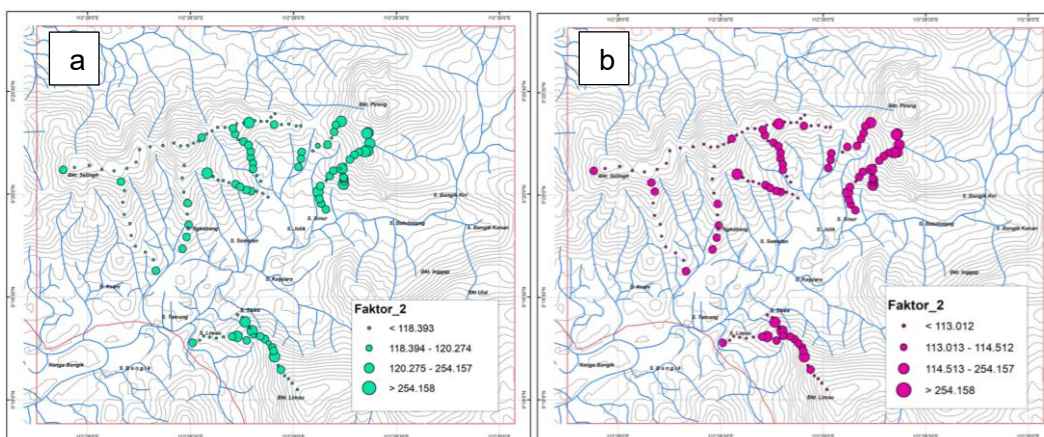
Tabel 5. Nilai *threshold* dari masing-masing faktor

No	Komponen	Background	Threshold			
			Mean + 2 SDEV		Median + 2 MAD	
			Asli	anti-log 10	Asli	anti-log 10
1	Faktor 1 (Pb-Fe-Zn-Ag)	67,586	102.374	132.392	83.243	90.694
2	Faktor 2 (Mn-Cu)	147,723	250.217	419.013	197.884	254.157
3	Faktor 3 (Au)	9,61	16,113	35,104	12,000	16,667

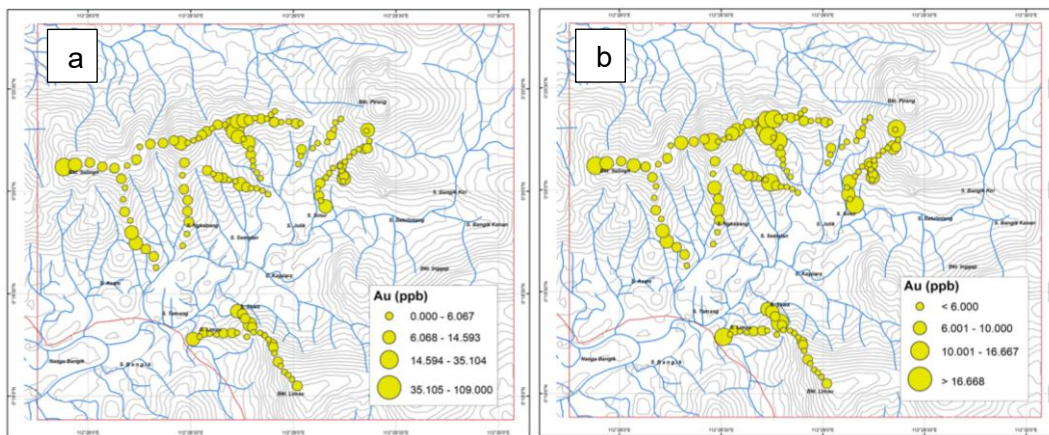
(Faktor1= 0.761Pb+0.619Fe+0.593Zn+0.543Ag dan Faktor2=0.886Mn+0.648Cu)



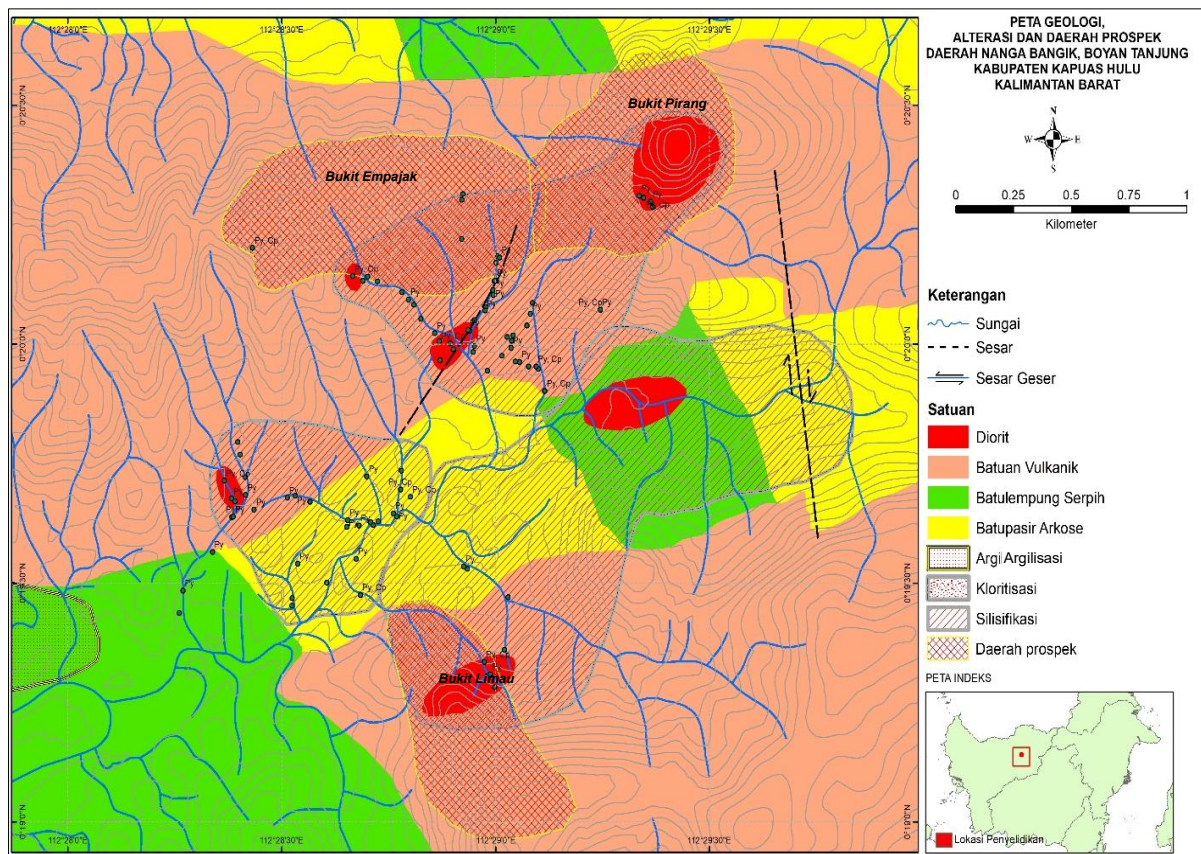
Gambar 15. Peta sebaran dan anomali Faktor 1 (Pb-Fe-Zn-Ag) dengan metode perhitungan nilai *threshold* a) *mean*+2*SDEV* dan b) *median*+2*MAD* pada data asli



Gambar 16. Peta sebaran dan anomali Faktor 2 (Mn-Cu) dengan metode perhitungan nilai *threshold* a) *mean*+2*SDEV* dan b) *median*+2*MAD* pada *log-transformed* data



Gambar 17. Peta sebaran dan anomali Faktor 3 (Au) dengan metode perhitungan nilai *threshold* a) *mean+2SDEV* dan b) *median+2MAD* pada *log-transformed* data



Gambar 18. Peta area prospek daerah penyelidikan

Berdasarkan kompilasi dari perhitungan *threshold*, korelasi univariat dan multivariat serta kenampakan di lapangan didapat tiga daerah prospek yang terdapat di Bukit Empajak, Bukit Pirang dan Bukit Limau (Gambar 18). Bukit Empajak dan Bukit Limau lebih di dominasi oleh asosiasi unsur Pb-Fe-Zn-Ag. Bukit Pirang didominasi oleh asosiasi unsur Mn-Cu. Sedangkan untuk

unsur Au yang memiliki nilai kadar maksimum berada pada Bukit Empajak atau ujung Sungai Jolik pada cabang kiri.

KESIMPULAN

Korelasi antar unsur di daerah Nanga Bangik terbagi menjadi tiga asosiasi unsur yaitu Pb-Fe-Zn-Ag, Mn-Cu, dan Au.

Berdasarkan perhitungan nilai *threshold* yang dilakukan dengan dua metode statistik yang berbeda, didapatkan daerah anomali yang juga merupakan daerah prospek mineralisasi logam di Bukit Empajak, Bukit Pirang dan Bukit Limau. Indikasi mineralisasi di Bukit Empajak dan Bukit Limau lebih didominasi oleh asosiasi unsur Pb-Fe-Zn-Ag. Keterdapatan nilai kadar maksimum Au dan kehadiran emas pada konsentrat dulang dari Sungai Jolik mengkonfirmasi prospek emas berada pada Bukit Empajak. Sementara itu di Bukit Pirang didominasi oleh asosiasi unsur Mn-Cu.

DAFTAR PUSTAKA

- Bradshaw, P.M.D., Lett, R.E.W. 1980. *Geochemical exploration for uranium using soils*. *J. Geochem. Explor.* 13, 305–319.
- Carranza, E.J.M. 2008. *Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS. Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, vol. 11. Elsevier, Amsterdam.
- Carroll, J.B. 1953. *An analytic solution for approximating simple structure in factor analysis*. *Psychometrika* 18, 23–38.
- Closs LG, Nichol I. 1975. *The role of factor and regression analysis in the interpretation of geochemical reconnaissance data*. *Can J of Earth Sci* 12: 1316-1330.
- Garrett RG, Kane VE, Zeigler K. 1980. *The management and analysis of regional geochemical data*. *J Geochem Explore* 13:115-152.
- Grunsky, E.C. 2010. *The interpretation of geochemical survey data*. *Geochem. Explor. Environ. Anal.* 10, 27–74.
- Harman, H.H. 1976. *Modern Factor Analysis*, 3rd edition. University of Chicago Press, Chicago.
- Hawkes, H.E., Webb, J.S. 1962. *Geochemistry in Mineral Exploration*. New York 7 Harper.
- Hendrickson, A.E., White, P.O. 1964. *PROMAX: a quick method for rotation to oblique simple structure*. *Br. J. Stat. Psychol.* 17, 65–70.
- Joseph, I., Bhaumik, B.K. 1997. *Improved estimation of the Box-Cox transform parameter and its application to hydrogeochemical data*. *Mathematical Geology* 29(8): 963–976.
- Kaiser, H.F. 1958. *The Varimax criterion for analytic rotation in factor analysis*. *Psychometrika* 23, 187–200.
- Kisman, Bambang Pardiarto. 2015. *Eksplorasi Umum Emas dan Mineral Ikutannya di Kecamatan Boyan Tanjung Kabupaten Kapuas Hulu Provinsi Kalimantan Barat*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.
- Kisman, Ernowo, Sulaeman. 2018. *Prospeksi Lanjut Mineral Logam Di Daerah Nanga Bangik dan Sekitarnya Kecamatan Boyan Tanjung Kabupaten Kapuas Hulu Provinsi Kalimantan Barat*. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Bandung.
- Laurent M, Robin OP, Jean-Pierre T. 2010. *Multivariate statistical analysis of trace elements in soil on Spoil Heap, South East Congo-Brazzaville*. *African Journal of Basic and Applied Sciences* 2: 81-88.
- Miesch, A.T. 1977. *Log-transformation in geochemistry*. *Mathematical Geology* 9(2): 191-194.
- Pieters, P.E., Surono dan Y. Noya, T.O. 1993. *Peta Geologi Lembar Putissibau, Kalimantan, skala 1 : 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Reimann, C., Filzmoser, P. 1999. *Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data*. *Environmental Geology* 39(9): 1001-1014.
- Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R.G. 2002. *Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities*. *Appl. Geochem.* 17, 185–206.

Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R.G. 2005. *Background and threshold: critical comparison of methods of determination*. *Sci. Total Environ.* 346, 1–16.

Rose, A. W., Hawkes, H. E., Webb, J. S. 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration*. 2nd edn. London: Academic Press.

Vistelius, A.B. 1960. *The skew frequency distributions and the fundamental law of the geochemical processes*. *Journal of Geology* 68(1):1-22.

Diterima	: 7 Oktober 2021
Direvisi	: 28 Oktober 2021
Disetujui	: 30 November 2021

**KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI CEBAKAN TEMBAGA
DI DAERAH SETELUK DAN SEKITARNYA,
KABUPATEN SUMBAWA BARAT, PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT**

***THE CHARACTERISTIC OF ALTERATION AND MINERALIZATION OF COPPER
DEPOSITS IN SETELUK AREA AND ITS SURROUNDING,
WEST SUMBAWA DISTRICT, WEST NUSA TENGGARA PROVINCE***

Bambang Nugroho Widi dan Edya Putra

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
nugrohowidibambang@gmail.com

ABSTRAK

Penyelidikan dilakukan dengan latar belakang adanya pertambangan emas rakyat di sekitar daerah penyelidikan. Tujuan kegiatan yaitu untuk mengetahui kemenerusan dan tipe mineralisasi yang sudah ditemukan sebelumnya di luar daerah penyelidikan. Metoda yang digunakan meliputi pemetaan geologi dan pemercontaan geokimia sedimen sungai, batuan dan konsentrat dulang. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Kimia dan Fisika PSDMBP meliputi analisis kimia metoda AAS, pemeriksaan petrografi, mineragrafi, mineralogi butir dan Spec-Terra. Mineralisasi di daerah Seteluk dan sekitarnya merupakan salah satu bentuk mineralisasi yang menarik terjadi pada batuan intrusi granodiorit, vulkanik dan batuan sedimen. Ada tiga bentuk indikasi mineralisasi yaitu; pertama, mineralisasi epitermal sulfidasi rendah, ditandai oleh adanya urat kuarsa menerobos zona argilik (ilit, monmorilonit, dan kaolinit) pada batupasir dengan asosiasi mineral nya kalkopirit, sfalerit, galena dan pirit. Kedua, mineralisasi epitermal sulfidasi tinggi ditandai oleh adanya silika masif dimana terdapat struktur *vuggy silica* setempat sulfur dengan mineral alterasi pirofilit, jarosit, dan sulfidanya pirit. Ketiga, indikasi porfiri diperkirakan terjadi pada granodiorit dengan ciri utama teralterasi epidot, klorit disertai *veinlet* dan bintik-bintik magnetit. Mineral logam yang teridentifikasi memiliki asosiasi magnetit, ilmenit, kalkopirit, galena, sfalerit, kovelit dan oksida besi. Hasil analisis kimia batuan menunjukkan kadar Au tertinggi 98 ppb; Cu 774 ppm, Pb 7993 ppm dan Zn 23007 ppm. Indikasi mineralisasi Au dan Cu juga diketahui dari hasil pendulangan berupa butiran emas dan kalkopirit dengan prosentase butiran kalkopirit mencapai 53%. Pola alterasi dan mineralisasi menunjukkan munculnya magnetit disertai ilmenit, kalkopirit dan pirit pada intrusi granodiorit diperkirakan merupakan zona potasik (?) kemudian ke arah luar zona silika, argilik lanjut, zona argilik dan terluar zona propilit. Wilayah ini diperkirakan merupakan sistim mineralisasi tipe porfiri (?) di bagian dalam, kemudian diikuti oleh mineralisasi epitermal sulfidasi tinggi dan kemudian sulfidasi rendah dengan pusat mineralisasi diperkirakan masih berada di bawah permukaan.

Kata kunci: Epitermal, sulfidasi tinggi, sulfidasi rendah, mineralisasi, alterasi, Seteluk, Sumbawa Barat

ABSTRACT

The research was conducted by the background of gold mining community around the research area. The purpose of the study was to know the continuity and type of mineralization that had been previously found outside the study area. The methods used include geological mapping and geochemical sampling of river sediments, rocks and pan concentrates. Laboratory analysis carried out at PSDMBP includes chemical analysis of the AAS method, petrographic examination, mineragraphy, grain mineralogy and Spec-Terra. Mineralization in the Seteluk area and its surroundings is one of the most interesting forms of mineralization occurring in intrusive granodiorite, volcanic and sedimentary rocks. There are

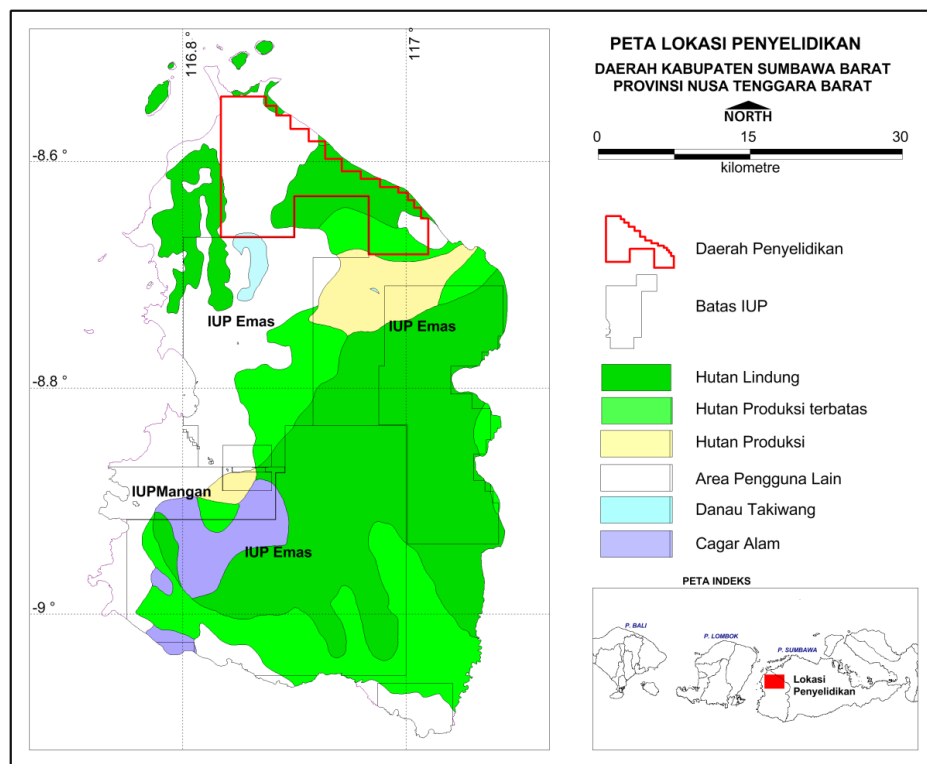
three forms of indication of mineralization, namely; Firstly is low sulfidation epithermal mineralization, characterized by the presence of quartz veins breaking through the argillic zone (illite, montmorillonite, and kaolinite) in the sandstone with mineral associations of chalcopryite, sphalerite, galena and pyrite. Both high sulfidation epithermal mineralizations are characterized by the presence of massive silica in which there is a localized vuggy silica structure of sulfur with alteration minerals of pyrophyllite, jarosite, and pyrite sulfide. The three porphyry indications are thought to occur in granodiorite with the main characteristics of epidote alteration, chlorite with veinlets and magnetite spots. The identified metallic minerals have associations of magnetite, ilmenite, chalcopryite, galena, sphalerite, covellite and iron oxide. The results of rock chemistry analysis showed the highest Au content was 98 ppb; Cu 774 ppm, Pb 7993 ppm and Zn 23007 ppm. Indications of Au and Cu mineralization are also known from panning results in the form of gold and chalcopryite grains with the percentage of chalcopryite grains reaching 53%. The alteration and mineralization pattern shows the appearance of magnetite with ilmenite, chalcopryite and pyrite in the granodiorite intrusion which is estimated to be a potassic zone (?) then towards the outside of the silica zone, advanced argillic, argillic zone and the outermost propylite zone. This area is thought to be a porphyry (?) type mineralization system in the interior, followed by high sulfidation and then low sulfidation epithermal mineralization with mineralization centers estimated to be below the surface.

Keywords: Epithermal, high sulfidation, low sulfidation, mineralization, alteration, Seteluk, West Sumbawa

PENDAHULUAN

Daerah penyelidikan secara administratif berada di Rempe, Poto Tano, Brang Rea termasuk dalam Kecamatan Seteluk,

Kecamatan Poto Tano dan Kecamatan Brang Rea, Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi daerah penyelidikan

Daerah Rempe, Seteluk dan sekitarnya memiliki ciri geologi dan mineralisasi yang cukup beragam dimana mineralisasi secara umum diperkirakan terbentuk menjadi dua tipe mineralisasi. Pertama adalah tipe urat yang terdapat di beberapa lokasi dengan arah urat umum hampir utara-selatan dengan ketebalan antara 5 cm - 60 cm, terjadi pada batuan vulkanik dan sedimen (Mangga, S.A.,dkk., 1994). Beberapa wilayah di sekitarnya merupakan daerah mineralisasi yang cukup intensif bagian dari konsesi milik PT. Indotan, dimana di dalam wilayah tersebut terdapat banyak kegiatan tambang rakyat yang masih berlangsung sampai saat ini. Konsesi tambang resmi yang masih eksis adalah Tambang Cu-Au Batu Hijau yang terletak di wilayah bagian selatan. Sedangkan di sekitarnya terdapat beberapa kegiatan pertambangan emas rakyat seperti misalnya di Gunung Tonggo Loka, Sekongkang. Kegiatan tambang tidak hanya di bagian selatan, di wilayah utara pun marak terjadi tepatnya di Desa Lamunga, Kecamatan Taliwang.

Tipe mineralisasi emas yang terdapat di kedua daerah tersebut (Tonggo Loka dan Lamunga) adalah tipe urat. Hal tersebut sebagai alasan dilakukannya penyelidikan di wilayah Seteluk dan Pototano, dengan tujuan untuk mengetahui kemenerusan dan tipe mineralisasi di daerah penyelidikan.

METODOLOGI

Kegiatan penyelidikan dilakukan dengan cara pengamatan dan pemetaan geologi, lintasan sungai, punggungan dan jalan yang meliputi:

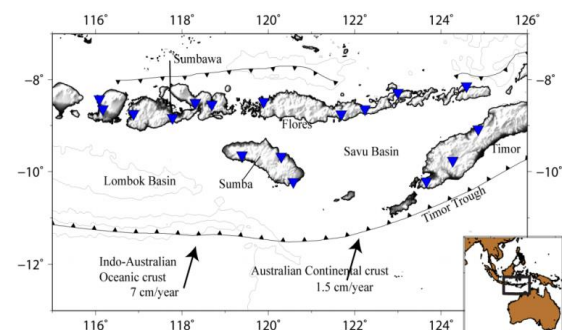
1. Pemetaan geologi dan alterasi skala 1:25.000.
2. Pemercontaan sedimen sungai, konsentrat dulang, dan batuan termineralisasi (*rock chip, float*).

Analisis laboratorium dilakukan di laboratorium fisika dan kimia Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) meliputi analisis kimia dengan metode *Atomic Absorption*

Spectrofotometry (AAS) untuk sampel batuan dan sedimen sungai. Untuk sampel batuan dilakukan juga pemeriksaan petrografi, mineragrafi, dan Spec-Terra. Sedangkan sampel konsentrat dulang dilakukan pemeriksaan mineralogi butir.

GEOLOGI REGIONAL

Pulau Sumbawa secara tektonik merupakan bagian dari Busur Sunda - Banda yang membentang dari Daerah Aceh hingga Kepulauan Banda dimana secara umum dicirikan oleh adanya jalur magmatik. Secara umum dalam Peta Tektonik Sunda Banda oleh Syuhada, dkk (2017), menunjukkan posisi Pulau Sumbawa diapit oleh sesar naik yang mengarah utara dan selatan. (Gambar2.)



Gambar 2. Peta tektonik Busur Sunda-Banda, Sumbawa terletak di atas sesar dan gunung api aktif (Syuhada dkk, 2017).

Stratigrafi

Geologi regional daerah Sumbawa Barat disusun oleh beberapa satuan batuan:

Satuan Breksi Tuf (Tmv):

Satuan ini terdiri dari breksi dan tuf, bersifat andesitik, dengan sisipan tuf pasir, tuf batuapung, dan batupasir tufan, setempat mengandung lahar, lava andesit dan basal. Setempat lava struktur bantal, terpropiltkan, termineralkan dan terkarsikan, serta terlihat adanya urat kuarsa dan kalsit. Umur dari satuan ini diperkirakan adalah Miosen, (Kadar 1972). Satuan Breksi-tuf secara regional menjemari dengan satuan batupasir tufan (Tms) dan juga satuan batugamping (Tml).

Batugamping Koral (Tmcl) :

Batugamping koral dan batugamping mengandung koral, berlapis baik; pada bagian bawah rijang. Di daerah Brang Beh dan Brang Ledeng, ditemukan bongkah rijang dan batugamping terkarsikan yang berasal dari satuan ini. Kadar (1972.), melaporkan terdapat fosil *ledidocyclina angulosa*, *Lepidocyclina Sumatransis*, *Lepidocyclina sp.*, *Miogyopsina.*, dan *Globigerinoides sp* berumur Miosen Tengah. Satuan ini menindih tidak selaras batuan sedimen berumur Miosen Awal dan dapat dibandingkan dengan Formasi Waihekan dalam peta geologi Lembar Ruteng (Koesoemadinata dkk., 1994).

Terobosan (Tmi) :

Menurut Sudrajat dkk, (1998), secara regional batuan intrusi yang terdapat di sekitar daerah penyelidikan adalah berupa batuan intrusi diorit. Batuan intrusi ini tersebar dibagian utara daerah penyelidikan. Batuan intrusi diorit menerobos satuan batuan vulkanik baik lava andesit, breksi vulkanik maupun

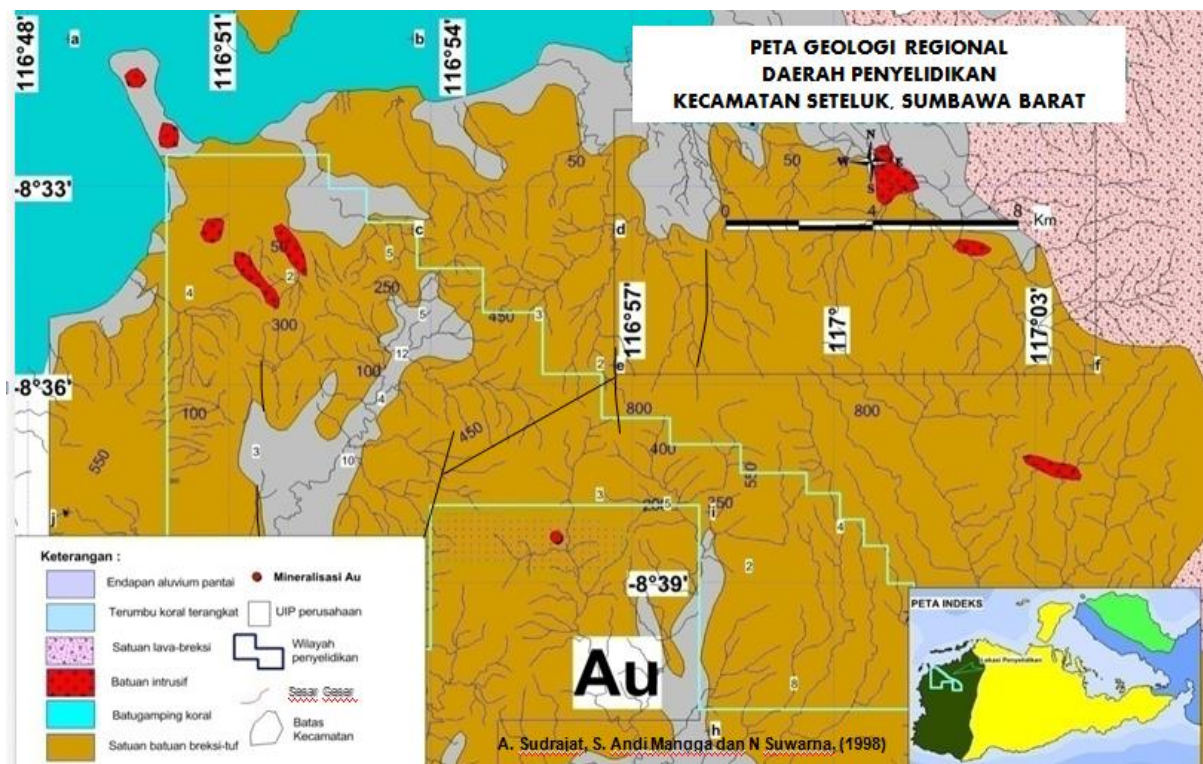
batuan tuff di mana di beberapa tempat dari intrusi ini telah mengakibatkan terjadi ubahan dan mineralisasi.

Endapan aluvium

Merupakan endapan termuda, terbentuk dari hasil disintegrasi batuan yang ada sebelumnya yang membentuk endapan baru. Kelompok batuan ini menempati wilayah terutama di bagian daerah pedataran seperti wilayah bagian barat.

Struktur geologi

Struktur geologi regional yang terdapat di daerah penyelidikan adalah berupa sesar geser yang berarah mendekati utara-selatan. dan timurlaut-baratdaya. Struktur tersebut terjadi pada satuan batuan vulkanik (breksi tuff), yang diperkirakan menjadi salah satu penyebab terjadinya mineralisasi. Berkaitan dengan hal tersebut di atas maka gambaran geologi regional, kaitannya dengan sebaran litologi dan pola struktur yang terdapat di daerah penyelidikan secara lebih jelas, di dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Geologi Regional daerah penyelidikan, Sumbawa Barat (Sudrajat, A., dkk., 1998)

GEOLOGI DAERAH PENYELIDIKAN

Stratigrafi

Hasil pengamatan di lapangan diketahui litologi daerah penyelidikan dapat dibagi menjadi enam satuan batuan dengan urutan dari yang berumur tua hingga muda adalah sebagai berikut:

- Satuan Batupasir Karbonatan
- Satuan Lava Andesit
- Satuan Batuan Intrusi Granodiorit
- Satuan Breksi Polimik
- Satuan Breksi Monomik
- Satuan Batugamping
- Aluvium

Satuan Batupasir Karbonatan

Secara megaskopis warna abu-abu muda, berbutir halus-kasar, bersifat karbonatan. Pada bagian bawah, struktur massif, kearah atas berubah, struktur perlapisan. Struktur massif memiliki ketebalan lebih dari 1 m. Sedangkan pada batu pasir dengan tekstur berlapis memiliki ketebalan lebih tipis (50 cm), dengan arah perlapisan N214°E/33°. Setempat dalam satuan batupasir karbonatan ini terdapat batulempung.

Satuan Lava Andesit

Pada beberapa lokasi intrusi dengan jenis batumannya granodiorit, Umumnya berwarna kelabu kehijauan dan hijau; setempat lava struktur vesikuler terpropilitkan. Singkapan lava andesit di cabang kanan Sungai Lamuntet, masuk wilayah Kecamatan Brang Rea.

Lava andesit memiliki penyebaran cukup luas terutama di bagian barat dan barat laut daerah kerja. Penyebarannya mencakup Desa Rempe, Seteluk dan Senayan, sebagian Desa Mantar dan Lamusung.

Satuan Lava andesit secara tidak selaras menutupi satuan batupasir karbonatan dan di bagian atas ditutupi oleh breksi andesit dan breksi polimik. Sebagian mengalami alterasi berupa argilik, dan propilit.

Satuan Batuan Intrusi Granodiorit

Berdasarkan pengamatan lapangan dijumpai beberapa lokasi intrusi, jenis batuan intrusinya adalah granodiorit. Intrusi granodiorit ini dijumpai di beberapa lokasi, diantaranya di lokasi, TLW20M06R, TLW20M07R dan lokasi TLW20M08R (Gambar 4).

Secara megaskopis granodiorit ini berwarna abu-abu keputihan, tekstur faneritik, mineral penyusun feldspar, plagioklas, amfibol dan piroksin, kuarsa dan mineral opak. Sebagian mengalami alterasi berupa propilit dengan keterdapatan mineral epidot dan klorit dan magnetit. Selain alterasi propilit, nampak sebagian mengalami alterasi argilik.



Gambar 4. Singkapan intrusi granodiorit di TLW20M06R sudah mengalami ubahan.

Satuan Breksi Polimik

Breksi polimik merupakan jenis breksi dimana komponen pembentuknya berasal dari berbagai jenis batuan, seperti tuff, diorit, andesit, batuan teralterasi dan jenis batuan lain. Secara megaskopis breksi polimik singkapannya di daerah penyelidikan dapat dilihat pada (Gambar 5).



Gambar 5. Singkapan breksi polimik (TLW20M027R)

Pembentukan breksi polimik diperkirakan pada lingkungan laut, yang ditandai dengan fragmen breksi berupa batugamping dan andesit. Penyebaran breksi polimik terdapat dibagian utara barat daerah penyelidikan.

Satuan Breksi Monomik

Satuan batuan ini secara megaskopis disusun oleh komponen batuan sejenis dan bentuk relatif meruncing dengan semen (matriks) terdiri dari masa batuan bersifat andesitik hingga basaltik.

Satuan breksi monomik tersebar terutama di bagian timur daerah penyelidikan utamanya di perbukitan tinggi seperti di daerah Lamuntet, Bangkat Munte dan Rarak Ronges. Pada umumnya satuan batuan ini menempati bagian atas, yang secara stratigrafi menutupi satuan batuan andesit. Secara regional diperkirakan berumur Miosen hingga Pliosen.

Satuan Batugamping

Ada dua jenis batugamping di daerah penyelidikan. Pertama batugamping berlapis dan yang kedua batugamping terumbu. Batugamping berlapis, ditemukan di daerah Lamuntet, berwarna abu abu hingga abu-abu kecoklatan,

pasiran, terdapat perlapisan dengan arah N 120°E/25°, ketebalan antara 10 cm hingga mencapai 1 m.

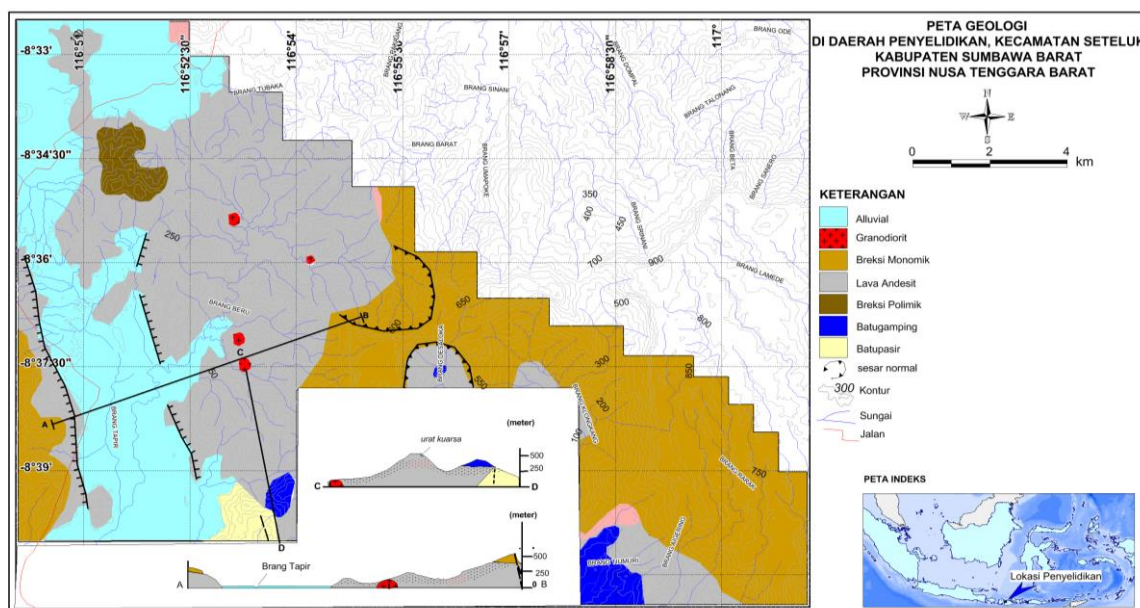
Batugamping terumbu terletak tidak jauh dari batugamping berlapis. Posisinya di atas batulempung, sedangkan batulempung merupakan bagian dari satuan batupasir karbonatan. Aluvium

Satuan ini merupakan endapan termuda terbentuk dari hasil pengendapan material sebelumnya yang membentuk endapan baru. Endapan aluvium menempati wilayah bagian barat yang merupakan daerah pedataran, menjalur dari utara ke selatan, dimana sebagian besar telah menjadi areal pesawahan

Struktur geologi

Struktur yang berkembang terdiri dari *fracture*, dan kelurusan, di bagian baratnya dan sesar normal dalam bentuk sesar melingkar (*Circular structure*).

Secara keseluruhan gambaran sebaran batuan serta urutan pengendapan yang ada di daerah penyelidikan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta Geologi Daerah Seteluk, Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat

ALTERASI DAN MINERALISASI

Alterasi

Alterasi umumnya terjadi pada batuan vulkanik, intrusi dan setempat batupasir. Alterasi terjadi pada andesit, breksi polimik, dan batupasir, berwarna abu-abu keputihan hingga putih kusam, hingga kecoklatan, dengan mineral ubahan yang dijumpai adalah berupa lempung diantaranya kaolin, klorit, epidot disertai pirit halus. Dari mineral *assemblages*nya merupakan bagian alterasi argilik, argilik lanjut, propilit dan silika. Alterasi argilik berwarna abu-abu keputihan hingga kecoklatan {Gambar 7}



Gambar 7. Singkapan lava andesit dengan alterasi argilik (TLW20M36)

Zona argilik, penyebarannya cukup luas, menempati daerah bagian barat dan bagian utara. Alterasi argilik lanjut, sepiintas mirip argilik bedanya berwarna agak kekuningan, banyak mengandung pirit, setempat mengandung sulfur, sebagian berwarna merah bata disertai struktur *stockwork* (Gambar 8).



Gambar 8. Singkapan batuan lava andesit dengan alterasi argilik lanjut lokasi TLW20M05 R. (tanda panah adalah sulfur)

Alterasi propilit, terjadi pada lava andesit, berwarna abu-abu - abu-abu kehijauan. Mineral alterasi berupa epidot, klorit, dan pirit halus tersebar (Gambar 9).



Gambar 9. Singkapan lava alterasi propilit di wilayah penyelidikan. (TLW20M19R)

Penyebaran alterasi propilit tidak luas terutama disekitar lokasi (TLW20M19R) dan (TLW20M20R) Bukit Lamusung.

Selain alterasi propilit dan argilik dijumpai juga alterasi silika, terjadi pada andesit, membentuk silika massif, warna abu-abu cerah-putih kekuningan, setempat kecoklatan (oksidasi), dan mengersik setempat terdapat struktur *vuggy silika* mengandung pirit halus (Gambar10). Kehadiran silika yang bersifat masif secara dominan menjadi ciri utama zona silika. Sebarannya yaitu di Bukit Laheka, daerah sebelah utara Desa Rempe



Gambar 10. Bongkah batuan silika insitu lokasi TLW20M11.R, Bukit Laheka, Rempe

Selain alterasi tersebut di atas, juga dijumpai alterasi potasik pada granodiorit (TLW20M06 R dan TLW20M 07R) yang

dicirikan oleh hadirnya *veinlet* dan bintik-bintik magnetit, klorit dan epidot. Epidot pada batuan tersebut, berwarna abu-abu hingga abu-abu kecoklatan (Gambar 11).



Gambar 11. Singkapan alterasi potasik pada granodiorit dengan sifat magnetik yang tinggi.

Mineralisasi

Mineralisasi ditandai salah satunya oleh adanya urat kuarsa mengandung mineral sulfida yang menerobos batuan andesit maupun batupasir. Singkapan urat kuarsa dijumpai di beberapa lokasi diantaranya di TLW20M01R, wilayah barat bagian selatan, memiliki arah N162°E/85° dengan ketebalan zona urat mencapai sekitar 60 cm (Gambar 12).



Gambar 12. Singkapan zona urat kuarsa mengandung sulfida di TLW20M01R

Secara megaskopis urat kuarsa berwarna putih kusam, struktur laminasi, *banded*, mineral sulfidanya kalkopirit, sfalerit, galena dan pirit (Gambar 13).

Selain itu mineralisasi juga terjadi pada intrusi granodiorit berupa disseminasi

mineral sulfida (pirit dan kalkopirit) dan oksida (magnetit) pada batuan tersebut.



Gambar 13. Singkapan urat kuarsa dalam granodiorit mengandung mineral sulfida (TLW20M01R)

Di lokasi lain yaitu di bagian utara wilayah penyelidikan (TLW20M19R) ditemukan urat kuarsa menerobos batuan andesit teragilkan kuat. Urat kuarsa memiliki arah N. 170°E/75°, ketebalan 10 cm. Secara megaskopis berwarna putih kekuningan hingga kecoklatan, sebagian berwarna coklat tua (oksidasi), struktur laminasi dan massif. Mineral sulfida dalam urat pirit, sfalerit, kalkopirit, galena dan *hydrous Iron Oxide* (Gambar 14).



Gambar 14. Singkapan urat kuarsa menerobos batuan andesit teralterasi mengandung pirit halus, lokasi TLW20M19 R

Adapun mineralisasi lainnya, terjadi pada batuan intrusi granodiorit teralterasi dijumpai di TLW20M06R dan TLW20M07R. Batuan intrusi ini berwarna abu-abu keputihan, mengandung bintik-

bintik hitam (magnetit) dan mineral sulfidanya pirit tersebar dalam batuan, disertai klorit dan epidot (Gambar 15).

Kehadiran magnetit yang cukup signifikan dalam batuan intrusi tersebut membentuk urat-urat halus maupun berbentuk bintik-bintik hitam, diduga mineralisasi terjadi pada temperatur tinggi.

Bentuk mineralisasi lainnya yaitu mineralisasi yang terdapat dalam silika masif berupa pirit halus. Ciri mineralisasi di lingkungan silika adalah adanya *vuggy silica*. Keterdapatan dan sebaran mineralisasi tersebut tidak luas bersifat lokal berbatasan dengan zona argilik lanjut. Mineralisasi ini diperkirakan merupakan tipe epitermal sulfida tinggi (Gambar 16).

HASIL ANALISIS LABORATORIUM

Hasil analisis kimia batuan terhadap sejumlah sampel batuan termineralisasi di beberapa lokasi menunjukkan kadar tembaga dan logam dasar lainnya (galena dan sfalerit) tertinggi terdapat pada TLW20M01R2, dengan kadar Cu mencapai 774 ppm, Pb 7993 ppm, dan Zn 23007 ppm. Adapun Au mencapai 98 ppb di TLW20M18SR.

Sebanyak 51 sampel sedimen sungai di analisis untuk unsur Au, Ag, Cu, Pb Zn, As, Sb, Bi dan Mn yang telah diolah secara statistik (Tabel.1). Dari tabel tersebut dapat diketahui nilai rata-rata,

maksimum dan minimum, dari masing-masing unsur yang merupakan cerminan unsur berasal dari wilayah tersebut dan digambarkan dalam bentuk peta sebaran geokimia unsur Au dan Cu (Gambar 17 dan Gambar 18).



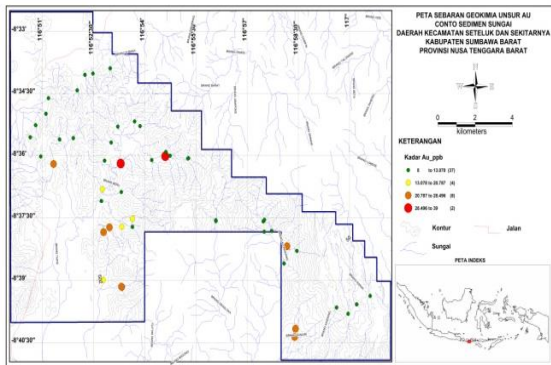
Gambar 15. Singkapan granodiorit teralterasi mengandung magnetit (*veinlet* dan *spotted*)



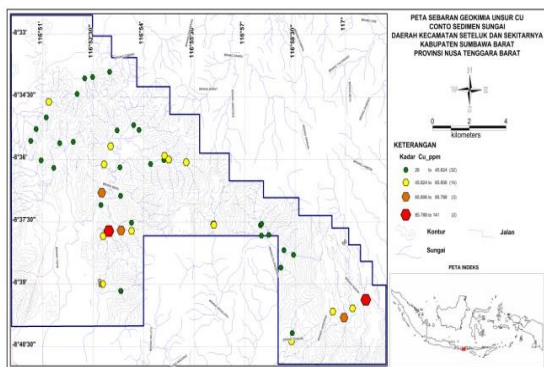
Gambar 16. Bongkah silika masif dengan struktur *vuggy silica*. Lokasi TLW20M11SR

Tabel 1. Hasil perhitungan statistik sampel sedimen sungai dari daerah penyelidikan

	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Sb_ppm	Bi_ppm	Mn_ppm
Mean	13,078	2,804	45,824	50,882	220,137	2,078	3,510	46,784	1387,412
Standard Error	1,080	0,119	2,798	4,454	11,720	0,078	0,293	1,913	51,351
Median	9	3	40	41	203	2	3	44	1311
Mode	8	3	32	44	128	2	2	31	#N/A
Standard Deviation	7,709	0,849	19,982	31,807	83,696	0,560	2,092	13,659	366,720
Sample Variance	59,434	0,721	399,268	1011,666	7005,081	0,314	4,375	186,573	134483,207
Kurtosis	2,383	3,158	9,540	6,609	0,154	51	1,125	-0,308	0,919
Skewness	1,711	1,415	2,561	2,597	0,764	7,141	1,439	0,525	0,545
Range	31	4	115	145	339	4	7	58	1912
Minimum	8	2	26	27	101	2	2	27	554
Maximum	39	6	141	172	440	6	9	85	2466
Sum	667	143	2337	2595	11227	106	179	2386	70758
Count	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Largest(1)	39	6	141	172	440	6	9	85	2466
Smallest(1)	8	2	26	27	101	2	2	27	554
Confidence Level(95,C	2,168	0,239	5,620	8,946	23,540	0,158	0,588	3,842	103,142



Gambar 17. Peta sebaran geokimia unsur Au



Gambar 18. Peta sebaran geokimia unsur Cu

Hasil pemeriksaan mineragrafi dari sampel urat kuarsa mengandung sulfida yang berasal lokasi TLW20M01R menunjukkan asosiasi mineral bijihnya berupa sfalerit (ZnS), kalkopirit (CuFeS₂), galena (PbS), pirit (FeS₂), kovelit (CuS) dan *Hydrous Iron Oxide* (Gambar 19). Hasil analisis kimia menunjukkan Au 34 ppb, Cu 774 ppb, Pb 7993 ppm dan Zn 23007 ppm.

Paragenesa mineral bijih sebagai berikut:
TLW20M01R.

Pirit _____

Sfalerit _____

Kalkopirit _____

Galena _____

Kovelit _____

Hydrous Iron Oxide _____

Sedangkan pada sampel TLW20M07R asosiasi mineral bijihnya; magnetit (Fe₃O₄), ilmenit (FeS₂), kalkopirit (CuFeS₂), pirit (FeS₂), kovelit (CuS) dan

hydrous iron oxide. (Gambar 20). Hasil analisis kimia menunjukkan Au 59 ppb, Cu 22 ppb, Pb 93, dan Zn 30 ppm. Nilainya kurang memuaskan.

Paragenesa mineral bijih sebagai berikut:

Magnetit _____

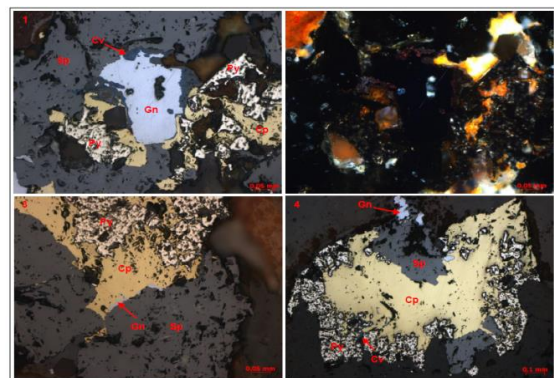
Ilmenit _____

Pirit _____

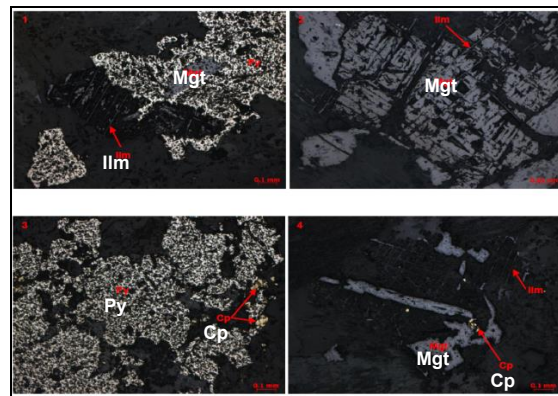
Kalkopirit _____

Kovelit _____

Hydrous Iron Oxide _____

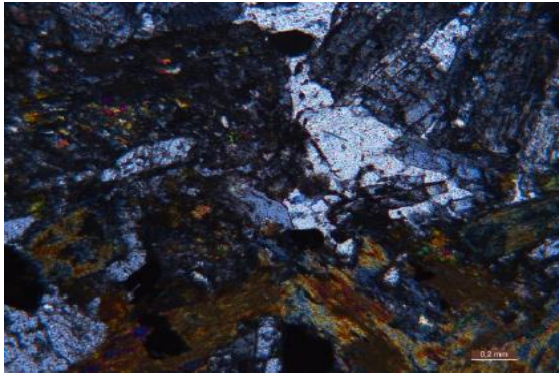


Gambar 19. Fotomikrograf mineral bijih dari sampel TLW20M01R. Galena (Gn), pirit (Py), kalkopirit (Cp), sfalerit (sp)



Gambar 20. Fotomikrograf mineral bijih dari sampel TLW20M07R. Magnetit (Mgt), ilmenit (Ilm), pirit (Py), kalkopirit (Cp)

Hasil pemeriksaan petrografi dari conto batuan intrusi lokasi TLW20M06R menunjukkan mineral penyusun terdiri dari Plagioklas, Kuarsa, Ortoklas, Klorit, Serisit, Epidot, Piroksen, dan Opak/Oksida Besi. Berdasarkan klasifikasi Heinrich, E.W. (1965), sampel yang telah diidentifikasi granodiorit terpropilitkan (Gambar 21).



Gambar 21. Fotomikrograf Granodiorit terpropilitkan (TLW20M06R)

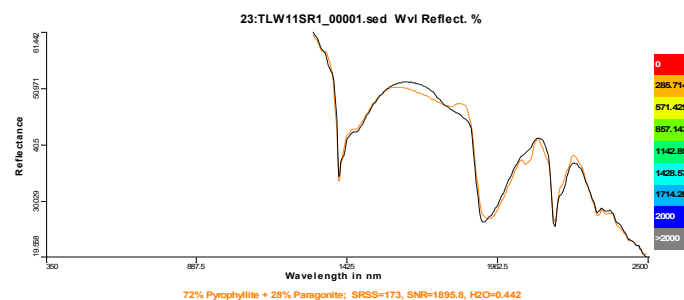
Hasil analisis mineralogi butir terhadap sampel TLW20M12P ditemukan butiran emas. Hasil pengamatan menunjukkan butiran emas berwarna kuning metalik (*golden yellow*), pipih, setempat berbentuk bulan runcing, dan berukuran halus-sedang. Selain emas ditemukan pula butiran kalkopirit, sfalerit ilmenit, hematit kuarsa dan zircon.

Pada lokasi lain, butiran kalkopirit juga ditemukan terutama di wilayah bagian utara mulai dari lokasi pengamatan TLW20M32P sampai TLW20M36P. Sedangkan prosentase terbanyak butiran kalkopirit ada di wilayah selatan (TLW20M05P) mencapai $\pm 53\%$.

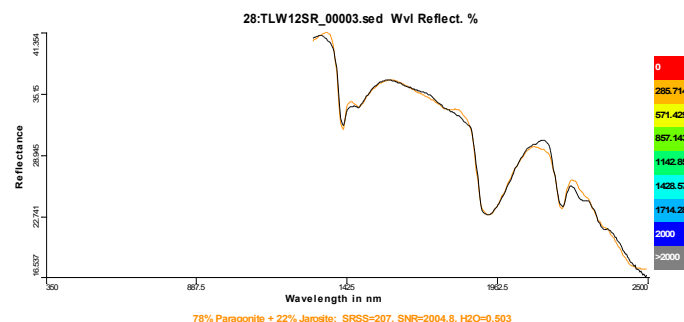
Dari pemeriksaan Spec-Terra jenis mineral yang dapat diidentifikasi sebagai berikut: *Illite* (TLW20M14R; TLW20M18SR; TLW20M19R; TLW20M27R; dan TLW20M32R); *Pirophyllite* (TLW20M7R, TLW20M11SR), *Jarosite* (TLW20M5R dan 12 SR).

Secara keseluruhan sampel yang telah diperiksa menghasilkan mineral alterasi antara lain Illit (dominan) kemudian di ikuti halloysit, opal (silika), paragonit, monmorilonit, kaolinit dan piropilit (Gambar 21 dan 22).

Dari sampel yang telah diidentifikasi menghasilkan mineral *assemblages* yang dapat dikelompokkan menjadi 4 zona alterasi: (1). zona argilik (*illite, halloysite montmorillonite dan kaolin,*), (2).zona argilik lanjut (*pyrophyllite, jarosite, paragonite dan kaolinit*); (3). zona silika (*massive silica dan vuggy silica*), (4) zona propilit (*epidote, Fe-chlorite*), dan (5) zona potasik(?) (*magnetite, gypsum, pyrite dan quartz*) (Luke C. Neal, et.al, 2018). Semua zona alterasi tersebut tidak memiliki batas yang tajam tapi didasarkan atas penciri dominan untuk mineralisasi.



Gambar 21. Spektrum Spec-Terra mineral paragonit dan piropilit sampel TLW20M7R:11SR



Gambar 22. Spektrum Spec-Terra mineral paragonit dan Jarosit, sampel TLW20M12R

PEMBAHASAN

Wilayah penyelidikan secara tektonik merupakan bagian dari Busur Sunda-Banda, suatu jalur magmatik sebagai tempat terbentuknya mineralisasi di kawasan ini (Simanjuntak & Barber 1996). Wilayah tersebut secara geologi lebih banyak didominasi oleh batuan andesit dan vulkanik (breksi monomik, polimik dan tuff) dan di lokasi tertentu intrusi diorit serta batupasir karbonatan, dimana umur litologinya berada pada kisaran Miosen – Resen (Syuhada, dkk., 2017). Hal yang menarik adalah adanya korelasi antara alterasi dan mineralisasi dimana proses pembentukannya sangat dikontrol oleh beberapa faktor geologi diantaranya kehadiran fluida hidrotermal ditunjukkan oleh adanya bentuk alterasi yang muncul kemudian jenis batuan, dan permeabilitas. Serta tekanan dan lamanya proses alterasi hydrothermal (Browne and Ellis, 1970).

Hasil analisis (Spec-Terra) menunjukkan ada sekitar 4 s/d 5 zona alterasi: (1) argilik, (2) argilik lanjut, (3) propilitik (4) silika dan (5) potasik. Poin 1 s/d 4 terjadi pada batuan vulkanik (breksi polimik, andesit), dan batupasir. Sementara poin 5 terjadi pada batuan intrusi granodiorit.

Zona argilik terjadi umum pada andesit dan breksi polimik, sebagian pada intrusi dan batuan sedimen. *Mineral assemblages*nya *kaolinite*, *illite montronite*, *halloysite* dan *silica*. Sebaran zona ini terdapat di wilayah barat utara yaitu di lokasi TLW20M14R; TLW20M15R; TLW20M19R. TLW20M27R; TLW20M32R (Brang Beru) sebagian di selatan lokasi TLW20M01R. Mineralisasinya berupa urat kuarsa mengandung bijih sulfida memiliki arah N350°E/80°, tebal zona 15 s/d 60 cm. Bijih sulfida terdiri dari pirit, sfalerit, kalkopirit, galena, kovelit dan *Hydrous Iron Oxide*. Au tertinggi 98 ppb, sementara untuk Cu 774 ppm; Pb 7993; dan Zn 23007. Zona argilik berada wilayah pinggir dari sistim porfiri dengan temperaturnya rendah dimana feldspar berubah jadi *illite* dan *kaoline* (Taylor, R.D., et.al, 2013).

Zona Argilik lanjut terjadi pada andesit, dengan mineral ubahan *jarosite*, *halloysite*, *paragonite*, *kaolinite* dan *pyrophyllite* sebagai mineral utama. Mineral *assemblages pyrophyllite* merupakan ciri endapan *hipogen* yang lebih bersifat *high-sulfidation* (David L.H. et.al, 2001). Penyebaran *argilik lanjut* yaitu wilayah barat bagian selatan terutama sepanjang bukit Rempe, mencakup TLW20M02SR; TLW20M05SR; TLW20M03R, TLW20M06R; TLW20M11SR; TLW20M18R. Hadirnya jarosit, menunjukkan mineral terendapkan pada lingkungan air bersifat sangat asam (*highly acidic water*), dengan kisaran suhu 140-200°C (Stoffregen et al, 2000), *jarosite* merupakan *sulfate-rich waters* dengan kisaran pH 1–3 (Alpers et al., 1989). Oleh karena itu Zona ini dimasukkan kedalam lingkungan alterasi batuan asam (Arribas, 1995, Hedenquist, 1996; Pirajno Franco, 2016).

Zona silika ditunjukkan oleh *masif silika* muncul menempati daerah punggung Rempe. Salah satu ciri yang spesifik selain masif silika adalah *vuggy silica* dijumpai di *Vuggy silica* merupakan bagian terdalam alterasi, memiliki batas tajam dengan zona mengandung *quartz*, *kaolinite*, *pyrophyllite* (Arribas, 1995). *Vuggy silica* adalah zona dalam batuan asam, menunjukkan terjadinya pelarutan residu kuarsa sebagai produk dari pelarutan yang ekstrim (Stoffregen, 1987). Zona alterasi tersebut diperkirakan sebagai *lithocap* (Sillitoe, 1999a). Mineral sulfida yang teramati pada zona silika yaitu pirit.

Zona propilit – potasik. diperkirakan merupakan campuran antara propilit dan potasik, Zona ini satu sisi dicirikan oleh hadirnya mineral klorit, epidot serta pirit halus. tapi pada sisi lain ditemukan adanya mineral magnetit bersama dengan pirit pada batuan yang sama. Diperkirakan merupakan *over print* dimana sebarannya tidak luas hanya di sekitar lokasi TLW20M06R dan TLW20M07R daerah sekitar bendungan. Analisis poles memperlihatkan hadirnya mineral

magnetit, ilmenit, kalkopirit, pirit, kovelit dan *hydrous iron oxide*. Munculnya magnetit sebagai urat-urat halus dan diseminasi, disertai kalkopirit dalam intrusi granodiorit teraltreasi, mengindikasikan kemungkinan mineralisasi di lokasi ini sebagai mineralisasi hidrotermal tipe porfiri.

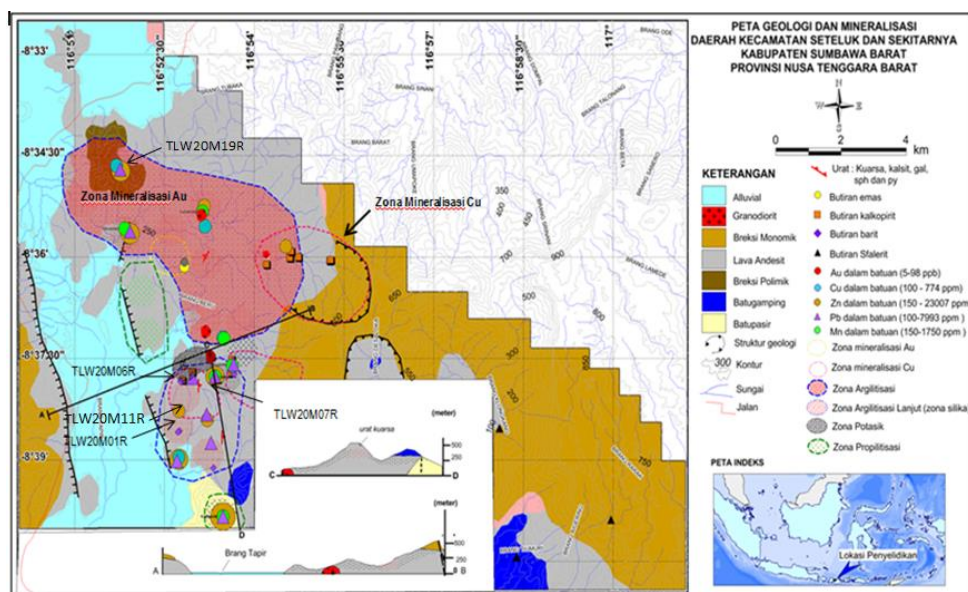
Sebaran zona alterasi dan mineralisasi di wilayah ini dapat dilihat pada Gambar 23. Secara keseluruhan dapat ditarik suatu ilustrasi bahwa munculnya magnetit cukup mencolok pada batuan intrusi granodiorit disertai dengan kalkopirit dan pirit kemudian diikuti zona alterasi silika masif, argilik lanjut dan terluar adalah argilik dengan sebaran di permukaan cukup luas mengindikasikan wilayah ini merupakan suatu sistim mineralisasi dengan kisaran dari tipe mineralisasi porfiri (?) kemudian epitermal sulfida tinggi hingga sulfidasi rendah di bagian pinggir. Pusat mineralisasi diperkirakan masih berada jauh di bawah permukaan yang sekarang ada.

KESIMPULAN

Didaerah penyelidikan ditemukan mineralisasi tipe urat yang diduga masih merupakan kemenerusan dengan daerah disebelah selatan dan utara. Terdapat tiga

tipe mineralisasi, (1) Tipe sulfidasi tinggi salah satu ciri utamanya adalah silika masif dengan tekstur *vuggy silica*, merupakan kelompok batuan bagian atas yang bersifat asam (*Acid-leached zone*), dianggap sebagai *lithocap*, dan alterasi argilik lanjut, dicirikan oleh adanya mineral alterasi *halloysite*, *pyrophyllite*, *jarosite*, *kaolinite*, *paragonite* dengan asosiasi mineral logamnya pirit (2) Tipe sulfidasi rendah, ciri utama urat kuarsa dan alterasinya adalah kelompok argilik yang ditandai oleh hadirnya mineral alterasi *kaolinite*, *illite montronite* *halloysite* dan *silica*, Mineral sulfida adalah sfalerit, kalkopirit, galena, kovelit, pirit, dan *Hydrous Iron Oxide*. (3) Tipe porfiri (?) dengan ciri utama magnetit terbentuk sebagai urat halus dan dalam bentuk diseminasi pada batuan intrusi granodiorit. Mineral logamnya selain magnetit adalah kalkopirit, kovelit dan pirit yang menguatkan dugaan bahwa lingkungan endapan pada wilayah lain yang berdekatan diperkirakan masih merupakan bagian atas dari sistim mineralisasi tersebut (sistim mineralisasi epitermal sulfidasi tinggi).

Dugaan kuat, inti mineralisasi di wilayah ini di perkirakan masih berada jauh dari sumbernya, karena yang teramati masih merupakan zona bagian atas.



Gambar 23. Peta geologi, zona alterasi dan mineralisasi daerah Seteluk dan sekitarnya

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Koordinator Kelompok Kerja Mineral, Subkoordinator Kelompok Kerja Mineral Logam, serta semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpers C. N., Nordstrom D. K. and Ball J. W. (1989) Solubility of jarosite solid solutions precipitated from acid mine waters, Iron Mountain, California. U.S.A. Sci. Geol. Bull. 42, 281–298.
- Antonio Arribas, 1995, Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid, The University of Texas at El Paso, Texas, U.S.A.
- Browne, P.R.L., Ellis, A.J., 1970: The Ohaki-Broadlands hydrothermal area, New Zealand: Mineralogy and related chemistry. *American Journal of Science* 269, 97-133.
- David L.H And Julianne K, 2001, Zonation of Alteration Facies at Western Tharsis, Implication for the Genesis of Cu-Au, Deposits Mount Lyell Field, Western Tasmania, *Economic Geology* Vol 96, pp.1123-1132
- Hedenquist, J.W., 1996, *Epithermal gold deposits: style, characteristics and exploration*, *Resources Geology* Spec. Issue No1.
- Heinrich, E.W. 1965, *Microscopic Identification of Minerals*, Glasgow USA.
- Mangga, S A Sudradjat, S., dan Suwarna N., 1998, Geologi Lembar Sumbawa Barat Nusa Tenggara, PPPG, Bandung.
- Pirajno, Franco, 2016, *Hydrothermal mineral system, Module Training 'Exploration and Development of Mineral Resources'*, KIGAM South Korea.
- Sillitoe, R.H., 1999a, Styles of high-sulphidation gold, silver and copper mineralization in the porphyry and epithermal environments, in Weber, G., ed., *Pacrim '99 Congress*, Bali, Indonesia, 1999, *Proceedings: Parkville, Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, p. 29-44.
- Simanjuntak, T.O. and Barber, A.J., 1996, Contrasting Tectonic Styles In The Neogene Orogenic Belts of Indonesia, *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, Geological Society Special Publication, vol. 106, no. 1, hal. 185-201.
- Stoffregen, R. (1987) Genesis of Acid-Sulfate Alteration and Au-Cu-Ag Mineralization at Summitville, Colorado. *Economic Geology*, 82, 1575-1591
- Stoffregen R. E., Alpers C. N. and Jambor J. L. (2000) Alunite-jarosite crystallography, thermodynamics, and geochronology. *Soc. Am. Rev. Mineral. Geochem.* 40, pp. 453–479
- Sudradjat A, S.,Mangga, A, dan Suwarna N., 1998, Geologi Lembar Sumbawa Barat Nusa Tenggara, PPPG, Bandung
- Syuhada, D. Hananto, Chalid I. Abdullah, Nanang T. Puspito, Tedi Yudistira and Titi Anggono 2017, *Study on 2-D Crustal Shear Wave Splitting Tomography along The Sunda-Banda Arc Transition Zone* Chalid Earth and Environmental Science, vol 62
- Taylor, R.D., Hammarstrom, J.M., Piatak, N.M., and Seal II, R.R., 2013, Arc-related porphyry molybdenum deposit model: Chapter D in *Mineral deposit models for resource assessment: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report USGS Numbered Series 2010-5070-D*

Diterima	: 11 November 2021
Direvisi	: 23 November 2021
Disetujui	: 30 November 2021

UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas kerjasama yang baik dalam proses review lima makalah untuk edisi ketiga dan penerbitan Buletin Sumber Daya Geologi selama tahun 2021. Secara khusus, kami mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bestari yang berkontribusi sesuai keahliannya, antara lain Prof. Dr. Ir. Binarko Santoso, M.Sc, Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D, Prof. Euis Tintin Yuningsih, S.T, M.T, Ph.D, Dr. Ir. Rukmana Nugraha Adhi, DEA, Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc, Dr.Eng, Ir. Agus Didit Haryanto, M.T, Dr. Asep Permana Kurnia, S.T, M.Sc, Ir. Sabtando Joko Suprpto, M.T, dan Edi Suhanto, S.Si, M.T.

Kami mengucapkan terima kasih kepada para penulis yang telah mengirimkan makalah ilmiahnya kepada sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi. Selain itu, ucapan terimakasih diucapkan kepada para kontributor foto yang telah berpartisipasi untuk mengisi Galeri Foto.

Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada semua unsur Dewan Redaksi atas perhatian dan kerjasamanya dalam proses penyusunan dan penerbitan Buletin Sumber Daya Geologi Volume.16 Nomor.1, 2 dan 3 Tahun 2021. Semoga kehadiran Buletin Sumber Daya Geologi kepada masyarakat dan pihak-pihak yang berkepentingan dalam bentuk cetakan maupun digital secara *online* dapat memberikan informasi yang bermanfaat dan akurat tentang potensi sumber daya mineral dan energi di Indonesia.

Salam sehat dan tetap semangat.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 16 Nomor 3 Tahun 2021

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

Bambang Nugroho Widi
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan
Panas Bumi
Email: widizero@yahoo.com

Denni Widhiyatna
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan
Panas Bumi
Email: dennipmg@gmail.com

Devito Pradipta
Institut Teknologi Bandung
Email: devito97pradipta@gmail.com

Divi Muhammad Ramdhan
PT Nata Terra Resources
Email: divimuhammad.r@gmail.com

Edya Putra
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan
Panas Bumi
Email: edgeo.putra@gmail.com

Ernowo
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan
Panas Bumi
Email: ernowo99@gmail.com

Fadiyah Pratiwi
Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir –
Badan Tenaga Nuklir Nasional
Email: fadiyah.pratiwi@batan.go.id

Husin Setia Nugraha
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan
Panas Bumi
Email: husin_setia_n@yahoo.com

Lano Adhitya Permana
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan
Panas Bumi
Email: lano.adh@gmail.com

Ngadenin
Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir –
Badan Tenaga Nuklir Nasional
Email: ngadenin@batan.go.id

Rachman Fauzi
Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir –
Badan Tenaga Nuklir Nasional
Email: rachman.fauzi@batan.go.id

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

Sulaeman
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan
Panas Bumi
Email: sulaeman.1988@gmail.com

Widodo
Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir –
Badan Tenaga Nuklir Nasional
Email: widodo@batan.go.id

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 16 Nomor 3 Tahun 2021

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS KATA KUNCI

- Alterasi 116, 117, 119-122, 124, 126, 128, 150, 152, 154, 156-158, 160-162
 Alterasi hidrotermal 116, 117, 119-122, 124, 126, 128
 Analisis dinamik 116, 118, 122-125
 Analisis kinematika 116, 118, 120-124
 Anomali 86, 96-100, 108-110, 112, 117, 120, 124, 130, 131, 134, 139-141, 145-147
 Cebakan mineral 82, 84-86, 88, 90-92, 94
 Direct Principal Component Analysis (DPCA) 96-98, 101-103, 109-112
 Epitermal 150, 158, 162
 Fault and Fracture Density (FFD) 96, 97, 99, 103, 111, 112, 114
 Geokimia eksplorasi 130-132
 Granitik 82-86, 88-92, 94, 133
 Gunung telege 96, 103, 110-112
 Land Surface Temperature (LST) 96, 81, 98, 100, 101, 103, 108-110, 112
 Mineral radioaktif 82-81, 86, 88-92, 94
 Mineralisasi 83, 90, 91, 130-132, 134, 136, 138, 140, 142-148, 150, 152-154, 156-158, 160-162
 Nage 113, 116-122, 124, 126, 128, 147
 Pelapukan 86, 91, 130, 143, 145
 Permeabilitas 96, 116, 117, 124, 161
 Seteluk 150-152, 154-156, 158, 160, 162
 Sulawesi 82-94, 114
 Sulfidasi rendah 150, 162
 Sulfidasi tinggi 150, 162
 Sumbawa barat 150-152, 155, 163
 Tanah 85, 86, 90, 97, 101, 113, 130-132, 134, 136, 138, 140-144, 146, 148
 Thorium 82-86, 89, 91, 92
 Threshold 130-132, 139-141, 145-148
 Uranium 82, 84-94, 147

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : November 2021

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

Ngadenin, Widodo, Rachman Fauzi, dan Fadih Pratiwi
(Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional)

STUDI POTENSI TERBENTUKNYA CEBAKAN MINERAL RADIOAKTIF PADA BATUAN GRANITIK DI PULAU SULAWESI

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2021 Vol. 16 No. 3 Hal. 152 - 164

Di Pulau Sulawesi terdapat banyak batuan granitik yang berpotensi mengandung cebakan mineral radioaktif. Tujuan penelitian ini adalah menentukan tipe cebakan mineral radioaktif berdasarkan karakteristik radioaktivitas, kadar uranium dan mineralogi yang bersumber dari batuan granitik tertentu. Data yang digunakan meliputi pengukuran radioaktivitas, kadar uranium, hasil pengamatan megaskopis dan petrografis batuan serta analisis butir mineral berat batuan granitik hasil eksplorasi uranium di Pulau Sulawesi. Batuan granitik terdiri dari granit, granit biotit, granodiorit, granodiorit biotit, granodiorit hornblenda, granodiorit biotit hornblenda, granodiorit hornblenda biotit, adamellit biotit, adamellit biotit hornblenda, adamellit hornblenda biotit, diorit, diorit hornblenda biotit dan syenit. Radioaktivitas batuan granitik 50 s.d. 1.200 c/s dan kadar uranium 0,54 s.d. 36 ppm. Mineral radioaktif yang terdapat pada batuan granitik terdiri dari zirkon, monasit, alunit, thorit dan brannerit. Cebakan mineral radioaktif yang berpotensi terbentuk di Pulau Sulawesi adalah cebakan thorium tipe placer pada delta dan pantai yang ada saat ini.

Kata kunci: cebakan mineral, mineral radioaktif, uranium, thorium, granitik, Sulawesi

Husin Setia Nugraha, Lano Adhitya Permana, dan Sukaesih
(Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi)

ANALISIS CITRA SATELIT LANDSAT 8 DAN DEMNAS UNTUK IDENTIFIKASI PROSPEK PANAS BUMI DI KABUPATEN ACEH TENGAH, PROVINSI ACEH

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2021 Vol. 16 No. 3 Hal. 166 - 184

Gabungan beberapa analisis pada citra satelit Landsat dan Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi indikasi area prospek panas bumi. Analisis dilakukan di Kabupaten Aceh Tengah yang diawali dari informasi keberadaan mata air panas pada peta geologi regional lembar Takengon. Metoda penginderaan jauh seperti metoda Fault and Fracture Density (FFD) dan interpretasi circular feature diterapkan pada citra DEMNAS. Sedangkan metoda Land Surface Temperature (LST) dan Direct Principal Component Analysis (DPCA) diterapkan pada citra Landsat 8. Kenampakan circular feature, anomali LST dan indikator adanya mineral ubahan bersuhu tinggi, dapat digunakan untuk memperkirakan keberadaan sumber panas. Sedangkan penerapan FFD digunakan untuk memperoleh indikator adanya zona dengan permeabilitas tinggi yang diperlukan dalam sistem panas bumi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa indikasi sumber panas diperkirakan berada pada kompleks vulkanik Gunung Telege yang berada di daerah Kecamatan Atu Lintang. Hal ini

diperlihatkan dengan adanya circular feature dan anomali LST yang terdapat di daerah tersebut. Penerapan metoda FFD mengindikasikan adanya zona outflow yang berada di sekitar manifestasi mata air panas yang terletak di sebelah barat laut Gunung Telege. Sedangkan dari hasil penerapan metoda DPCA sulit untuk diinterpretasi dikarenakan belum adanya pemisahan yang tegas antara indikator zona argilik lanjut dan zona propilitik dari hasil DPCA tersebut. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya nilai pencampuran antar beberapa indikasi mineral dalam satu piksel yang sama. Secara umum, penggunaan metoda penginderaan jauh di Kabupaten Aceh Tengah dapat membantu untuk memberikan petunjuk awal adanya kemungkinan sistem panas bumi di daerah tersebut.

Kata kunci: *Fault and Fracture Density (FFD), Land Surface Temperature (LST), Direct Principal Component Analysis (DPCA), Gunung Telege*

Devito Pradipta¹, Lano Adhitya Permana², dan Divi Muhammad Ramdhan³

^{(1)Program Studi Magister Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung;}
^{2Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi;}
^{dan 3PT Nata Terra Resources)}

KARAKTERISTIK STRUKTUR GEOLOGI DAN PERANANNYA TERHADAP SISTEM PANAS BUMI NAGE, KABUPATEN NGADA, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2021 Vol. 16 No. 3 Hal. 186 - 199

Daerah Nage merupakan bagian dari jalur vulkanisme Busur Sunda-Banda yang membentuk rangkaian en-echelon di Pulau Flores. Tatanan tektonik regional di Pulau Flores yang cukup kompleks menyebabkan adanya struktur geologi yang intensif di daerah penelitian. Metode penelitian yang digunakan meliputi pengamatan struktur geologi melalui analisis kelurusan topografi, kelurusan sungai, fitur melingkar dan densitas kelurusan (fracture fault density) dengan menggunakan citra DEMNAS serta pengukuran secara langsung di lapangan terhadap unsur-unsur struktur geologi primer dan sekunder pada 87 stasiun pengamatan. Pengukuran terhadap 441 kedudukan struktur geologi di daerah penelitian, menunjukkan bahwa struktur geologi sekunder, utamanya berupa sesar kekar gerus, yang berguna untuk membuktikan kehadiran sesar yang memotong batuan berumur Kuartar pada daerah penelitian. Hasil analisis kinematika menyimpulkan bahwa terdapat sesar geser oblik berarah baratlaut-selatan tenggara dan timurlaut-baratdaya serta sesar geser berarah timur laut-baratdaya. Daerah penelitian terdapat fitur melingkar yang berasosiasi dengan peruntahan kaldera dan pembentukan kawah. Analisis dinamik sesar untuk menentukan arah tegasan kompresif menunjukkan bahwa daerah penelitian mengalami deformasi kompresional berarah utara timurlaut-selatan baratdaya dengan arah tegasan maksimum (σ_1) 16°, N 203°E dan arah tegasan minimum (σ_3) 17,5°, N 297,1°E. Keberadaan struktur sesar diinterpretasikan memiliki peran sebagai jalur fluida terhadap sistem panas bumi Nage yang tampak dari kehadiran manifestasi panas bumi dan alterasi hidrotermal. Berdasarkan konfigurasi sesar, manifestasi, dan alterasi hidrotermal disimpulkan bahwa setidaknya terdapat tiga aliran fluida, yakni aliran fluida hidrotermal yang naik melalui

sesar F1 dan dibatasi sesar F3, aliran fluida yang naik melalui sesar F2, dan aliran fluida hasil pendidihan yang naik melalui F10.

Kata kunci: analisis kinematika, analisis dinamik, alterasi hidrotermal, permeabilitas, Nage

Sulaeman, Ernowo, dan Denni Widhiyatna
(Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi)

PENENTUAN DAERAH PROSPEK MINERALISASI MENGGUNAKAN METODE GEOKIMIA TANAH, DAERAH NANGA BANGIK, KECAMATAN BOYAN TANJUNG, KABUPATEN KAPUAS HULU, PROVINSI KALIMANTAN BARAT

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2021 Vol. 16 No. 3 Hal. 200 – 218

Sebagai negara tropis pelapukan tanah di Indonesia berlangsung intensif. Penentuan daerah prospek mineralisasi pada penyelidikan ini menggunakan metode geokimia tanah, dengan melakukan pengambilan sampel dari tanah lapukan tersebut. Daerah Nanga Bangik, Desa Jemah, Kecamatan Boyan Tanjung, Kabupaten Kapuas Hulu, Provinsi Kalimantan Barat memiliki kondisi geologi yang sangat memungkinkan terbentuk mineralisasi logam. Penyelidikan ini dilakukan untuk menentukan daerah prospek mineralisasi.

Sebanyak 135 sampel tanah telah diambil menggunakan sistem ridge and spurs dari horizon B dengan jarak antar titik lokasi sampel 75 – 100 meter. Sampel tanah tersebut dianalisis di Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP). Analisis laboratorium menggunakan metode AAS (Atomic Absorption Spectroscopy), unsur yang dianalisis meliputi Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Ag dan Au. Metode analisis statistik yang dilakukan meliputi analisis distribusi, perhitungan nilai threshold dengan metode perhitungan Mean+2 SDEV dan Median+2 MAD dan korelasi antar unsur dengan Faktor Analisis.

Berdasarkan perhitungan nilai threshold menggunakan dua metode statistik yang berbeda, didapatkan beberapa nilai anomali dan tiga faktor kelompok unsur: Faktor 1: Pb-Fe-Zn-Ag Faktor 2: Mn-Cu dan Faktor 3 berupa unsur Au yang diinterpretasikan berhubungan dengan adanya mineralisasi logam. Didapatkan tiga daerah prospek mineralisasi logam di Bukit Empajak, Bukit Pirang dan Bukit Limau.

Kata kunci: pelapukan, tanah, geokimia eksplorasi, threshold, anomali

Bambang Nugroho Widi dan Edya Putra
(Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi)

KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI CEBAKAN TEMBAGA DI DAERAH SETELUK DAN SEKITARNYA, KABUPATEN SUMBAWA BARAT, PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2021 Vol. 16 No. 3 Hal. 220 - 233

Penyelidikan dilakukan dengan latar belakang adanya pertambangan emas rakyat di sekitar daerah penyelidikan. Tujuan kegiatan yaitu untuk mengetahui kemenerusan dan tipe mineralisasi yang sudah ditemukan sebelumnya di luar daerah penyelidikan. Metoda yang digunakan meliputi pemetaan geologi dan pemercoan geokimia sedimen sungai, batuan dan konsentrat dulang. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Kimia dan Fisika PSDMBP meliputi analisis kimia metoda AAS, pemeriksaan petrografi, mineragrafi, mineralogi butir dan Spec-Terra. Mineralisasi di daerah Seteluk dan sekitarnya merupakan salah satu bentuk mineralisasi yang menarik terjadi pada batuan intrusi granodiorit, vulkanik dan batuan sedimen. Ada tiga bentuk indikasi mineralisasi yaitu; pertama, mineralisasi epitermal sulfidasi rendah, ditandai oleh adanya urat kuarsa menerobos zona argilik (ilit, monmorilonit, dan kaolinit) pada batupasir dengan asosiasi mineral nya kalkopirit, sfalerit, galena dan pirit. Kedua, mineralisasi epitermal sulfidasi tinggi ditandai oleh adanya silika masif dimana terdapat struktur vuggy silica setempat sulfur dengan mineral alterasi pirofilit, jarosit, dan sulfidanya pirit. Ketiga, indikasi porfiri diperkirakan terjadi pada granodiorit dengan ciri utama teralterasi epidot, klorit disertai veinlet dan bintik-bintik magnetit. Mineral logam yang teridentifikasi memiliki asosiasi magnetit, ilmenit, kalkopirit, galena, sfalerit, kovelit dan oksida besi. Hasil analisis kimia batuan menunjukkan kadar Au tertinggi 98 ppb; Cu 774 ppm, Pb 7993 ppm dan Zn 23007 ppm. Indikasi mineralisasi Au dan Cu juga diketahui dari hasil pendulangan berupa butiran emas dan kalkopirit dengan prosentase butiran kalkopirit mencapai 53%. Pola alterasi dan mineralisasi menunjukkan munculnya magnetit disertai ilmenit, kalkopirit dan pirit pada intrusi granodiorit diperkirakan merupakan zona potasik (?) kemudian ke arah luar zona silika, argilik lanjut, zona argilik dan terluar zona propilit. Wilayah ini diperkirakan merupakan sistim mineralisasi tipe porfiri (?) di bagian dalam, kemudian diikuti oleh mineralisasi epitermal sulfidasi tinggi dan kemudian sulfidasi rendah dengan pusat mineralisasi diperkirakan masih berada di bawah permukaan.

Kata kunci: Epitermal, sulfidasi tinggi, sulfidasi rendah, mineralisasi, alterasi, Seteluk, Sumbawa Barat



Singkapan Fospat di Daerah Desa Lobuk, Kecamatan Bluto, Kabupaten Sumenep, Provinsi Jawa Timur (Irwan Muksin, 2015)



Singkapan Bentonit di Daerah Ngerombo, Desa Girikikis, Kecamatan Giriwoyo, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah (Irwan Muksin, 2014)



Singkapan Batuan Ultrabasa yang telah mengalami proses serpentinisasi, nampak yang berwarna putih, urat-urat tipis magnesit, Kabupaten Pasir, Provinsi Kalimantan Timur (Irwan Muksin, 2008)



Hamparan Pasir Kuarsa di Daerah Keren Pangi, Kecamatan Katingan Hilir, Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah (Irwan Muksin, 2013)



Urat kuarsa tipe 1 (V1) dengan foliasi 31°, N115oE, sheeted dan melensitis, ketebalan < 2cm serta isoclinal fold pada intra folial layer (D1) yang membentuk inklinasi pada S2, difoto relatif ke arah timur stasiun TMW-WN.01 di wilayah Tamilouw-Haya, Pulau Seram (Herfien Samalehu, 2019)



Urat kuarsa masif (gangue) yang membawa sulfida galena (Gn), sfalerit (Sp), pirit (Py) dan oksida besi (Fe-ox) di Tamilouw – Haya, Pulau Seram (Herfien Samalehu, 2019)



Pengeboran Eksplorasi Mineral Radioaktif di Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat
(Rahman Fauzi, 2019)



Singkapan Fonolit dengan radioaktivitas tinggi di Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat
(Rachman Fauzi, 2019)



Survei Radiometri menggunakan gamma spektrometer di Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat
(Rahman Fauzi, 2019)



Survei Geolistrik sekitar Tapak PLTN di Provinsi Kalimantan Barat
(Rahman Fauzi 2019)



Singkapan Breksiasi Magnetit dengan radioaktivitas tinggi di Melawi, Provinsi Kalimantan Barat (Ngadenin, 2015)



Singkapan fonolit dengan radioaktivitas tinggi di Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat (F.D. Indrastomo, 2016)



Kegiatan Eksplorasi Umum Batubara di Daerah Mekarsari, Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi (Sigit Arso Wibisono, 2021)



Kegiatan Karakterisasi Batubara Metalurgi untuk Mendukung Program Hilirisasi Batubara Indonesia (Uju Darsita, 2021)



Kegiatan Survei Tinjau Batubara Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur
(Raden Maria Ulfa, 2021) B



Kegiatan Survei Tinjau Batubara Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur
(Raden Maria Ulfa, 2021)



Alterasi batuan dengan tipe argilik lanjut yang dijumpai di daerah Waenanga, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur (Lano Adhitya Permana, 2021)



Alterasi batuan yang disertai adanya belerang yang dijumpai di daerah Woloputi, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur (Lano Adhitya Permana, 2021)



Singkapan Aliran Piroklastik yang ditemukan di Jerebuú, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur (Lano Adhitya Permana, 2021)



Mata air panas Handeuleum dengan temperatur 56°C , pH 8, Daya Hantar Listrik $750\ \mu\text{S/cm}$ dan debit 0.5 l/detik yang ditemukan di Daerah Gunung Endut (Dedi Kusnadi - Lano Adhitya Permana, 2021)

PEDOMAN PENULISAN
Makalah/karya tulis ilmiah
BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

ISI DAN KRITERIA UMUM

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

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

FORMAT**UMUM**

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

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

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

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 Wiley & Sons, New York, 685 h.

Bab dalam Buku

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

Prosiding

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

Skripsi/Tesis/Disertasi

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

Informasi dari Internet

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

Wewenang Redaksi

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

Pengiriman Naskah

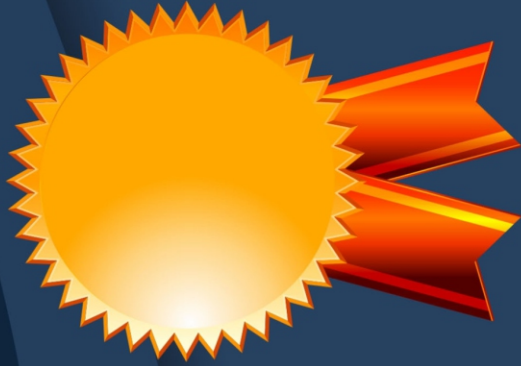
Penulis dimohon untuk mengirimkan 1 eksemplar naskah asli baik *hardcopy* maupun *softcopy* kepada:

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

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

SERTIFIKAT

Kementerian Riset dan Teknologi/
Badan Riset dan Inovasi Nasional



Petikan dari Keputusan Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional

Nomor 200/M/KPT/2020

Peringkat Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode III Tahun 2020

Nama Jurnal Ilmiah

Buletin Sumber Daya Geologi

E-ISSN: 25801023

Penerbit: Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan
Sumber Daya Mineral

Ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah

TERAKREDITASI PERINGKAT 2

Akreditasi Berlaku selama 5 (lima) Tahun, yaitu
Volume 15 Nomor 2 Tahun 2020 sampai Volume 20 Nomor 1 Tahun 2025

Jakarta, 23 Desember 2020

Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional
Republik Indonesia,



Bang P. S. Brodjonegoro

Alamat Redaksi

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

ISSN 1907-5367



eISSN 2580-1023

